

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 103 50 504
UBA-FB 000363



Ökobilanz für Getränkeverpackungen II / Phase 2

von

Martina Schonert
Gunther Motz
Herrmann Meckel

Prognos AG, Basel

Andreas Detzel
Jürgen Giegrich
Axel Ostermayer
Achim Schorb

IFEU-Institut, Heidelberg

Stefan Schmitz
Umweltbundesamt

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei

Vorauszahlung von 10,00 €

durch Post- bzw. Banküberweisung,
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der
Postbank Berlin (BLZ 10010010)
Fa. Werbung und Vertrieb,
Ahornstraße 1-2,
10787 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte
eine schriftliche Bestellung mit Nennung
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**
und der **Anschrift des Bestellers** an die
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung privater Rechte Dritter.
Die in dem Bericht geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet III 2.5
Stefan Schmitz

Berlin, Oktober 2002

Berichts-Kennblatt

Berichtsnummer UBA-FB 000363	2.	3.
4. Titel des Berichts Ökobilanz für Getränkeverpackungen II / Phase 2		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Martina Schonert, Gunther Motz, Herrmann Meckel (Prognos AG) Andreas Detzel, Jürgen Giegrich, Axel Ostermayer, Achim Schorb (IFEU-Institut) Stefan Schmitz (Umweltbundesamt)		8. Abschlussdatum August 2002 9. Veröffentlichungsdatum September 2002
13. Durchführende Institutionen (Name, Anschrift) Prognos AG, Aeschenplatz 7, CH-4052 Basel IFEU-Institut, Wilckensstraße 3, 69120 Heidelberg		10. UFOPLAN-Nr. 103 50 504 11. Seitenzahl 239 (Haupttext) 12. Literaturangaben 41
13. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Bismarckplatz 1, D – 14193 Berlin		13. Tabellen und Diagramme 69 (Haupttext) 14. Abbildungen 20
13. Zusätzliche Angaben		
14. Kurzfassung In Fortführung der Untersuchungen zur Umweltrelevanz von Verpackungen wurden in dieser Phase 2 des Vorhabens „Ökobilanzen für Getränkeverpackungen II“ des Umweltbundesamtes (siehe UBA-Texte 37/00) weitere Verpackungssysteme und Szenarien untersucht. Es handelt sich dabei zum einen um optimierte und um neu aufgenommene Verpackungssysteme. Zum anderen wurden im Rahmen von Szenarien die Einflüsse geänderter Randbedingungen in den Bereichen Energie, Verkehr und Abfallwirtschaft und die Einflüsse von alternativen Distributionsentfernungen auf die Ergebnisse der jeweiligen Ökobilanzen untersucht. Die Arbeiten zur Phase 2 zielen wiederum auf die Zusammenstellung von Informationen über umweltrelevante Stoff- und Energieströme der in den einzelnen Getränkebereichen relevanten Verpackungssysteme und der Vergleich der ökologischen Wirkungspotentiale, wobei nunmehr nicht der Status Quo (wie in Phase 1) sondern neuere Systeme, optimierte Systeme sowie die Einflüsse geänderter Rahmenbedingungen und alternativer Distributionsentfernungen im Vordergrund stehen. Die Auswahl der zu untersuchenden Verpackungssysteme und der alternativen Rahmenbedingungen erfolgte unter Einbezug der im Getränkemarkt tätigen Wirtschaftskreise. Die Ökobilanzen in Phase 2 wurden entsprechend der ISO-Normen 14040 bis ISO 14043 durchgeführt. Die Kritische Prüfung erfolgte nach ISO 14040, Abs. 7.3.3. Der Bericht zu Phase 2 des Vorhabens „Ökobilanzen für Getränkeverpackungen II“ enthält folgende Abschnitte: Zieldefinition und Rahmenfestlegungen, Sachbilanzen der untersuchten Verpackungssysteme und Szenarien, Ergebnisse der Wirkungsabschätzungen und eine abschließende Auswertung der Ergebnisse.		
15. Schlagwörter Ökobilanz, Getränkeverpackung, Flasche, Dose, Glas, PET, Aluminium, Weißblech, Getränkekarton, Einweg, Mehrweg, Distribution		
16. Preis	19.	20.

REPORT COVER SHEET

Report No. 1. UBA-FB 000363	2.	3.
4. Report Title Life Cycle Assessment for Beverage Packaging Systems II / Phase 2		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Martina Schonert, Gunther Motz, Herrmann Meckel (Prognos AG) Andreas Detzel, Jürgen Giegrich, Axel Ostermayer, Achim Schorb (IFEU-Institut) Stefan Schmitz (Umweltbundesamt)		13. Report date August 2002 14. Publication date September 2002
6. Performing Organisation (Name, Address) Prognos AG, Aeschenplatz 7, CH-4052 Basel IFEU-Institut, Wilckensstraße 3, 69120 Heidelberg		13. UFOPLAN - Ref No. 103 50 504 14. No. of Pages 239 (main text) 15. No. of References 41
13. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt, Bismarckplatz 1, D – 14193 Berlin		13. No. of Tables, Diagrams 69 (main text) 14. No. of Figures 20
15. Supplementary Notes		
16. Abstract Continuing the investigations concerning the ecological relevance of packaging materials for beverages, in Phase 2 of the study “Life Cycle Assessments for Beverage Packing Systems II” (commissioned by the Federal Environmental Agency) additional packaging systems and szenarios were analysed. On the one hand, Phase 2 now deals with optimised and newer systems. Furthermore, the influence of changing frame-conditions in the domains of energy, transport and waste as well as the influence of alternative distances of distribution on the results of the respective life cycle assessments have been examined. The investigations in Phase 2 again aim at compiling information on environmentally relevant material and energy flows of those packaging systems relevant in the beverage market and at the comparison of the ecological impacts. However, other than Phase 1 (focussing on the Status Quo) Phase 2 is now focussing on newer systems, on optimasation potentials as well as on future frame-conditions and on alternative distances of distribution. The analysed pack-aging systems and the alternative frame-conditions were chosen on the basis of consultations with relevant stake holders in the beverage market. The life cycle assessments in Phase 2 were conducted in accordance with the ISO-standards 14040 to 14043. The Critical Review was performed corresponding to ISO 14040 chapter 7.3.3. The report on Phase 2 of the study “Life Cycle Assessments for Beverage Packing Systems II” contains the following sections: Definition of goals and frame-conditions, basic data of the analysed systems and szenarios, results of the impact assessments and a conclusive interpretation of the results.		
17. Keywords Life Cycle Assessment, Drinks Packaging, Bottle, Beverage Can, Glass, PET, Alumin-ium, Tinplate, Beverage Carton, One-way, Returnable, Distribution		
18. Price	19.	20.

Zusammenfassung

Veranlassung, Zielsetzung und Durchführung

Mit der Phase 2 des Forschungsvorhabens „Ökobilanzen für Getränkeverpackungen II“ wurden die Untersuchungen über die durch Getränkeverpackungen in den Getränkebereichen Wasser, Erfrischungsgetränke (mit und ohne Kohlensäure) und Wein verursachten Umweltbelastungen fortgesetzt.

Während in der im Jahre 2000 abgeschlossenen Phase 1 des Vorhabens [UBA 2000] nur Verpackungssysteme, die zum Vorhabensbeginn im Jahre 1996 einen Marktanteil von mindestens 5% aufwiesen, berücksichtigt worden waren, wurden in der vorliegenden Phase 2 des Vorhabens neue, zukunftsweisende Verpackungssysteme sowie Optimierungspotenziale der bereits betrachteten Verpackungssysteme untersucht.

Die in Phase 2 konkret zu beantwortenden Fragestellungen sowie die hierbei zu untersuchenden Verpackungssysteme und Optimierungspotentiale wurden gemeinsam mit dem projektbegleitenden Ausschuss festgelegt, in dem die betroffenen Wirtschaftskreise sowie Umwelt- und Verbraucherschutzvereinigungen vertreten waren. Weitere Anregungen erfolgten durch das externe Gutachtergremium zu Phase 1 und den Auftraggeber. Wegen der Vielzahl der unterschiedlichen Fragestellungen wurde das Untersuchungsziel in vier **Teilziele** untergliedert:

- 1. Erstellung von **Ökobilanzen für zukunftsweisende Verpackungssysteme**, die in Phase 1 nicht berücksichtigt werden konnten.
- 2. Ermittlung von **ökologischen Optimierungspotenzialen** der in Phase 1 untersuchten Verpackungssysteme durch technische oder logistische Optimierungsmaßnahmen.
- 3. Ermittlung des ökologischen Wirkungspotenzials zukünftiger, gegenüber dem Jahr 1996 **veränderter Rahmenbedingungen**, unter denen Verpackungssysteme hergestellt, distribuiert, verwertet und entsorgt werden.
- 4. Ermittlung des Einflusses einer **Variation der Distributionsentfernung** unter **Einbeziehung des Füllgutes in die Bilanzierung**.

Die Untersuchung erfolgte nach den in DIN/ISO 14040 bis 14043 festgelegten Anforderungen. Sie wurde von einer kritischen Prüfung durch ein unabhängiges Expertengremium gemäß DIN/ISO 14040, Abs. 7.3.3, begleitet, wie sie für vergleichende Ökobilanzen, die zur Veröffentlichung bestimmt sind, vorgeschrie-

ben ist. Der Abschlussbericht zu dieser kritischen Prüfung ist der vorliegenden Studie als Anhang 1 beigelegt.

Untersuchte Szenarien

Es wurden Ökobilanzen für die in den folgenden Tabellen aufgeführten 34 Szenarien erstellt¹. Dabei entfallen 14 Szenarien auf die neu aufgenommenen Verpackungssysteme (Teilziel 1), 9 Szenarien auf optimierte Verpackungssysteme (Teilziel 2), 8 Szenarien auf geänderte Rahmenbedingungen (Teilziel 3) und 3 Szenarien auf die Einbeziehung des Füllgutes in die Bilanzierung der Distribution (Teilziel 4).

Tabelle 1: Neu aufgenommene Verpackungssysteme (Teilziel 1)

Getränkereich/ Packstoff	Sz.- Nr.	Kurzbezeichnung des Szenarios
1. Mineralwasser – Vorratskauf		
Glas	II-1	1,0 l MW-Leichtglas (PU beschichtet)
	II-2	1,0 l EW-Leichtglas (PE/EP beschichtet)
PET	II-3	1,0 l Rücklaufflasche im MW-Kasten (32g)
	II-4	1,5 l Rücklaufflasche im MW-Kasten (35g)
		1,5 l EW-Flasche (35g) im (Sixpack), Entsorgung
	II-5	- via DSD und
	II-6	- als bepandetes Rückgabesystem
	II-7	1,5 l EW-Flasche für stilles Wasser (28g) im (Sixpack) via DSD
2. Mineralwasser – Sofortverzehr		
PET	II-8	0,5 l MW-Flasche (43g)
	II-9	0,5 l EW-Flasche (21g) via DSD
3. Erfrischungsgetränke mit Kohlensäure – Sofortverzehr		
Glas	II-10	0,5 l MW-Flasche
Weißblechdose	II-11	0,5 l Dose
	II-33	Sensitivitätsanalyse zur Verwertungsquote
Aluminiumdose	II-12	0,5 l Dose
	II-34	Sensitivitätsanalyse zur Verwertungsquote

¹ Eine Übersicht über alle in Phase 1 und Phase 2 untersuchte Verpackungssysteme und Szenarien findet sich in Anhang 3.

Tabelle 2: Ökologisch optimierte Verpackungssysteme (Teilziel 2)

Getränkereich/ Verpackungsmaterial	Szen.-Nr.	Kurzbezeichnung des Szenarios
Mineralwasser u.a. Wässer		
1,0 l Glas-Einweg (weiß)	II-13	Schmelzwannen des Typs „Oxy-Fuel“
1,5 l PET-EW-Flasche	II-21	via DSD mit 32g und 50% Sekundär-PET-Einsatz
Erfrischungsgetränke mit Kohlensäure		
0,33 l Aluminiumdose (Einweg)	II-14	Gewichtsreduktion
	II-15	Strombedarf der Elektrolyse von 13 kWh/kg Primäralu
	II-16	Dosendeckel mit Sekundäraluminium
0,33 l Weißblechdose (Einweg)	II-17	Gewichtsreduktion Dosenbody
	II-18	Dosendeckel mit Sekundäraluminium
Erfrischungsgetränke ohne Kohlensäure		
1,0 l Verbundkarton (Einweg)	II-19	Gewichtsreduktion auf 26g
	II-20	PE/Al-Rejektverwertung mit sortenreiner Aluminium-Rückgewinnung

Tabelle 3: Szenarien für geänderte Rahmenbedingungen (Teilziel 3)

Verpackung	Szen.-Nr.	Kurzbezeichnung des Szenarios
0,33 l Aluminiumdose	II-22/23	Änderung von Energiestrukturen bei der Elektrolyse
1,0 l Getränkekarton	II-24	64% Verwertungsquote
1,0 l Getränkekarton	II-25	Einfluss TASI (Müllverbrennung und Ablagerung inerte Bestandteile)
1,5 l PET-EW (35g DSD)	II-26	
0,33 l Weißblechdose	II-27	
0,7 l Glas-MW	II-28	Auswirkungen der Euro-Normen für Lkw (v.a. schärfere Abgasnormen) - Distribution 2005
1,5 l PET-EW (35g)	II-29	

Tabelle 4: Szenarien unter Einbeziehung des Füllgutes (Teilziel 4)

Einbeziehung des Füllgutes (2 Entfernungen je Szenario)	Szenario Nr.
0,7 l Glas –Mehrwegflasche	II-30
1,0 l PET-Rücklaufflasche im Mehrwegkasten SK	II-31
1,5 l PET-Einweg im Sixpack (via DSD)	II-32

Untersuchungsmethode

Die Ökobilanz wurde gemäß ISO 14040 in vier Arbeitsschritten durchgeführt:

- Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens
- Sachbilanz
- Wirkungsabschätzung
- Auswertung

Die Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens erfolgte unter Beteiligung des projektbegleitenden Ausschusses. Sie ist in Kapitel 1 ausführlich dokumentiert. Die Sachbilanz wurde im Wesentlichen nach der in [UBA 2000] beschriebenen Methode durchgeführt. Das Problem der Allokation bei der Behandlung des open-loop-Recyclings wurde mit einer gegenüber [UBA 2000] veränderten Allokationsmethode gelöst, die in Anhang 2 der vorliegenden Studie erläutert wird. Auch die Wirkungsabschätzung wurde nach der in [UBA 2000] beschriebenen Methode durchgeführt. Von einer erneuten Beschreibung der Methoden wird in der vorliegenden Studie abgesehen. Die Auswertung der Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung erfolgte nach der in [UBA 1999] beschriebenen Methode des Umweltbundesamtes.

Ergebnisse

Alle in den verschiedenen Arbeitsschritten der Ökobilanz erhaltenen Zwischenergebnisse sind dokumentiert. Die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung liegen auf Grund ihres großen Umfangs nur in Form von Dateien vor und sind auf Wunsch beim Umweltbundesamt erhältlich (siehe Kap. 3.1). Die aggregierten Indikatorergebnisse der wichtigsten Wirkungskategorien sind in Kapitel 3 grafisch dargestellt. In Kapitel 4 sind diese Indikatorergebnisse darüber hinaus in auf Einwohnerdurchschnittswerte (EDW) normierter Form tabellarisch zusammengefasst.

Die Ergebnisse der Auswertung finden sich in Kapitel 4 in Form von verbal argumentativen Abwägungen der Indikatorergebnisse der gemäß der vier Teilziele jeweils miteinander zu vergleichenden Szenarien. Die Auswertung führt u.a. zu folgenden Schlussfolgerungen:

Neue Verpackungssysteme:

- Die neu aufgenommenen Verpackungssysteme zeigen gegenüber den in Phase 1 untersuchten vergleichbaren Systemen aus Umweltschutzsicht

Verbesserungen. Diese sind vor allem auf geringere spezifische Materialaufwände zurückzuführen, die mit Hilfe dünnerer Wandstärken oder größerer Füllvolumina erzielt werden.

- Besonders deutlich erscheinen diese Verbesserungen bei den kleineren Mehrwegverpackungen bis 0,5 Liter Füllvolumen.
- Die in Phase 1 aus Umweltschutzsicht festgestellten Vorteile der Mehrwegsysteme gegenüber Einwegsystemen (Ausnahme: Getränkekarton) werden insgesamt bestätigt. Dies gilt auch im Vergleich mit PET-Einwegsystemen.
- Vorteile auf Seiten des Glas-Mehrwegsystems ergeben sich auch beim Vergleich mit PET-Rücklaufsystemen (PET-Cycle, bepfandete PET-Flaschen mit eigener Aufbereitung) unter den hier angenommenen Randbedingungen (Rücklaufquote: 95 %, Sekundär-PET-Einsatzquote: 50 %). Diese Aussage wird auch durch die derzeit in der Praxis zu beobachtenden Rücklaufquoten von über 98 % nicht substantiell in Frage gestellt. Inwieweit sich aber zukünftig wesentlich höhere Recyclat-Einsatzquoten als 50 % realisieren lassen, die die Aussagen zu Gunsten der PET-Rücklaufsysteme verändern würden, bleibt abzuwarten.

Optimierte Verpackungssysteme:

- Alle untersuchten Optimierungsszenarien kamen zu (teilweise deutlich) besseren Ergebnissen als die jeweiligen Vergleichsszenarien aus Phase 1.
- Hervorzuheben sind hierbei die Verbesserungen durch erhöhte Recyclat-Einsätze, die sich zum Beispiel im Falle des Aluminium-Getränkedosendeckels von Weißblech-Getränkedosen zeigten.
- Die Oxy-Fuel-Technologie führt bei der Glasherstellung zu deutlichen Emissions- und Energiebedarfsreduktionen, die sich auf die Ergebnisse des Glas-Einwegsystems günstig auswirken.
- Geringere Verpackungsgewichte führen bei den Getränkedosen und beim Getränkekarton zu deutlichen Verbesserungen gegenüber Phase 1.
- Bei den PET-Einwegsystemen lassen sich weitere Optimierungen vor allem mit einem verstärkten Einsatz von Sekundär-PET erreichen. Daneben spielen Qualität und Menge der Verwertung der Verpackungsabfälle im „Open Loop“ eine Rolle.
- Mit allen hier getroffenen Feststellungen ist allerdings keine Antwort auf die Frage verknüpft, in welchem Maße und in welchem Zeitraum die Verpackungsoptimierungen im Einzelnen tatsächlich realisierbar sind.
- Vergleiche zwischen unterschiedlichen Verpackungssystemen waren im Rahmen dieses Teilziels nicht vorgesehen. Hierfür wäre es erforderlich

gewesen, bei allen zu vergleichenden Systemen die Randbedingungen und zukünftigen Entwicklungen für denselben Zeitpunkt zu prognostizieren, was (laut Ziel- und Rahmenfestlegung) nicht Gegenstand dieses Teils der Untersuchung war.

Zukünftige Randbedingungen:

- Die Vorgaben der Abfallablagerungsverordnung ab Juni 2005 werden zu einem fast vollständigen Rückgang der durch die untersuchten Verpackungssysteme belegten Deponieflächen führen.
- Die bis zum Jahr 2005 zu erwartenden Verbesserungen im Verkehrsbereich hinsichtlich Treibstoffverbrauch und Schadstoffausstoß werden beim untersuchten Mehrwegsystem zu erheblich geringeren Umweltbelastungen führen. Beim PET-Rücklaufsystem zeigen sich diese Effekte in deutlich geringerem Maße. Auf die Ergebnisse der übrigen Einwegsysteme haben diese Verbesserungen im Verkehrsbereich keinen nennenswerten Effekt.
- Angesichts der beim Mehrwegsystem wegen der Verbesserungen im Verkehrsbereich zu erwartenden deutlichen Reduktionen der Umweltbelastungen von 1996 bis 2005 ist bereits heute von erheblichen Verbesserungen gegenüber den auf 1996 bezogenen Ergebnissen für Mehrwegsysteme in Phase 1 auszugehen

Ökobilanz für Getränke- verpackungen II

Endbericht zu
Phase 2

**Forschungsvorhaben
296 92 504 des
Umweltbundesamtes, Berlin**

- ☐ Prognos (Projektleitung)
- ☐ IFEU-Institut für Energie- und
Umweltforschung GmbH

- ☐ Umweltbundesamt

Inhaltsverzeichnis	Seite
Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Zieldefinition und Rahmenfestlegungen	1
1.1 Festlegung des Ziels	1
1.1.1 Gründe für die Durchführung der Studie	1
1.1.2 Zielsetzung der Phase 2	2
1.1.3 Zielgruppen und Anwendungen der Ergebnisse in Phase 2	4
1.2 Untersuchungsrahmen der Ökobilanz für Phase 2	5
1.2.1 Funktion der betrachteten Verpackungssysteme	5
1.2.2 Funktionelle Einheit	6
1.2.3 Zu untersuchende Szenarien	7
1.2.4 Lebensweg der zu untersuchenden Verpackungssysteme	11
1.2.5 Systemgrenzen	13
1.2.6 Allokationsverfahren	14
1.2.7 Datenkategorien	16
1.2.8 Annahmen für die ursprüngliche Aufnahme von Inputs und Outputs	19
1.2.9 Anforderungen an Daten und Datenqualität für die Phase 2	19
1.2.10 Methode der Wirkungsabschätzung und der Auswertung	21
1.2.11 Kritische Prüfung	24
1.2.12 Art und Aufbau des für die Studie vorgesehenen Berichts	24
1.3 Allgemeine Projektinformationen	25
2 Sachbilanz	27
2.1 Bilanzierung neu aufgenommener Verpackungssysteme	27
2.1.1 Auswahl und Beschreibung der neu aufgenommenen Verpackungssysteme	27
2.1.2 Systemparameter und Annahmen zur Systemmodellierung	38
2.1.3 Sachbilanzdaten für PET-Flaschen	51
2.1.4 Sachbilanzdaten Glas	54
2.1.5 Sachbilanzdaten Weißblech und Aluminium	58
2.1.6 Datenvalidierung	59
2.1.7 Einschränkungen der Sachbilanz	67
2.1.8 Sensitivitätsanalysen	72
2.2 Bilanzierung optimierter Verpackungssysteme	73
2.2.1 Übersicht über die untersuchten Optimierungsszenarien	73

2.2.2	Beschreibung der Optimierungsmaßnahme, Machbarkeit und Realisierungshorizont	74
2.2.3	Datenvalidierung – Repräsentativität für die Zielstellung	80
2.2.4	Einschränkungen der Sachbilanz hinsichtlich der Optimierungsmaßnahmen	81
2.3	Änderung von Rahmenbedingungen	83
2.3.1	Energiebereitstellung für die Herstellung von Aluminium	83
2.3.2	Steigerung von Verwertungsquoten	84
2.3.3	Einfluss der TASI	84
2.3.4	Euro-Normen für Lkw	85
2.3.5	Datenvalidierung – Repräsentativität für die Zielstellung	87
2.3.6	Einschränkungen der Sachbilanz hinsichtlich geänderter Rahmenbedingungen	88
2.4	Einbeziehung des Füllgutes bei der Distribution	89
3	Ergebnisse	93
3.1	Erläuterung zu den Ergebnissen	93
3.1.1	Erläuterung zu den Ergebnissen der Sachbilanz	93
3.1.2	Erläuterung zu den Ergebnissen der Wirkungsabschätzung	94
3.1.3	Graphische Auswertung ausgewählter Wirkungskategorien	96
3.2	Neu aufgenommene Verpackungssysteme	98
3.2.1	Vergleichsgruppe Mineralwasser und andere Wässer-Vorratskauf	98
3.2.2	Vergleichsgruppe Mineralwasser und andere Wässer-Sofortverzehr	105
3.2.3	Vergleichsgruppe Erfrischungsgetränke mit Kohlensäure-Sofortverzehr	110
3.2.4	Sensitivitätsanalyse zur Verwertungsquote von Weißblech- und Aluminiumdosen	115
3.3	Optimierungsszenarien und Szenarien zur Änderung von Rahmenbedingungen	118
3.3.1	Glasflasche mit Schmelzwanne Typ „Oxyfuel“	118
3.3.2	1,5 l PET-Einwegflasche (35g Sixpack) via DSD	121
3.3.3	0,33 l Aluminiumdose 128	
3.3.4	0,33 l Weißblechdose	130
3.3.5	1,0 l Getränkekarton	134
3.3.6	Euro-Normen für Lkw	139
3.4	Einbeziehung des Füllgutes bei der Distribution	145
4	Auswertung	159
4.1	Vorbemerkung	159
4.1.1	Änderung des Untersuchungsziels und -rahmens	160
4.1.2	Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen aus Phase 1	161
4.2	Ziel und Rahmen der Auswertung	165
4.2.1	Bezug auf Ziel und Rahmen dieser Ökobilanz	165
4.2.2	Funktion, Untersuchungsgegenstand	166
4.3	Auswertung der untersuchten Szenarien	167

4.3.1	Neue Verpackungssysteme	170
4.3.2	Optimierte Verpackungssysteme	197
4.3.3	Veränderungen der Rahmenbedingungen	207
4.3.4	Variation der Distributionsdistanz unter Einbeziehung des Füllguts	215
4.4	Beurteilung der Ergebnisse	224
4.4.1	Datensicherheit, Repräsentativität	224
4.4.2	Vergleichbarkeit der Systeme, Datenkonsistenz	227
4.4.3	Einschränkungen	228
4.4.4	Sensitivitätsprüfung	228
4.4.5	Identifizierung signifikanter Parameter	231
4.4.6	Signifikanz der Ergebnisse	232
4.5	Zusammenfassende Schlussfolgerungen und Empfehlungen	233
4.5.1	Neu aufgenommene Verpackungssysteme	233
4.5.2	Optimierte Verpackungssysteme	234
4.5.3	Zukünftig zu erwartende Randbedingungen	234
4.5.4	Variation der Distributionsentfernung	235
4.5.5	Empfehlungen	235

Literatur

Anhang 1:	Bericht des Critical Review Panels
Anhang 2:	Allokation bei open-loop-Recycling
Anhang 3:	Übersicht über die Szenarien

Abbildungsverzeichnis

Seite

Abbildung 1-1:	Schematischer Lebensweg von Getränkeverpackungen	12
Abbildung 2-1:	Lebenswegstruktur und Hauptstoffströme (kg) für Szenario II-4	36
Abbildung 2-2:	Lebenswegstruktur und Hauptstoffströme (kg) für Szenario II-7	37
Abbildung 2-3:	Stoffflüsse ab Verbraucher	42
Abbildung 2-4:	Stoffstrom der PET-Verwertung im Jahr 2000	47
Abbildung 3-1:	Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Mineralwasser und andere Wässer, - Vorratskauf/ Gebindegrößen ³ 1 l	103
Abbildung 3-2:	Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Mineralwasser und andere Wässer, - Sofortverzehr/Gebindegröße 0,5 l	108
Abbildung 3-3:	Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Erfrischungsgetränke mit Kohlensäure, - Sofortverzehr/Gebindegröße 0,5 l	113
Abbildung 3-4:	Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Erfrischungsgetränke mit Kohlensäure, - Sofortverzehr/Gebindegröße 0,5 l, Sensitivitätsanalyse zur Verwertungsquote	116
Abbildung 3-5:	Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Optimierungsszenario Glasflasche mit Schmelzwanne Typ „Oxyfuel“	119
Abbildung 3-6:	Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Optimierungsszenario 1,5 l PET-Einwegflasche (Sixpack)	123
Abbildung 3-7:	Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Optimierungsszenarien Änderung der Rahmenbedingungen der 0,33 l Aluminiumdose	128
Abbildung 3-8:	Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Optimierungsszenarien und Änderung der Rahmenbedingungen der 0,33 l Weißblechdose	132
Abbildung 3-9:	Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Optimierungsszenarien und Änderung der Rahmenbedingungen des 1,0 l Getränkekartons	137
Abbildung 3-10:	Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für eine aufgrund der Einführung der Euro-Normen für Lkw veränderten Lkw-Flotte – Glas- Mehrweg	140
Abbildung 3-11:	Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für eine aufgrund der Einführung der Euro-Normen für Lkw veränderten Lkw-Flotte – PET- Systeme	143
Abbildung 3-12:	0,7 l Glas-Mehrwegsystem, Ergebnisse mit Füllgut für verschiedene Distributionsentfernungen	147
Abbildung 3-13:	1,5 l PET-Einwegflasche im Mehrwegkasten (35g SK), Ergebnisse mit Füllgut für verschiedene Distributionsentfernungen	151
Abbildung 3-14:	1,5 l PET- Einwegflasche (35g) Entsorgung via DSD, Nettoergebnisse mit Füllgut für verschiedene Distributionsentfernungen	155
Abbildung 4-1:	Energiebedarf (KEAfossil) je funktionelle Einheit in Abhängigkeit von der Distributionsentfernung	222

Tabellenverzeichnis

Seite

Tabelle 1-1:	Szenarien für neu aufgenommene Verpackungssysteme	8
Tabelle 1-2:	Szenarien für ökologisch optimierte Verpackungssysteme	9
Tabelle 1-3:	Szenarien für geänderte Rahmenbedingungen	10
Tabelle 1-4:	Szenarien unter Einbeziehung des Füllgutes	10
Tabelle 1-5:	Datenkategorien bei der Bilanzierung der Module	18
Tabelle 2-1:	Definition des Verpackungssystems für die 1,0 l Mehrweg- Leichtglasflasche (Bad Dürkheimer)	30
Tabelle 2-2:	Definition des Verpackungssystems für die 1,0 l Einweg- Leichtglasflasche	30
Tabelle 2-3:	Definition des Verpackungssystems für 1,0 l PET-Rücklaufflaschen im Mehrwegkasten	31
Tabelle 2-4:	Definition des Verpackungssystems für 1,5 l PET-Rücklaufflaschen Rücklaufflaschen im Mehrwegkasten	31
Tabelle 2-5:	Definition des Verpackungssystems für 1,5 l PET-Einwegflaschen	32
Tabelle 2-6:	Definition des Verpackungssystems für 1,5 l PET-Einwegflaschen, Segment: stilles Wasser	32
Tabelle 2-7:	Definition des Verpackungssystems für 0,5 l PET-Mehrwegflaschen	33
Tabelle 2-8:	Definition des Verpackungssystems für 0,5 l PET-Einwegflaschen	33
Tabelle 2-9:	Definition des Verpackungssystems für 0,5 l Glas-Mehrwegflaschen	34
Tabelle 2-10:	Definition des Verpackungssystems der 0,5 l Aluminiumdose	34
Tabelle 2-11:	Definition des Verpackungssystems der 0,5 l Weißblechdose	35
Tabelle 2-12:	Umlaufzahlen für Mehrwegflaschen	40
Tabelle 2-13:	Umlaufzahlen für Mehrwegkästen	41
Tabelle 2-14:	Interne und externe Verluste von Mehrwegflaschen	41
Tabelle 2-15:	Entsorgung von Einwegverpackungen beim Verbraucher	44
Tabelle 2-16:	Entsorgung von Mehrweg-, Rücklauf- und bepfandeten Einwegflaschen beim Verbraucher	44
Tabelle 2-17:	Entsorgung von Verschlüssen auf Mehrweg- und Rücklaufflaschen beim Verbraucher	45
Tabelle 2-18:	Entsorgung von Verschlüssen von Einwegflaschen beim Verbraucher	45
Tabelle 2-19:	Gutschriften für aufbereitete Sekundärrohstoffe	49
Tabelle 2-20:	Parameter für die Distribution der gefüllten Verpackungen	50
Tabelle 2-21:	Energiebedarf zur Herstellung von Preforms und Flaschen	51
Tabelle 2-22:	Abfülldaten für PET-Flaschen	52
Tabelle 2-23:	Abfülldaten für Glasflaschen	57
Tabelle 2-24:	Datenbasis und Repräsentativität neuer Daten für neu aufgenommene Verpackungssysteme in Phase 2 im Überblick	62
Tabelle 2-25:	Datenherkunft wichtiger Systemparameter und Annahmen in Phase 2 für neu aufgenommene Verpackungssysteme (Teilziel 1)	63
Tabelle 2-26:	Datenherkunft und Repräsentativität spezieller Prozessdaten aus Phase 1 für neu aufgenommene Verpackungssysteme im Überblick	64
Tabelle 2-27:	Datenherkunft und Repräsentativität übergreifender Prozessdaten	66

Tabelle 2-28:	Übersicht über die Optimierungsszenarien	73
Tabelle 2-29:	Vergleich der Datensätze Glashütte Mix Deutschland und Oxy-Fuel Schmelzwanne	75
Tabelle 2-30:	Datenbasis und Repräsentativität der Optimierungsmaßnahmen im Überblick	81
Tabelle 2-31:	Energieträgereinsatz für die Herstellung von Primäraluminium	83
Tabelle 2-32:	Fahrzeugbestandveränderung von 1996 bis 2005	96
Tabelle 2-33:	Veränderungen im Kraftstoffverbrauch und in den Emissionen einer Lkw-Flotte 2005 gegenüber dem Durchschnitt 1996	87
Tabelle 2-34:	Datenbasis und Repräsentativität geänderter Rahmenbedingungen im Überblick	88
Tabelle 2-35:	Transportparameter der Distribution im Hauptszenario Mineralwasser Vorratskauf aus Phase 1	90
Tabelle 2-36:	Mittlere Distributionsentfernung der Szenarien aus Phase 1 für Mineralwasser Vorratskauf	91
Tabelle 3-1:	Datenkategorien bei der Bilanzierung der Module (Oberkategorien)	93
Tabelle 3-2:	Kilometerspezifische Umweltwirkungspotenziale der Distribution des 0,7 l Glas-Mehrwegsystems	146
Tabelle 3-3:	Kilometerspezifische Umweltwirkungspotenziale der Distribution für das 1,5 l PET-Einwegsystem (Mehrwegkasten, 35g, SK)	150
Tabelle 3-4:	Kilometerspezifische Umweltwirkungspotenziale der Distribution für das 1,5 l PET-Einwegsystem (Sixpack, 35 g, via DSD)	154
Tabelle 4- 1:	Neue Verpackungssysteme Mineralwasser Vorratskauf	171
Tabelle 4- 2:	Neue Verpackungssysteme Mineralwasser Vorratskauf	171
Tabelle 4- 3:	Neue Verpackungssysteme Mineralwasser Sofortverzehr	182
Tabelle 4- 4:	Neue Verpackungssysteme Mineralwasser Sofortverzehr	183
Tabelle 4- 5:	Neue Verpackungssysteme CO ₂ -haltige Erfrischungsgetränke	191
Tabelle 4- 6:	Neue Verpackungssysteme CO ₂ -haltige Erfrischungsgetränke	191
Tabelle 4- 7:	Optimierungsrechnung Mineralwasser Vorratskauf	199
Tabelle 4- 8:	Optimierungsrechnung Aluminiumdose	201
Tabelle 4- 9:	Optimierungsrechnung Aluminiumdose	202
Tabelle 4-10:	Optimierungsrechnung Aluminiumdose	203
Tabelle 4-11:	Optimierungsrechnung Weißblechdose	204
Tabelle 4-12:	Optimierungsrechnung Weißblechdose	205
Tabelle 4-13:	Optimierungsrechnung Getränkekarton	206
Tabelle 4-14:	Optimierungsrechnung Getränkekarton	207
Tabelle 4-15:	Sensitivitätsanalyse Aluminiumdose	209
Tabelle 4-16:	TASi 2005 Getränkekarton	211
Tabelle 4-17:	TASi 2005 1,5 l Pet Einweg	211
Tabelle 4-18:	TASi 2005 Weißblechdose	212
Tabelle 4-19:	Transportmix 2005 0,7 l Glas Mehrweg	213
Tabelle 4-20:	Transportmix 2005 1,5 l Pet Einweg	214
Tabelle 4-21:	Transportmix 2005 1,5 l Pet Rücklauf	214
Tabelle 4-22:	Sensitivitätsanalyse Getränkekarton	215
Tabelle 4-23:	Einbeziehung des Füllguts	218
Tabelle 4-24:	„break-even“-Distributionsentfernungen	220

Abkürzungen

Äq	Äquivalente
Alu	Aluminium
AP	Altpapier
AzV	Abfall zur Verwertung
C	Kohlenstoff
CO ₂	Kohlendioxid
DIN	Deutsches Institut für Normung
DSD	Duales System Deutschland
dt.	deutsch
EW	Einweg
EDW	Einwohner-Durchschnittswerte
GDB	Genossenschaft Deutscher Brunnen
GWP	Global warming potential
ISO	International Standardisation Organisation
KEA	Kumulierter Energieaufwand
kJ	Kilojoule
kt	Kilo-Tonnen (1 kt = 1000 t)
LVP	Leichtverpackungen
LWC	Light Weight Coated, spezielle Papierqualität
MJ	Megajoule
MKS	Mischkunststoff
MVA	Abfallverbrennungsanlage
MW	Mehrweg
NMVOC	Non methane volatile organic compound
PE	Polyethylen
PO	Polyolefine
PP	Polypropylen
PET	Polyethylenterephtalat
Räq	Rohöläquivalente
RiL	Rohstoffe in Lagerstätten
R-PET	Recycling-PET
SK	Stoffkreislauf, synonym zu Rücklaufflaschen (Einwegflaschen im Mehrwegkasten)
SV	Sammelverpackung
TE	Toxizitätseinheiten bzw. -äquivalente
Tsd	Tausend
UZ	Umlaufzahl
v.a.	vor allem
VdF	Verband der deutschen Fruchtsaftindustrie
zul. Ges.-Gew.	zulässiges Gesamt-Gewicht

1 Zieldefinition und Rahmenfestlegungen

1.1 Festlegung des Ziels

1.1.1 Gründe für die Durchführung der Studie

Umweltbelastungen im Zusammenhang mit **Verpackungen** stehen schon seit Jahren im Blickpunkt des öffentlichen Interesses. Nach wie vor besteht ein erhebliches politisches Interesse an der weiteren Reduktion der Umweltbelastungen durch Verpackungen. Ziel der Umweltpolitik ist es,

- einerseits die ökologisch vorteilhaften vorhandenen Verpackungssysteme zu fördern,
- andererseits eine („ökologische“) Optimierung der Verpackungssysteme (durch Innovationen wie z.B. Materialeinsparungen) zu erreichen.

Als Entscheidungsvorbereitung ist hierfür eine **Bewertung der „Umweltfreundlichkeit“** der verschiedenen Verpackungssysteme und -alternativen erforderlich. Dabei sind nicht nur einzelne Umweltlasten (wie Beitrag zum Abfallaufkommen) zu beurteilen, sondern es ist ein möglichst vollständiges Bild der Umwelteinflüsse entlang des gesamten Lebensweges der jeweiligen Verpackungssysteme (Rohstoffentnahme, Herstellung, Abfüllung, Distribution, Gebrauch, Recycling, Entsorgung) zu betrachten. Als geeignetes Instrument einer solchen lebenswegintegrierenden und medienübergreifenden ökologischen Betrachtung haben sich **Ökobilanzen** etabliert.

Die vorliegende Studie berücksichtigt relevante Verpackungssysteme für folgende Getränkearten: ¹

- **Mineralwasser** (inkl. Quell-, Tafel- u. Heilwasser),
- **Erfrischungsgetränke (kohlendioxidhaltig)**,
- **Getränke ohne Kohlendioxid** (Säfte, Nektare, usw.) und
- **Wein**.

Die Untersuchung gliedert sich in zwei Teile.

- ❑ In **Phase 1** [UBA 2000] erfolgte eine Status-Quo-Analyse für das Basisjahr 1996. Es wurden marktrelevante Verpackungen ausgewählt und Informationen über umweltrelevante

¹ Die Einteilung der Getränkearten erfolgte dabei ausgehend von verpackungsbezogenen Erfordernissen, entsprechend der Systematik des Verpackungspanels der Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung (GVM). Sie weicht daher von anderen in der Praxis üblichen, z.B. an den Erfordernissen der Getränkeindustrie orientierten Einteilungen ab. Beispielsweise unterscheiden der Bundesverband der deutschen Erfrischungsgetränkeindustrie e.V. (BDE) und der Verband der deutschen Fruchtsaftindustrie e.V. (VdF) nach Wässern, Säften und Erfrischungsgetränken, wobei letztere auch nicht-kohlensäurehaltige Getränke umfassen.

Stoff- und Energieströme auf der Grundlage repräsentativer mittlerer Rahmenbedingungen zusammengestellt. Von der Projektgemeinschaft wurden Sachbilanzen und Wirkungsabschätzungen für die ausgewählten Verpackungssysteme durchgeführt. Die abschließende Auswertung und Bewertung erfolgte durch das Umweltbundesamt [UBA 2000].

- In **Phase 2** sollen – aufbauend auf den Ergebnissen der Phase 1 – sowohl optimierte als auch neue Verpackungssysteme bilanziert werden, sowie der Einfluss ausgewählter Randbedingungen geprüft werden. Mit dem zweiten Teil der Studie sollen insbesondere den betroffenen Unternehmen Informationen für ihre mittel- und langfristigen Planungen bereit gestellt werden.

1.1.2 Zielsetzung der Phase 2

Die Aspekte und „Szenarien“ für die Phase 2 wurden nach den Abschlussarbeiten zu Phase 1 ab Frühsommer 2000 in einem Abstimmungsprozess und in einer aufwendigen, iterativen Schrittfolge mit der beteiligten Wirtschaft gemeinsam festgelegt. Dabei flossen ebenso inzwischen als notwendig erkannte Ergänzungen der Phase 1 wie inzwischen ins Blickfeld gerückte perspektivische Tendenzen einer neuen Entwicklung in das gemeinsame Szenarien-Tableau ein.

Diese neuen abgestimmten Überlegungen lassen sich als gemeinsames Hauptziel der anstehenden Phase 2 mit einer Aufgliederung in 4 Teilziele subsummieren:

- 1. Es sollen **Ökobilanzen für zukunftsweisende Verpackungssysteme** erstellt werden, die kürzlich am Markt eingeführt wurden oder bereits länger auf dem Markt sind, aber in die Untersuchungen der Phase 1 aufgrund ihres geringen Marktanteils nicht einbezogen werden konnten (Szenarien des Teilziels 1).

Anmerkung:

Bei einem Vergleich der Sach- und Wirkungsbilanzergebnisse dieser neu aufgenommenen Verpackungssysteme der Phase 2 mit denen der Phase 1 ist zwingend zu beachten, dass

- a. bei den Szenarien der Phase 1 für alle Daten möglichst die Marktmittelwerte für 1996 zugrunde gelegt wurden, während die neu aufgenommenen Verpackungssysteme ein fortschrittliches System im Jahr 2001 zeigen und
- b. in Phase 2 ein geändertes Allokationsverfahren zur Anwendung kommt, dass die Verteilung von Nutzen und Lasten des Recycling gerechter auf die beiden beteiligten Systeme verteilt (siehe hierzu die ausführlichen Erläuterungen im Anhangteil).

Die Ableitung von Schlussfolgerungen, die nur infolge von Vergleichen zwischen Systemen aus Phase 2 mit Systemen aus Phase 1 möglich sind, steht unter diesem grundsätzlichen Vorbehalt. Im Rahmen der Auswertung der Ökobilanz ist im Einzelfall zu prüfen, inwieweit solche Vergleiche näherungsweise zulässig sind. (siehe Kap. 4)

- 2. Es sollen ökologische Wirkungspotenziale **optimierter Verpackungssysteme** prognostiziert werden. Zu berücksichtigen sind technische bzw. technologische Maßnahmen, die bei der Packstoff- oder Verpackungsherstellung, der Abfüllung oder den Recyclingmaßnahmen ansetzen und voraussichtlich zu relevanten ökologischen Verbesserungen der in Phase 1 untersuchten Verpackungssysteme führen.

Mit diesen Szenarien soll das Optimierungspotenzial der in Phase 1 untersuchten Verpackungssysteme hinsichtlich spezieller Optimierungsmaßnahmen ermittelt werden (Szenarien des Teilziels 2).

Die Optimierungsszenarien sollen auf ihre technische Machbarkeit und den Zeit-horizont für die Markteinführung geprüft werden.

- 3. Neben Maßnahmen, die in direktem Zusammenhang mit dem Verpackungssystem stehen, soll auch der Einfluss zukünftiger, gegenüber dem Jahr 1996 **veränderter Rahmenbedingungen** berücksichtigt werden, unter denen Verpackungssysteme hergestellt, distribuiert, verwertet und entsorgt werden. An Beispielen sollen Energiestrukturen, Euro-Normen für Lkw, der Einfluss der TASI und künftige Recyclingquoten betrachtet werden (Szenarien des Teilziels 3).
- 4. Aufgrund der ausschließlichen Betrachtung von Verpackungssystemen (keine Berücksichtigung des Füllgutes) in Phase 1 war es nicht sachgemäß, Systeme mit unterschiedlichen Distributionsentfernungen miteinander zu vergleichen. Da dies zur Beantwortung verschiedener Fragestellungen v.a. des Einzelhandels oder der Verbraucher aber von Bedeutung ist (siehe Endbericht zu Phase 1, Kap 5.3.3), soll für einige Verpackungssysteme im Bereich der Distribution das **Füllgut in die Bilanzierung einbezogen** werden (Szenarien des Teilziels 4).

1.1.3 Zielgruppen und Anwendungen der Ergebnisse in Phase 2

Die Ökobilanz ist auf mehrere Zielgruppen mit jeweils spezifischen Anwendungen ausgerichtet:

Wirtschaftsunternehmen erhalten durch die Prognoseszenarien die Möglichkeit zur Beantwortung unternehmensspezifischer Fragestellungen. Z.B.:

- Die Mitwirkung an der Festlegung der Prognoseszenarien ermöglicht es den Unternehmen, Optimierungen bestehender Verpackungssysteme oder die Entwicklung neuer Verpackungssysteme auf ihren ökologischen Nutzen prüfen zu lassen.
- Hersteller von Packstoffen und Verpackungen erhalten mit den Ergebnissen aus dem zweiten Teil der Untersuchung füllgutspezifische Informationen über das Potenzial ökologischer Verbesserungsmöglichkeiten ihrer Materialien.
- Abfüller und Handelsunternehmen erhalten mit den Ergebnissen Informationen über die ökologischen Vor- und Nachteile optimierter und neuer Verpackungssysteme sowie über den Einfluss künftiger Rahmenbedingungen und der Distributionsentfernung auf diese Ergebnisse. Sie könnten so ihre mittelfristige Strategie an den ökologischen Erkenntnissen ausrichten.

Verbraucher- und Umweltverbände können die Erkenntnisse aus dem Vorhaben als eine Grundlage (neben anderen) für Empfehlungen bezüglich der Auswahl und Verwendung von Verpackungssystemen - auch in Abhängigkeit von der Distributionsentfernung - verwenden.

Umweltbundesamt und **Bundesumweltministerium** können die Ergebnisse im Rahmen der Beratungstätigkeit und zur wissenschaftlichen Untermauerung strategischer Entscheidungen im Umweltschutz nutzen.

Zusammenfassend soll eine Versachlichung der Diskussion zu den Umwelteffekten von Getränkeverpackungen erreicht werden. Das gilt für alle Zielgruppen.

1.2 Untersuchungsrahmen der Ökobilanz für Phase 2

Die Untersuchung erfolgt in Form einer Ökobilanz (engl.: Life Cycle Assessment) und berücksichtigt die in **DIN/ISO 14040 bis 14043** festgelegten Anforderungen.

Im Folgenden wird der Untersuchungsrahmen dieser Ökobilanz gemäß DIN/ISO 14040, Kap. 5.1.2 und 14041 festgelegt.

1.2.1 Funktion der betrachteten Verpackungssysteme

Die Funktion der betrachteten Verpackungssysteme besteht darin, die Bereitstellung des Füllgutes durch den Abfüller für den Verbraucher unter Einhaltung der notwendigen lebensmittelrechtlichen Bedingungen sowie der üblichen verpackungstechnischen Funktionalitäten (z.B. Distributionsfähigkeit) zu gewährleisten.

Beim Vergleich von Verpackungssystemen muss jeweils geprüft werden, ob für die betrachteten Alternativen eine äquivalente Funktion vorliegt.

Daher wird zunächst nach Getränkesegmenten unterschieden:

- Wässer,
- kohensäurehaltige Erfrischungsgetränke,
- Getränke ohne Kohlensäure und (nur Phase 1)
- Wein (nur Phase 1)

Um den Nutzen des Verbrauchers genauer zu definieren, wurde in Phase 1 ferner der Kauf zum Daheim- oder zum Sofortverzehr unterschieden. Die Differenzierung erfolgt in Abhängigkeit von der Gebindegröße. Es wird davon ausgegangen, dass der Verbraucher für den Daheimverzehr größere Gebindegrößen wählt als für den Sofortverzehr, der außer Haus z.B. während Freizeitaktivitäten erfolgt. Sofortverzehr beschreibt den einmaligen Getränkekonsument in „portionsgerechten“ Mengen. Vorratskauf beschreibt den mehrmaligen Konsum; die Verpackung hat hierbei für den Verbraucher zusätzlich eine zwischenzeitliche Lagerfunktion. Insofern erfüllt z.B. eine 0,33 l Dose eine andere Funktion als die 1 l Flasche. Andererseits werden z.B. 0,7 l, 1 l oder 1,5 l Behälter alternativ für den Daheimverzehr genutzt.

In dieser Studie wird bei den neu aufgenommenen Verpackungssystemen wie in Phase 1 unterschieden zwischen dem Einsatz

- **kleiner Gebindegrößen**, d.h. für den Sofortverzehr und
- **großer Gebindegrößen**, d.h. für den Vorratskauf.

In Phase 2 erfolgt die Abgrenzung für große Gebinde bei ≥ 1 Liter und für kleine Gebinde bei $\leq 0,5$ Liter. Innerhalb dieser Gruppen werden die Vergleiche der neu aufgenommenen Verpackungssysteme durchgeführt^{2, 3}. 0,7 l und 0,75 l Gebinde sind in Phase 2 in der Gruppe der neu aufgenommenen Verpackungssysteme nicht vertreten. In Phase 1 wurden diese Gebindegrößen dem Vorratskauf zugeordnet.

Anmerkung:

In Phase 1 wurden nur innerhalb der definierten Vergleichsgruppen: Vorratskauf (Gebinde $> 0,5$ l) bzw. Sofortverzehr (Gebinde $\leq 0,5$ l), Verpackungsvergleiche vorgenommen. In der Zwischenzeit hat sich einerseits durch Preiskonkurrenz, aber auch durch das Aufkommen der leichten PET-Flaschen das Konsumverhalten geändert. So werden z.B. 0,75 l PET-Flaschen gerne im Freizeitbereich eingesetzt und 0,5 l Gebinde auch für den Verzehr zu Hause eingekauft. Infolge dessen bleibt die in Phase 1 bei 0,5 l getroffene Abgrenzung der Vergleichsgruppen zwar gültig, aber nicht mehr mit der Ausschließlichkeit, dass Verpackungsvergleiche nur innerhalb der jeweiligen Vergleichsgruppen zulässig sind.

1.2.2 Funktionelle Einheit

Der Maßstab für den Nutzen eines Verpackungssystems ist die **funktionelle Einheit**, auf die alle Wechselwirkungen mit der Umwelt bezogen werden.

Beim Erwerb von Getränken ist in der Regel davon auszugehen, dass der Verbraucher jeweils eine bestimmte Füllgutmenge erwerben will. Unter der Voraussetzung, dass ein Verbraucher mit seinem Kauf eine bestimmte Füllgutmenge erwerben will, wird als funktionelle Einheit das Verpackungssystem festgelegt, das für die **Bereitstellung von 1000 l** eines Getränkes für den Verbraucher erforderlich ist.

² Je nach Zielstellung sind jedoch auch gruppenübergreifende Vergleiche möglich. Die funktionale Äquivalenz wäre in diesem Fall noch mal gesondert zu diskutieren.

³ Für die anderen Teilziele erfolgen keine Vergleiche verschiedener Verpackungssysteme, sondern Vergleiche zu einem Basisszenario.

1.2.3 Zu untersuchende Szenarien

Bei den neu aufgenommenen Verpackungen wurden laut Aufgabenstellung nur Verpackungen für abgefüllte Getränke berücksichtigt⁴, d.h. Post-Mix-Systeme wurden nicht berücksichtigt. Die im Rahmen der Prognose zu untersuchenden Innovationen und Verbesserungsmaßnahmen und die Änderungen der Rahmenbedingungen wurden im Anschluss an die Auswertung des ersten Projektabschnitts "Status-Quo-Analyse" festgelegt.

In den folgenden Tabellen 1-1 bis 1-4 ist die Auswahl der untersuchten Szenarien wiedergegeben. Es handelt sich dabei im wesentlichen um diejenigen Szenarien, die seitens der Beteiligten zu Beginn der Phase 2 dieser Untersuchung als sinnvoll angesehen wurden, wiedergegeben. Tabelle 1-1 zeigt die neu aufgenommenen Verpackungssysteme, Tabelle 1-2 die zu untersuchenden Optimierungsmaßnahmen, Tabelle 1-3 Variationen der Rahmenbedingungen unter denen Verpackungen hergestellt werden und Tabelle 1-4 die Szenarien zur Einbeziehung des Füllgutes. Die Listen wurden aus den Vorschlägen des projektbegleitenden Ausschusses und des Critical Review Panels (Phase 1) erstellt. Die Auswahl orientierte sich an dem zu erwartenden Ausmaß der Verbesserung und der Übereinstimmung mit der Zielstellung.

Alle vorgeschlagenen Optimierungsvarianten wurden anhand von Plausibilitätsbetrachtungen soweit wie möglich auf ihre technische Machbarkeit (z.B. bezüglich Verpackungsgewicht, Prozessoptimierungen, Recyclingschienen) und ihren Realisierungshorizont hin überprüft (siehe Kap. 2.2, 2.3).

⁴ Vgl. Bericht zu Phase 1

**Tabelle 1- 1: Szenarien für neu aufgenommene Verpackungssysteme
(Einführungszeitraum 2000/2001) – Teilziel 1, s. Kap. 1.1.2**

Getränkereich/ Verpackungsmaterial	Sz.- Nr.	Kurzbezeichnung des Szenarios	Vorschlag- geber	Mehrweg/ Einweg
1. Mineralwasser - Vorratskauf				
Glas	II-1	1,0 l MW-Leichtglas (PU beschichtet)	GDB, FVB, BUND	Mehrweg
	II-2	1,0 l EW-Leichtglas (PE/EP beschichtet)	FVB	Einweg
PET	II-3	1,0 l Rücklaufflasche im MW-Kasten (32g)	GDB	Einweg
	II-4	1,5 l Rücklaufflasche im MW-Kasten (35g)	IK	Einweg
	II-5	1,5 l EW-Flasche (35g) im (Sixpack), Entsorgung - via DSD und	IK UBA	Einweg
	II-6	- als bepfandetes Rückgabesystem		
	II-7	1,5 l EW-Flasche für stilles Wasser (28g) im (Sixpack) via DSD	IK	Einweg
2. Mineralwasser - Sofortverzehr				
PET	II-8	0,5 l MW-Flasche (43g)	BUND	Mehrweg
	II-9	0,5 l EW-Flasche (21g) via DSD	GFGH	Einweg
3. Erfrischungsgetränke mit Kohlensäure - Sofortverzehr				
Glas	II-10	0,5 l MW-Flasche	BUND	Mehrweg
Weißblechdose	II-11	0,5 l Dose	IZW	Einweg
	II-33	Sensitivitätsanalyse zur Verwertungsquote		
Aluminiumdose	II-12	0,5 l Dose	GDA	Einweg
	II-34	Sensitivitätsanalyse zur Verwertungsquote		

**Tabelle 1- 2: Szenarien für ökologisch optimierte Verpackungssysteme
(Teilziel 2, s. Kap. 1.1.2)**

Getränkereich/ Verpackungsmaterial	Nr.	Kurzbezeichnung des Szenarios	Vorschlaggeber
Mineralwasser u.a. Wässer			
1,0 l Glas-Einweg (weiß)	II-13	Schmelzwannen des Typs „Oxy-Fuel“	FVB
1,5 l PET-EW-Flasche für CO ₂ -haltige Wässer	II-21	via DSD mit 32g und 50% Sekundär-PET-Einsatz	IK
Erfrischungsgetränke mit Kohlensäure			
0,33 l Aluminiumdose (Einweg)	II-14	Gewichtsreduktion	Schmalbach-Lubeca
	II-15	Minderung des Strombedarfes der Elektrolyse auf 13 kWh/kg Primäralu	GDA
	II-16	Dosendeckel mit Sekundäraluminium	GDA
0,33 l Weißblechdose (Einweg)	II-17	Gewichtsreduktion Dosenbody	IZW
	II-18	Dosendeckel mit Sekundäraluminium	IZW
Erfrischungsgetränke ohne Kohlensäure			
1,0 l Verbundkarton (Einweg)	II-19	Gewichtsreduktion auf 26g	FKN
	II-20	PE/Al-Rejektverwertung mit sortenreiner Aluminium-Rückgewinnung	FKN

Weiterhin sollen hinsichtlich der **Änderungen der Rahmenbedingungen** (Teilziel 3, s. Kap. 1.1.2), die auf die Ökobilanzen der Verpackungssysteme wirken, folgende Einflüsse geprüft werden:

**Tabelle 1- 3: Szenarien für geänderte Rahmenbedingungen
(Teilziel 3, s. Kap. 1.1.2)**

Verpackung	Szen.-Nr.	Kurzbezeichnung des Szenarios	Vorschlaggeber
0,33 l Aluminiumdose	II-22	<u>Änderung von Energiestrukturen:</u> • Strommix für Elektrolyse mit höherem Anteil Wasserkraft ⁵	GDA
0,33 l Aluminiumdose	II-23	• Strommix: geringerer Anteil Wasserkraft	Critical review
1,0 l Getränkekarton	II-24	64% Verwertungsquote für Getränkekarton	FKN
1,0 l Getränkekarton	II-25	Einfluss TASI (Müllverbrennung und Ablagerung inerter Bestandteile)	FKN
1,5 l PET-Einweg (35g DSD)	II-26	Einfluss TASI (MV und Ablagerung inerter Bestandteile)	Projektgemeinschaft
0,33 l Weißblechdose	II-27	Einfluss TASI (MV und Ablagerung inerter Bestandteile)	IZW
Auswahl im Rahmen der Sachbilanz	II-28/ II-29	Euro-Normen für Lkw – Distributionsdaten für 2005	Critical Review

Der Einfluss der Distributionsentfernung soll unter **Einbeziehung des Füllgutes** (Teilziel 4, s. Kap. 1.1.2) durch Variationen am Lebenswegabschnitt Distribution untersucht werden⁵ [Vorschlag: BV GFGH, dwv, BUND, review panel (implizit), UBA].

Tabelle 1- 4: Szenarien unter Einbeziehung des Füllgutes (Teilziel 4)

Einbeziehung des Füllgutes (2 Entfernungen je Szenario)	Szenario Nr.
0,7 l Glas -Mehrwegflasche	II-30
1,0 l PET-Rücklaufflasche im Mehrwegkasten (35g SK)	II-31
1,5 l PET-Einweg im Sixpack (35g DSD)	II-32

⁵ Die Einbeziehung des Füllguts beschränkt sich auf die Distribution, da davon auszugehen ist, dass die übrigen füllgutspezifischen Prozesse für alle Verpackungssysteme näherungsweise identisch sind.

1.2.4 Lebensweg der zu untersuchenden Verpackungssysteme

Der Lebensweg der zu untersuchenden Verpackungssysteme besteht grob aus folgenden Abschnitten (siehe die folgende Abbildung):

- Rohstoffabbau
- Packstoffherstellung (Glas, Karton, PET, usw.)
- Herstellung von Nebenbestandteilen (z.B. Etiketten, Verschlüsse)
- Herstellung der Verpackung selbst (neben den Primärverpackungen auch Um- und Transportverpackungen, z.B. Flaschenkästen)
- Abfüllung
- Handel
- Entsorgung (Beseitigung oder Verwertung gebrauchter Verpackungen).

Neben den eigentlichen Primärverpackungen werden auch die für die Distribution erforderlichen Transport- und Umverpackungen (z.B. Paletten) berücksichtigt.

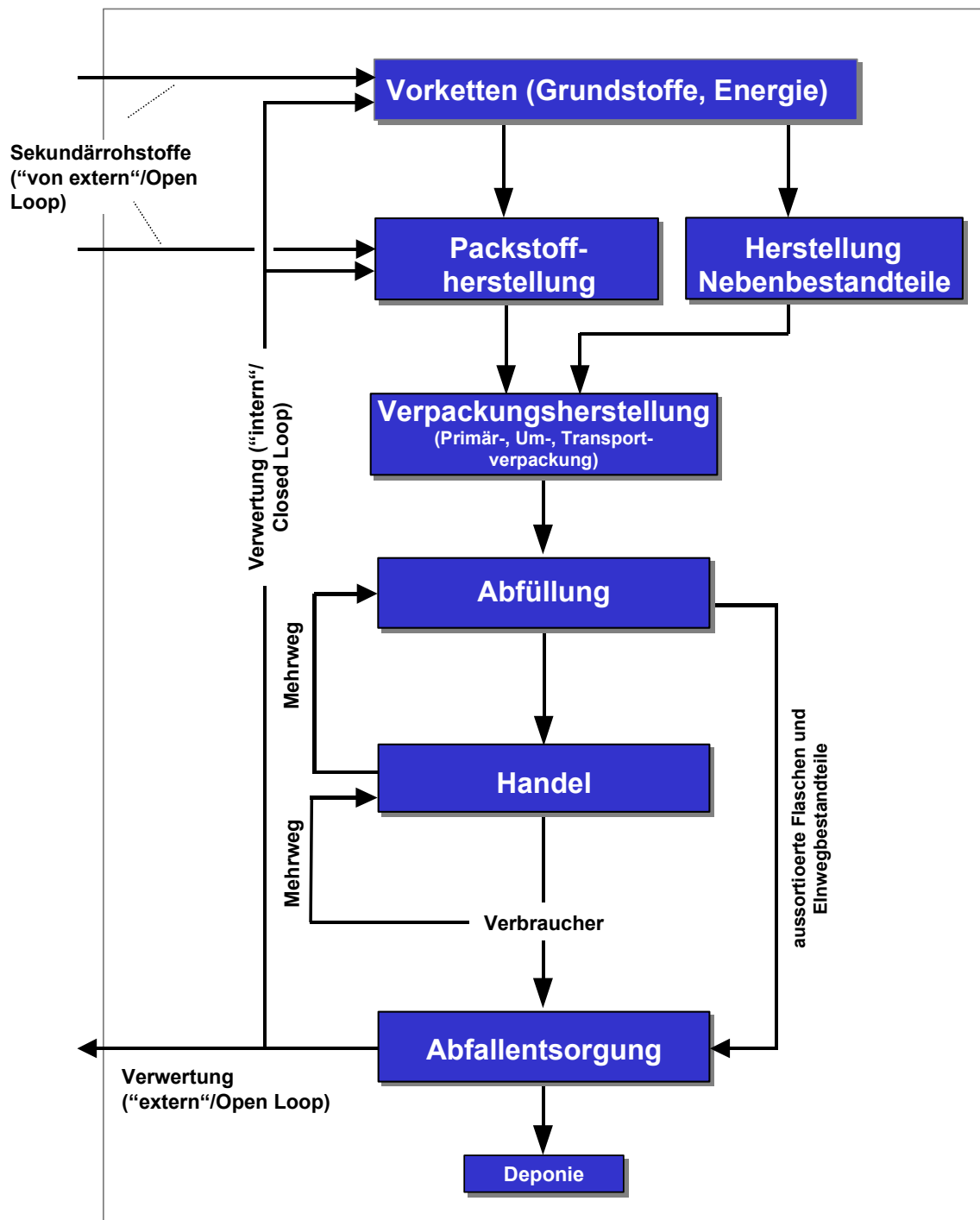


Abbildung 1-1: Schematischer Lebensweg von Getränkeverpackungen

1.2.5 Systemgrenzen

Es werden alle Umweltaspekte der betrachteten Verpackungssysteme „von der Wiege bis zur Bahre“, d.h. von der Exploration der Rohstoffe, über Herstellung der Packstoffe und Verpackungen, Distributionsprozesse, bis hin zur Entsorgung entsprechend dem oben dargestellten Lebenswegmodell berücksichtigt.

Alle In- und Outputs des bilanzierten Systems, mit Ausnahme von Sekundärrohstoffen (Abfällen zur Verwertung), Sekundärenergieträgern sowie Hilfs- und Betriebsstoffen entsprechend der unten beschriebenen Abschneidekriterien, sind Elementarflüsse, d.h. Stoffe, die der natürlichen Umwelt entnommen oder an die natürliche Umwelt abgegeben werden.

Ausnahmen

Nicht berücksichtigt werden:

- Umweltaspekte im Bereich der Endverbraucher der Getränke (z.B. Emissionen und Energieverbrauch aufgrund von Transportfahrten Handel-Verbraucher; Wasserverbrauch und Emissionen durch Waschvorgänge beim Verbraucher), da diese im Rahmen dieses Vorhabens nicht erhoben werden konnten und davon ausgegangen werden kann, dass zwischen den Verpackungssystemen eines Segments (Vorratskauf - Sofortverzehr) hierbei keine ergebnisrelevanten Unterschiede bestehen.
- Umweltaspekte bei der Herstellung und Entsorgung der Investitionsgüter entlang der Lebenswege (z.B. Energieverbräuche und Emissionen bei der Herstellung von Verpackungsmaschinen).
- Das jeweilige Füllgut (Getränk) ist mit Ausnahme der Variationen zur Distributionsentfernung (Kap. 1.1.2, Unterpunkt 4) nicht Gegenstand der Untersuchung.

Der Umfang der Modellierung der Lebenswege bzw. der Produktsysteme hängt entscheidend davon ab, was bei der Bilanzierung der Prozesse berücksichtigt wird. Einerseits stellt sich die Aufgabe, alle ökologisch relevanten Energie- und Massenströme zu erfassen, andererseits muss der Aufwand vertretbar bleiben. Die Frage, was ökologisch relevant ist, wird in Kap. 3 anhand der zu berücksichtigenden Wirkungskategorien erörtert. Es zeigt sich, dass die wichtigen ökologischen Wirkungskategorien sehr stark mit der Masse der im System fließenden Materialien und Energieträger korrelieren. Insofern kann die Masse als ein erstes **Abschneidekriterium** verwendet werden.

Als **Abschneidekriterium** für die Berücksichtigung von Input- und Output-Materialien für jeden Teilprozess des Lebensweges wird 1 % der Masse des gewünschten Outputs dieses Prozesses festgelegt. Die Summe der dadurch vernachlässigten Stoffmengen sollte pro Prozess jedoch nicht größer als 5 % des Outputs betragen. Zusätzlich wird eine Relevanzprüfung der vernach-

lässigten Materialien und ihrer Vorketten in Bezug auf Energieintensität und auf umwelt- und gesundheitsgefährdendes Potential durchgeführt.

Für das Kriterium „Umweltschädigung“ oder „energieintensive Vorkette“ können natürlich nicht für jedes Material detaillierte Recherchen vorgenommen werden. Das diesbezügliche Abschneiden erfolgt auf dem Erfahrungshintergrund der Bearbeiter („expert judgement“).

Weitere Abschneidekriterien (z.B. für den Energieeinsatz oder für Outputmaterialien) werden nicht festgelegt.

Die Beschreibung der zur Abbildung der Teilprozesse verwendeten Daten erfolgt in Kapitel 2 Sachbilanz. Ferner wird auf die Daten aus Phase 1 zurückgegriffen (siehe [UBA 2000, Kap. 2.5 ff]).

1.2.6 Allokationsverfahren

Allokationsverfahren und -kriterien sind zum einen auf Prozess- und zum anderen auf Systemebene festzulegen:

Prozessebene:

- Bei von den Verfassern der Studie selbst erstellten Datensätzen erfolgt die Allokation der Outputs aus Kuppelprozessen in der Regel über die Masse. In den der Literatur entnommenen Datensätzen wird auch der Heizwert oder der Marktwert als Allokationskriterium verwendet (z.B. APME-Daten für Kunststoffe). Die jeweiligen Allokationskriterien wurden im Endbericht zu Phase 1, Kap. 2.4.1 und den Standardberichtsbögen dokumentiert. Für Literaturdaten gilt dies nur soweit die entsprechenden Informationen verfügbar sind.
- Bei Transporten gefüllter Verpackungen erfolgt die Allokation zwischen Verpackung und Füllgut nach Masse unter Berücksichtigung der Auslastung des Transportfahrzeugs (siehe im Endbericht zu Phase 1, Kap. 2.4.3).

Systemebene (Allokation für Recycling):

Es werden zwei Methoden eingesetzt, wobei letztere nur zur Beurteilung der Sensitivität des Gutschriftverfahrens herangezogen wird:

- Gutschriftmethode (50/50)⁶ und
- Cut-Off.

Beim Cut-Off werden Sekundärrohstoffe lastenfrei in den zu bilanzierenden Lebensweg aufgenommen und ohne weitere Gutschrift abgegeben (siehe Anhang Kap. 1.4.1).⁷

Bei der Gutschriftmethode wird für die Abgabe von Sekundärrohstoffen aus dem betrachteten System eine Gutschrift erteilt, die dem Herstellungsaufwand aus Primärrohstoffen entspricht. Aus Symmetriegründen gilt diese Vorschrift analog für den Input von Sekundärrohstoffen in das betrachtete System; d.h., aufgenommene Sekundärrohstoffe sind mit einer gleich hohen Lastschrift belegt. In Phase 2 dieses Vorhabens beträgt die Höhe der Gutschrift bzw. die Höhe der Lastschrift gerade 50% des eingesparten Herstellungsaufwandes aus Primärrohstoffen. Der Aufbereitungsaufwand für den von System A abgegebenen Sekundärrohstoff wird von beiden Systeme zu je ein Halb getragen. (siehe Anhang Kap. 1.5)

In Phase 1 erfolgte die Gutschrift für das zu bilanzierende System zu 100%, allerdings nur in Höhe des Anteiles an Primärrohstoffen, die im Marktmittel für das Folgeprodukt tatsächlich eingesetzt werden⁸. Wird ein Sekundärrohstoff eingesetzt, so erfolgt die Lastschrift mit dem negativen Wert der Gutschrift. (siehe auch Endbericht zu Phase 1, Kap. 2.4.2 und Anhang kap. 1.4.2).

Problematisch bei dieser Methode ist

- die Abhängigkeit vom aktuellen Anteil von Sekundärrohstoffen im jeweiligen Materialpool. D.h., Ökobilanzergebnisse ändern sich aufgrund von Marktbedingungen, nicht aber, wie der Name „Ökobilanz“ indiziert, aufgrund von verminderten Umweltbelastungen im Lebensweg.
- die unterschiedlich hohen Gutschriften für das Bereitstellen bzw. die unterschiedlich hohen Lastschriften für den Einsatz von Sekundärrohstoffen bei den verschiedenen Materialien (Glas, Kunststoffe usw.).

⁶ Das Gutschriftverfahren wurde in Phase 2 geändert. Zur Begründung siehe Anhang.

⁷ Seitens eines Teils des projektbegleitenden Ausschusses war angeregt worden, für die Sensitivätsbetrachtung zusätzlich zum Cut-Off auch die Gutschriftmethode (100/0) einzusetzen. In dieser Methode wird für abgegebene Sekundärrohstoffen eine Gutschrift erteilt, die dem Herstellungsaufwand aus Primärrohstoffen in voller Höhe entspricht. Analog ist beim Einsatz von Sekundärrohstoffen dann eine Lastschrift zu erteilen, die dem Herstellungsaufwand aus Primärrohstoffen entspricht. Cut-Off und Gutschrift (100/0) sind insoweit 2 Extrempunkte im möglichen Allokationsspektrum. Die angewandte 50/50 Gutschriftmethode liegt gerade in der Mitte dieser beiden Extreme. Die Anwendung beider Extrempunkte zur Bestimmung der Sensitivität bringt keinen zusätzlichen Erkenntnisgewinn und wurde daher nicht durchgeführt.

⁸ Beispiel zu Phase 1 (vereinfacht):
Das aus dem Altkunststoff hergestellte Folgeprodukt B (System B) wird derzeit im Marktmittel zu 90% aus Primärrohstoffen und zu 10% aus Sekundärrohstoffen (Altkunststoff) hergestellt. Das zu bilanzierende System A erhält daher für seine abgegebenen Sekundärrohstoffe eine Gutschrift in Höhe von 90% der für System B benötigten Primärrohstoffe und der Umweltbelastungen aus der Grundstoffherstellung.

- der ökobilanzielle Vorteil für Produkte, die hochwertige Sekundärrohstoffe abgeben, aber selbst keine einsetzen und somit nicht ganzheitlich zur Aufrechterhaltung von Stoffkreisläufen beitragen.

Das Gutschriftverfahren in Phase 2

1. ist unabhängig vom jeweils für einen Packstoff erreichten Stand der Kreislaufwirtschaft und behandelt alle Packstoffe gleich und
2. gibt sowohl für die Aufnahme von Sekundärrohstoffen als auch für deren Abgabe in hochwertiger Qualität ökobilanzielle Anreize.

Aus grundsätzlichen Erwägungen wurde daher diesem Verfahren der Vorzug gegeben. Eine ausführliche Erläuterung und Beschreibung der Gutschriftmethode erfolgt im Anhang.

Für den Vergleich von Systemen aus Phase 2 mit den in Phase 1 bilanzierten Verpackungssystemen ist infolge der Methodenänderung ein direkter Vergleich der Nettowerte (Ergebnisse mit Berücksichtigung von Recyclinggut- und –lastschriften) nicht unmittelbar möglich. Auf die Berücksichtigung von Systemen aus Phase 1 musste daher in der Wirkungsabschätzung für die neu aufgenommenen Verpackungssysteme (Kap. 3) verzichtet werden. Ein Vergleich von Systemen aus Phase 2 mit den Referenzsystemen aus Phase 1 erfolgt, soweit sinnvoll, unter Nennung der Vorbehalte im Rahmen der Auswertung durch das Umweltbundesamt (Kap. 4). Ohne der Auswertung vorzugreifen, wird jedoch schon an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Referenzsysteme aus Phase 1 durchweg Glas-Mehrwegsysteme sind und daher der Einfluss der Recyclinggut- und –lastschriften bei entsprechend hoher Umlaufzahl relativ gering ist. Für etliche Einwegsysteme aus Phase 1 (Verbundkarton für Saft, 0,33 l Weißblech- und Aluminiumdosen) wurden zudem im Zuge der Optimierungsrechnungen die Ergebnisse auch nach der neuen Gutschriftmethode berechnet.

Die Cut-Off-Werte aller Systeme aus Phase 1 und Phase 2 sind direkt vergleichbar, da sie von der Methodenänderung nicht betroffen sind.

1.2.7 Datenkategorien

Entscheidung über Datenkategorien und Einzelheiten

Bei der Bilanzierung der Module werden die in Tabelle 1-5 aufgeführten Datenkategorien verwendet. Gezeigt sind nur die Oberkategorien, denen die einzelnen Sachbilanzgrößen zugeordnet werden.

Es wird angestrebt, für jeden Prozess mindestens diejenigen Sachbilanzgrößen zu bilanzieren, die in der Wirkungsabschätzung weiter betrachtet werden.

Der Feedstock⁹ ist im Kumulierten Energieaufwand enthalten und wird in der Wirkungsabschätzung berücksichtigt. Eine separate Ausweisung bringt nach Auffassung der Auftragnehmer hinsichtlich der Wirkungsabschätzung und der darauf basierenden Auswertung keine zusätzlichen Informationen. Dies um so mehr, als bei Kunststoffprodukten nicht eindeutig zugeordnet werden kann, welcher Anteil des eingesetzten Erdöls und Erdgases (und evtl. Kohle) in den Feedstock eingehen, da die Aufteilung in den APME-Daten auf Annahmen beruht. Damit ist keine eindeutige Zuordnung potenzieller Umweltwirkungen zum Feedstock möglich.

Umweltbelastungen aus Transporten werden auf Primärenergieverbrauch und Emissionen zurückgeführt. Lärm wird in der Sachbilanz nur indirekt über die Transportkilometer erfasst. Gerüche und Radioaktivität werden nicht erfasst.

In dem Protokoll der Sachbilanz werden nur die Datenkategorien ausgewiesen, die zu Beginn des Lebensweges bzw. zum Ende oder bei Abbruch des Lebensweges auftreten. D.h., prozessverbindende Stoff- und Energieflüsse sind dort nicht mehr aufgeführt.

⁹ Energieträger, die innerhalb des untersuchten Systems nicht zur Energieerzeugung verwendet werden (Beispiel: Rohöl als Ausgangsmaterial für Kunststoffprodukte)

Tabelle 1- 5: Datenkategorien bei der Bilanzierung der Module (Oberkategorien)

Input	Output
Rohstoffe in Lagerstätten	Emissionen (Luft)
fossile Energieträger	Emissionen (Wasser)
Nichtenergieträger	Wasser (Kühlwasser, Abwasser un spez., Sickerwasser)
Wasser (Kühlwasser, Quellwasser, sonst.)	Abfälle
Chemische Grundstoffe	Abfälle zur Beseitigung
Energieträger, sekundär ¹⁰ *	Abfälle zur Verwertung
Nicht zurückverfolgte Einsatzstoffe (v.a. Hilfs- und Betriebsstoffe)	Abfälle, unspezifiziert
sonstige Stoffe	Energieträger, sekundär
Mineralien	Stoffe, sonstige
Kumulierter Energieaufwand (incl. Feedstock) (aufgegliedert in: Kernenergie, Wasserkraft, fossil gesamt, regenerativ, unspezifiziert)	Transporte (Kilometer, Tonnenkilometer)
Naturraum	
Deponiebeanspruchung (Volumen, Fläche)	
Abfälle zur Verwertung**	
Verpackungsmaterialien	

* Energieträger, sekundär als Output stellen z.B. die erzeugten Energiemengen (thermisch oder/und elektrisch) aus dem Prozess der Müllverbrennung dar.

** Abfälle zur Verwertung sind Sekundärmaterialien wie Altglasscherben zur Glasproduktion, Altpapier zur Etikettenproduktion und Aluminiumabfälle für die Verschluss Herstellung aus Sekundäraluminiumbarren.

Quantifizierung von Energieinputs und -outputs

Die in den Modulen eingesetzten Energieträger werden bis zu den Primärenergieträgern zurückverfolgt. Verluste in der Energiebereitstellung werden berücksichtigt.

Annahmen über die Elektrizitätserzeugung

Für die Elektrizitätserzeugung für Verbundnetze stehen mehrere Modelle zur Verfügung, die in Abhängigkeit vom Anwendungsfall angesetzt wurden (siehe dazu Endbericht Phase 1, Kap. 2.5.8 [UBA 2000]).

¹⁰ Energieträger, die in einem anderen Lebensweg als Nebenprodukt erzeugt wurden (Begriffsbildung analog Sekundärrohstoff)

Abwärme aus Verbrennungsprozessen

Abwärme aus Verbrennungsprozessen wird als thermische Energie unter der Datenkategorie Sekundärenergie erfasst, wenn sie in weiteren Prozessen als Nutzenergie eingesetzt wird.

Diffuse Emissionen

Diffuse Emissionen werden grundsätzlich in die Bilanz aufgenommen. In der Regel liegen jedoch zu geringen Massenströmen keine Informationen vor.

1.2.8 Annahmen für die ursprüngliche Aufnahme von Inputs und Outputs

In dieser Studie erfolgt mit Ausnahme von Lärm, Gerüchen, Radioaktivität und zum Teil Flächenbedarf keine Beschränkung der Datensammlung auf spezielle Datenkategorien. Es werden sowohl Massen- als auch Energie- und Umweltkriterien aufgenommen.

1.2.9 Anforderungen an Daten und Datenqualität für die Phase 2

Die Rahmenfestlegung hinsichtlich des geographischen, zeitlichen und technologischen Gültigkeitsbereiches der in Phase 2 verwendeten Daten sowie deren Sammlung ist nachfolgend beschrieben. Dabei wird auch auf relevante Aspekte für die Datenqualität wie etwa die Detailtiefe der Datenprüfung oder die Repräsentativität der Daten Bezug genommen.

Geographischer Rahmen

Der geographische Rahmen der Untersuchung wird ausgehend vom Verbrauch der jeweiligen Getränkeart festgelegt. Es wird davon ausgegangen, dass der Verbrauch in der Bundesrepublik Deutschland stattfindet. Die (in- oder ausländische) Herkunft der dafür eingesetzten Verpackungen und deren Vorprodukte werden soweit wie möglich aufgrund der tatsächlichen Gegebenheiten berücksichtigt.

Zeitlicher und technologischer Gültigkeitsbereich

Die Beschreibung des zeitlichen und technologischen Gültigkeitsbereiches erfolgt in Abhängigkeit von der Zielstellung.

- (1) Der zeitliche Horizont für **neu aufgenommene Verpackungssysteme** wird auf den Zeitraum 2000/2001 festgelegt. Dabei wird der Schwerpunkt auf die Entwicklungsmöglichkeiten der Systeme gesetzt, d. h. es wird ein fortschrittliches Verpackungssystem zugrunde gelegt.

Die Bilanzierung ist nicht darauf angelegt, den Marktdurchschnitt Stand 2001 wiederzugeben.

Aus Budgetgründen ist ein generelles Update der Datenbasis aus Phase 1 nicht möglich und wäre bei der zu Beginn des Projektes anvisierten Zeitplanung auch nicht erforderlich gewesen.

- (2) Der zeitliche Einführungsrahmen für **Optimierungsmaßnahmen** zielt auf die etwa im Jahre 2005 verfügbare Technologie. Die Daten werden von den Unternehmen und Verbänden bereitgestellt und von der Projektgemeinschaft geprüft.

Erkenntnisinteresse ist jeweils der Einfluss einer speziellen Optimierungsmaßnahme im Vergleich zum einem Basisszenario aus Phase 1 oder 2. Eine generelle Aktualisierung der Datenbasis ist daher nicht erforderlich.

- (3) Die Änderung von **Rahmenbedingungen** (Energiestruktur, Umweltwirkungen Transport und Abfallwirtschaft, siehe Kap. 1.2.3) erfolgt für den Zeitraum bis 2005 (z.B. Euro-Normen für Lkw) oder auch ohne Angabe eines Zeithorizontes (z.B. Änderung der Energiestrukturen bei der Elektrolyse von Aluminium) analog einer Sensitivitätsanalyse.

Erkenntnisinteresse ist jeweils der Einfluss einer speziellen Änderung im Vergleich zu einem Basisszenario. Eine generelle Aktualisierung der Datenbasis ist daher nicht erforderlich.

- (4) Bei der **Mitbilanzierung des Füllgutes** bei der Distribution werden die Daten der Phase 1 benutzt. D.h., die Bilanzierung erfolgt für den Marktdurchschnitt 1996.

Anforderungen an die Datenqualität

Die Daten für die **neu aufgenommenen Verpackungssysteme** sollen ähnlich wie die Daten der Phase 1 allgemein zugänglich und veröffentlichungsfähig sein, damit die Ergebnisse ein Höchstmaß an Transparenz gewährleisten. Gleichwohl werden, soweit es für die Aussagekraft der Untersuchung erforderlich ist, auch vertraulich zu handhabende Datensätze eingesetzt.

Die Recherche von Originaldaten ist für Phase 2 nicht vorgesehen. Es werden Daten aus der Literatur und von der Industrie bereitgestellte Datensätze verwendet. Soweit neue Daten benutzt werden, wurden diese anhand vorliegender Daten und Erfahrungen auf Plausibilität und Vollständigkeit geprüft.

Die Daten für **Optimierungsmaßnahmen und geänderte Rahmenbedingungen** greifen zum Teil in die Zukunft. Die Daten, die zum Teil von der Industrie gestellt wurden, wurden auf Plausibilität geprüft. Aussagen zur Genauigkeit und Repräsentativität erfolgen nur sehr begrenzt, da eine zukünftige Entwicklung bilanziert wird. Die Belastbarkeit der Ergebnisse ist daher geringer als bei der Bilanzierung der ursprünglichen Verpackungssysteme. Für die **Mitbilanzierung des**

Füllgutes erfolgen keine speziellen Festlegungen, da nur mit Daten aus Phase 1 gearbeitet wird.

Die in DIN/ISO 14041 (Kap. 5.2.5) genannten zusätzlichen Anforderungen an die Datenqualität (Genauigkeit, Vollständigkeit, Repräsentativität, Konsistenz, Nachvollziehbarkeit) richten sich nach den mit den Daten zusammen bezogenen Informationen. Die Prüfung der Datenqualität ist insbesondere dann nur eingeschränkt möglich, wenn ausschließlich aggregierte Daten verfügbar sind bzw. Daten nachrichtlich zur Verfügung gestellt werden, ohne dass Originaldaten (d.h. etwa Messprotokolle) oder Annahmen hinterlegt werden.

Entsprechend der verfügbaren Information finden sich Aussagen zur Datenqualität in den jeweiligen Kapiteln der Sachbilanz (Kap. 2).

1.2.10 Methode der Wirkungsabschätzung und der Auswertung

Die Wirkungsabschätzung wird in enger Anlehnung an die vom Umweltbundesamt im Rahmen des "Vorgängervorhabens" zu Frischmilch und Bier [Schmitz et al. 1995] entwickelte Methodik gemäß den ISO-Normen 14042 und 14043 durchgeführt. Die angewandte Methode wurde im Endbericht zur Phase 1 [UBA 2000] transparent und kritisch dargestellt.

Auswahl der Wirkungskategorien und Klassifizierung (verbindlicher Bestandteil nach ISO 14042)

Die für die **Klassifizierung** verwendeten Wirkungskategorien¹¹ orientieren sich an den Vorschlägen des Umweltbundesamtes [Schmitz et al. 1995] bzw. der SETAC [Udo de Haes 1996], [Udo de Haes et al. 1999]:

- Ressourcenbeanspruchung,
- Klimaänderung (Treibhauseffekt),
- Bildung von Photooxidantien (Sommer-, Photosmog)
- Eutrophierung,
- Versauerung von Böden und Gewässern
- Gesundheitsschäden und gesundheitliche Beeinträchtigung des Menschen
- Schädigung und Beeinträchtigung von Ökosystemen
- Naturraumbeanspruchung.

Die in der Sachbilanz ermittelten Daten werden je nach ihren potenziellen Wirkungen den Wirkungskategorien zugeordnet. Hierbei sind auch Mehrfachzuordnungen möglich (siehe Endbe-

¹¹ Die Kategorie "Abfälle" wird nicht gesondert ausgewiesen, da die sie keine Umweltwirkung darstellen. Die mit der Abfallbehandlung verbundenen Umweltwirkungen (z.B. Emissionen von Luftschadstoffen bei der Verbrennung, Deponiegase usw.), gehen in die entsprechenden Wirkungskategorien ein.

richt zu Phase 1, Kap. 3 Methode der Wirkungsabschätzung [UBA 2000]).

Charakterisierung (verbindlicher Bestandteil nach ISO 14042)

Im Rahmen der Charakterisierung werden innerhalb der Wirkungskategorien Rohstoffverbrauch, Treibhauseffekt, Bildung von Photooxidantien, Versauerung von Böden und Gewässern, Eintrag von Nährstoffen in Böden und Gewässer und Naturraumbeanspruchung, für die nach Auffassung des Umweltbundesamtes bereits ausreichend abgesicherte Wirkungsäquivalenzfaktoren existieren, Aggregationen der klassifizierten Daten vorgenommen. Die in die übrigen Wirkungskategorien aufgenommenen Sachbilanz-Ergebnisse gehen unaggregiert in die Auswertung ein.

Die der Charakterisierung zugrunde liegenden Wirkungsäquivalenzfaktoren sind in Endbericht zu Phase 1, Kap. 3 [UBA 2000] dokumentiert.

Normierung (optionaler Bestandteil nach ISO 14042)

Zur besseren Verdeutlichung der Größenordnungen der in Klassifizierung und Charakterisierung errechneten Ergebnisse bezüglich der funktionellen Einheit werden diese auf einen einheitlichen Bezugswert bezogen. Hierzu dienen die durchschnittlichen Wirkungen pro Bundesbürger und Jahr (siehe auch Endbericht Phase 1, Kap. 3.3.1). Die Darstellung erfolgt somit in "Einwohner-Durchschnittswerten". Die Datengrundlagen für diesen Schritt werden, soweit verfügbar, der Literatur entnommen (siehe Endbericht Phase 1, Kap. 3.9 [UBA 2000]).

Die Normierung dient als Grundlage für die Berechnung des spezifischen Beitrages, eines der im folgenden Arbeitsschritt verwendeten Bewertungskriterien (siehe Rangbildung).

Rangbildung (optionaler Bestandteil nach ISO 14042)

Die Rangbildung erfolgt durch das Umweltbundesamt im Anschluss an die kritische Prüfung (nach ISO 14040, Kap. 7.3.3) der vorausgegangenen Arbeitsschritte. Für die Rangbildung wird die Methode der **Verbal-Argumentativen Bewertung** angewendet [UBA 1999]. Hierbei werden die Wirkungskategorien aufgrund einer intersubjektiven Beurteilung bezüglich der **Bewertungskriterien**:

- ökologische Gefährdung,
- Distance to Target und
- spezifischer Beitrag

gegeneinander abgewägt (siehe [UBA 2000, Kap. 5]). Die Ermittlung der ökologischen Gefährdung und des „Distance to Target“ erfolgt generell, also unabhängig von den in der Studie aktuell untersuchten Systemen. Der spezifische Beitrag wird für jeden Szenarienvergleich neu ermittelt. Eine detaillierte Darstellung und Begründung der angewendeten Methode und der zu-

grunde liegenden Bewertungskriterien und -klassen findet sich in „Bewertung in Ökobilanzen“ des Umweltbundesamtes [UBA 1999].

Prüfung der Datenqualität (verbindlicher Bestandteil nach ISO 14042)

Die Analyse der Datenqualität ist für zu vergleichende Ökobilanzstudien, die veröffentlicht werden sollen, ein verbindlicher Bestandteil. So soll sichergestellt werden, dass auch im Rahmen der Wirkungsabschätzung auf die Belastbarkeit der getroffenen Aussagen geachtet wird.

Da die im Rahmen der Wirkungsabschätzung genannten Datenanalysen ebenfalls im Rahmen der Sachbilanz und der Auswertung durchgeführt werden müssen, kann sich schnell eine Überschneidung der Inhalte ergeben. Daher sind in dieser Studie Aussagen zur Datenqualität und einiger spezifischer Datenauswertungen in die Kapitel zur Sachbilanz (Kap. 2.1.6, 2.2.3 und 2.3.4) integriert worden.

Auswertung

Die Auswertung der Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung erfolgt durch das Umweltbundesamt gemäß der Methode „Bewertung in Ökobilanzen“ [UBA 1999] unter Beachtung der Vorgaben aus ISO 14043. Sie umfasst die Zusammenführung der Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung über alle untersuchten Szenarien, ggf. Sensitivitätsanalysen sowie Daten- und Konsistenzprüfungen und führt im Ergebnis zu einer Empfehlung gemäß der in der Zieldefinition gestellten Fragen.

Alle Herleitungen und Annahmen, die zu den Empfehlungen führen, sind transparent darzustellen.

Anmerkungen

- Da in der ursprünglichen Projektkonzeption für Phase 2 eine Berechnung neuer Verpackungssysteme nicht explizit vorgesehen war, fehlen im Projektbudget die Anteile für Sensitivitäts- und Sektoranalysen. Hier notwendige Ergänzungen (Kap. 4.1) können zum Teil im Rahmen der Auswertung nachgeholt werden. Bei Optimierungsmaßnahmen, dem ursprünglichen Anliegen der Phase 2, sind Sektoranalysen in den meisten Fällen entbehrlich, da die Ursache der Veränderung gegenüber dem Basisszenario durch die Maßnahme festgelegt ist (z.B. neue Schmelzwannentechnologie).
- Im Kapitel 3 (Ergebnisse der Wirkungsabschätzung) werden die Ergebnisse der Charakterisierung graphisch dargestellt und erläutert. Die Einbindung der Ergebnisse der Normierung und Rangbildung erfolgt durch das Umweltbundesamt im Rahmen der Auswertung (Kap. 4).

1.2.11 Kritische Prüfung

Es wird eine Kritische Prüfung nach DIN/ISO 14040, Abs. 7.3.3, durchgeführt. Das Critical Review Panel soll die Ergebnisse aufgrund der methoden- und datenbezogenen Kriterien gemäß DIN/ISO 14040, Abs. 7.1 prüfen. Die Kritische Prüfung umfasst demnach alle Arbeitsschritte der Ökobilanz.

Zusätzlich zu den Anforderungen aus DIN/ISO 14040 wird das Projekt durch einen speziell eingerichteten **projektbegleitenden Ausschuss** begleitet. Der Ausschuss setzt sich aus Vertretern aus Verpackungsindustrie, Getränkeindustrie und -handel und weiteren gesellschaftlichen Gruppen wie Verbraucher- und Umweltschutzverbänden zusammen. Er macht Vorschläge für die zu bilanzierenden Optimierungen und neuen Verpackungssysteme sowie zu Variationen der Rahmenbedingungen. Insbesondere steht er in Verantwortung für die Bereitstellung der notwendigen Daten. Durch den projektbegleitenden Ausschuss wird die Kommunikation mit den beteiligten industriellen und gesellschaftlichen Kreisen sicher gestellt.

1.2.12 Art und Aufbau des für die Studie vorgesehenen Berichts

Der Abschlussbericht zur Phase 2 erscheint als Veröffentlichung des Umweltbundesamtes (z.B. in der Reihe "Texte").

1.3 Allgemeine Projektinformationen

Mit der Durchführung der Phase 2 wurde eine **Projektgemeinschaft** beauftragt, bestehend aus

- Prognos AG (Berlin/ Basel) und
- IFEU-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (Heidelberg).

Beratende Funktion hat die Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH (Wiesbaden).

Prognos leitet als Hauptauftragnehmer die Projektgemeinschaft.

Ansprechpartner für Rückfragen sind:

Prognos AG
Herr Gunther B. Motz
Frau Martina Schonert
Missionsstrasse 62
CH-4012 Basel
Tel.: 0041/61/327 32 00
Fax: 0041/61/327 33 00

Umweltbundesamt
Fachgebiet III.3.3
Herr Stefan Schmitz (fachl. Leiter im UBA)
Seecktstraße 6 - 10
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-3041
Fax: 030/8903-3336

(Neue Adresse ab 1. Juli 2002:
Aeschenplatz 7
CH-4052 Basel)

Als weitere Ansprechpartner stehen zur Verfügung:

IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
Herr Jürgen Giegrich
Herr Andreas Detzel
Wilckensstraße 3
69120 Heidelberg
Tel.: 06221/4767-0
Fax: 06221/4767-19

Für spezielle Fragen:

Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH
Herr Jürgen Heinisch
Rheingastrasse 85
65203 Wiesbaden
Tel.: 0611/27 804-26
Fax: 0611/27 804-50

Mitglieder des Critical Review Panel:

Prof. Dr. Walter Klöpffer
c/o C.A.U. GmbH
Daimlerstraße 23
D-63303 Dreieich
Tel.: (++49-(0)6103) 983-28
Fax: (++49-(0)6103) 983-11

Dipl.-Ing. Carl-Otto Gensch
c/o Öko-Institut e.V.
Institut für angewandte Ökologie
Binzengrün 34a
D-79114 Freiburg i.Br.
Tel.: (++49-(0)761) 45295-41
Fax: (++49-(0) 761) 475437

Prof. Dr. Birgit Grahl
Institut für integrierte Umweltforschung und Beratung
Schuhwiese 6
D-23858 Heidekamp
Tel.: (++49-(0)4533) 4110
Fax: (++49-(0)4533) 2193

2 Sachbilanz

2.1 Bilanzierung neu aufgenommener Verpackungssysteme

Neu aufgenommene Verpackungssysteme werden hinsichtlich ihrer spezifischen Daten für den Stand 2000/2001 bilanziert. Die Bestimmung der Daten und Annahmen betrifft zunächst die Behältergewichte und die Definition des Verpackungssystems aber auch sonstige Ökobilanzdaten. Alle neuen Daten und Annahmen werden in Kap. 2.1.2 bis Kap. 2.1.5 beschrieben (v.a. Rücklaufquoten bzw. Umlaufzahl, Verwertungsquoten, Verpackungsherstellung, Abfüllung und Verwertung).

In den übrigen Bereichen wurde auf die Datenbasis der Phase 1 zurückgegriffen (vgl. Kap. 1.2.9). Wie bereits in den Rahmenbedingungen formuliert, war es weder in der Zielsetzung noch im Projektbudget vorgesehen, die gesamten Systemdaten und Prozessdatensätze auf den neuen Zeithorizont 2000 anzupassen.

Module und Systemparameter aus Phase 1 werden für Phase 2 nicht neu beschrieben. Hier wird auf den Endbericht zu Phase 1 verwiesen (siehe Kap. 2.1.6.2).

Im Folgenden werden zunächst die Verpackungssysteme als solche beschrieben und im Anschluss die Parameter, Annahmen und Module, die nicht bereits in Phase 1 benutzt wurden.

2.1.1 Auswahl und Beschreibung der neu aufgenommenen Verpackungssysteme

2.1.1.1 Auswahl und Beschreibung der Systeme

Die Auswahl der zu bilanzierenden Verpackungssysteme erfolgte auf der Basis von Vorschlägen der Industrie und unter Berücksichtigung einer aus Budgetgründen begrenzten Szenarienzahl.

Der Schwerpunkt der Untersuchungen in Teilziel 1 der Phase 2 liegt bei PET-Flaschen. PET-Flaschen haben seit 1996 bei Wässern und Erfrischungsgetränken mit Kohlensäure Marktanteile gewonnen. So stieg z.B. die inländische Abfüllung von Mineralwässern in PET-Einwegflaschen von 3,6 Mio. l in 1996 auf bereits 46,5 Mio. l in 1998 [GVM 01/2001]. Bei Erfrischungsgetränken stieg die Abfüllmenge von 0,8 Mio. l auf 15 Mio. l in 1998 [GVM 01/2001]. In Phase 1 des Projektes, in der die marktrelevanten Verpackungen im Jahre 1996 abgebildet wurden, fanden PET-Flaschen nur als Mehrwegflasche mit 1 l und 1,5 l Füllvolumen Berücksichtigung. In Phase 2 werden folgende PET-Systeme bilanziert:

- Im Segment Mineralwasser Vorratskauf sind derzeit, neben den bereits in Phase 1 bilanzierten Mehrwegsystemen, die 1,0 l PET-Rücklaufflasche im Mehrwegkasten, System

PETCYCLE, die 1,5 l PET-Rücklaufflasche im Mehrwegkasten und die 1,5 l PET-Einwegflasche im Sixpack, die in anderen europäischen Ländern seit langem dominiert, marktrelevante Systeme. Die beiden Systeme unterscheiden sich wie folgt:

- Die Rücklaufflasche ist eine bepfandete Einwegflasche, die im Mehrwegkasten distribuiert wird. Die Logistik entspricht der eines Mehrwegsystems. Die leeren PET-Flaschen gelangen sortenrein zum Abfüller zurück und werden einer hochwertigen Verwertung zugeführt. Beim PET-Cycle-System wird ein Teil des PET-Rezyklates wieder zur Flaschenherstellung eingesetzt. Das System wird deshalb auch als Stoffkreislaufsystem bezeichnet.
- Die Einwegflasche im Sixpack wird als klassisches Einwegsysteem über externe Sammelssysteme erfasst und einer Verwertung zugeführt. In Deutschland übernimmt diese Aufgabe das DSD. Sofern die Flasche in der Sammelverpackung, d.h. inklusive Schrumpffolie verkauft wird, wird auch diese über das DSD erfasst. Bei Verkauf einzelner Flaschen erfolgt die Entsorgung der Schrumpffolie über den Handel.

Die Einwegflasche im Sixpack wird auch für stilles Wasser eingesetzt. Da stilles Wasser ein geringeres Flaschengewicht ermöglicht als kohensäurehaltige Getränke, wurde auch die 1,5 l Flasche für stilles Wasser als leichtestes PET-System aufgenommen.

Da die Verpackungsverordnung als Option eine Bepfandung von Einwegflaschen offenhält, wird auch diese, derzeit nicht am Markt existierende Variante als ein Szenario in der Bilanzierung berücksichtigt

- Im Segment Mineralwasser Sofortverzehr gewinnen PET-Flaschen ebenfalls Marktanteile. Die größte Bedeutung werden voraussichtlich die 0,5 l Gebinde erlangen. In die Bilanzierung der Phase 2 werden daher ein Mehrwegsysteem und die Einwegflasche im Sixpack mit Entsorgung über das DSD einbezogen.

Neben den PET-Systemen werden folgende weitere Systeme in die Untersuchung aufgenommen:

- **Leichtglasflaschen** sind ob ihres geringen Gewichtes eine ökologisch interessante Alternative zur herkömmlichen Glasflasche.

Die 1,0 l Mehrweg-Leichtglasflasche der GDB wurde in Deutschland in den Jahren 1996 und 1997 bei verschiedenen Brunnenbetrieben getestet. Eine Markteinführung erfolgte im Sommer 1997 jedoch nur bei einem Süddeutschen Abfüller, der zu den zwanzig größten Brunnenbetrieben der GDB zählt [NN 1997]. Die Leichtglasflasche wird dort zur Abfüllung sowohl für Mineralwässer als auch für Süßgetränke eingesetzt. Die Kästen dieses Flaschentyps weisen Euro-Maße auf, so dass zur Verladung Euro-Paletten eingesetzt werden können, die im Vergleich zu den Brunnen-Einheitspaletten die Fläche in Lkws besser ausnutzen können.

Die 1,0 l Einweg-Leichtglasflasche wurde entwickelt und auf dem Markt getestet. Zu einer Einführung über die Pilotmärkte hinaus, kam es bisher nicht.

- Bei **Getränkedosen** interessiert in Phase 2 inwieweit sich ein größeres Füllvolumen in ökologischer Hinsicht auswirkt.

2.1.1.2 Definition der Verpackungssysteme

Entsprechend der Zielstellung in Teilziel 1 wurde nicht der Marktdurchschnitt 2001, sondern die im Jahr 2001 jeweils leichteste auf dem Markt befindliche Flasche und ein fortschrittliches Verpackungssystem der Ökobilanz zugrunde gelegt.

Die Definition des Verpackungssystems erfolgt für eine Palette.

Segment: Mineralwässer u.a. Wässer

In diesem Getränkesegment werden sowohl Verpackungen für Kohlensäurehaltige als auch für stille Wässer bilanziert. Während die Mehrweg-Glasflaschen, die in Phase 1 bilanziert wurden, keine Unterschiede in Abhängigkeit vom Kohlensäuregehalt zeigten, unterscheidet sich bei PET das Flaschengewicht für Kohlensäurehaltiges und stilles Wasser erheblich. Die 1,5 l PET-Flasche für stilles Wasser wiegt 20% weniger als die für Kohlensäurehaltiges Wasser.

Mit Ausnahme der 28 g PET-Flasche sind alle im nachfolgenden aufgeführten Verpackungssysteme für Kohlensäurehaltiges Wasser gedacht.

Tabelle 2- 1: Definition des Verpackungssystems für die 1,0 l Mehrweg-Leichtglasflasche (Bad Dürkheimer) – (II-1 Leichtglas 1,0l MW)

Verpackungssystem für 1,0 l Mehrweg-Leichtglasflasche			
Bestandteile	Anzahl pro Palette	Material	Masse pro Stück (g)
Mehrweg-Leichtglasflasche	480	Glas Polyurethan	Glas: 480 PU: 10
Verschlüsse	480	Split: 70% Alu-~ 30% HDPE-~	für Alu: 1,5 g incl. Dichtung, für HDPE: 3,2 g
Etiketten	480	Papier (70 g/m ²)	1,0
Mehrwegkasten	80	HDPE	1050
Palettensicherung	1	PE-Schnur	18,0
Palette (Euro)	1	Holz	22'000

Stapelungsplan: 6 Flaschen pro Kasten; 16 Kästen pro Lage, 5 Lagen pro Palette

Gesamtgewicht Verpackung pro Palette: 342,7 kg

Gesamtgewicht Füllgut pro Palette: 480,0 kg

Umlaufzahl: 50

Tabelle 2- 2: Definition des Verpackungssystems für die 1,0 l Einweg-Leichtglasflasche (II-2 Leichtglas 1,0l EW)

Verpackungssystem für 1,0 l Einweg-Leichtglasflasche			
Bestandteile	Anzahl pro Palette	Material	Masse pro Stück (g)
Einweg-Leichtglasflasche	540	Glas PE/EP	295 3
Verschlüsse	540	HDPE	3,5
Etiketten	540	Polystyrol	1,0
Karton	45	Wellpappe (B-Welle 3 mm)	220
Palettensicherung	1	PE-Schnur	18
Palette (Euro)	1	Holz	22'000

Stapelungsplan: 12 Flaschen pro Tray; 9 Kartons pro Lage; 5 Lagen pro Palette

Gesamtgewicht Verpackung pro Palette: 195,3 kg

Gesamtgewicht Füllgut pro Palette: 540,0 kg

Tabelle 2- 3: Definition des Verpackungssystems für 1,0 l PET-Rücklaufflaschen im Mehrwegkasten (Stoffkreislauf SK) - (II-3 PET-EW 1,0l (32g SK))

Verpackungssystem für 1,0 l PET-Rücklaufflaschen (PETCYCLE)			
Bestandteile	Anzahl pro Palette	Material	Masse pro Stück (g)
PET-Einwegflaschen	480	50% Primär-PET 50% Sek.-PET	32
Verschlüsse	480	HDPE	2,7
Etiketten	480	Papier (70 g/m ²)	1,3
Mehrwegkasten	40	HDPE	1200
Palettensicherung	1	PP-Band	10
Europalette	1	Holz	22'000

Stapelungsplan: 12 Flaschen pro Kasten; 8 Kästen pro Lage; 5 Lagen pro Palette

Gesamtgewicht Verpackung pro Palette: 87,3 kg

Gesamtgewicht Füllgut pro Palette: 480,0 kg

Rücklaufquote: 95%

Tabelle 2- 4: Definition des Verpackungssystems für 1,5 l PET-Rücklaufflaschen Rücklaufflaschen im Mehrwegkasten (Stoffkreislauf SK) – (II-4 PET-EW 1,5l (35g SK))

Verpackungssystem für 1,5 l PET-Rücklaufflaschen (PETCYCLE)			
Bestandteile	Anzahl pro Palette	Material	Masse pro Stück (g)
PET-Einwegflaschen	384	50% Primär-PET 50% Sek.-PET	35
Verschlüsse	384	HDPE	2,7
Etiketten	384	Papier	1,4
Mehrwegkasten	64	HDPE	1038
Palettensicherung	1	PP-Band	10
Europalette	1	Holz	22'000

Stapelungsplan: 6 Flaschen pro Kasten; 16 Kästen pro Lage; 4 Lagen pro Palette

Gesamtgewicht Verpackung pro Palette: 103,5 kg

Gesamtgewicht Füllgut pro Palette: 576,0 kg

Rücklaufquote: 95%

Tabelle 2- 5: Definition des Verpackungssystems für 1,5 l PET-Einwegflaschen (Sixpack) – (II-5/6 PET-EW 1,5l (35g DSD oder Pfand))

Verpackungssystem für 1,5 l PET-Einwegflaschen			
Bestandteile	Anzahl pro Palette	Material	Masse pro Stück (g)
PET-Einwegflaschen	456	95% Primär-PET/ 5% Sek.-PET	35
Verschlüsse	456	HDPE	2,7
Etiketten	456	LDPE	0,9
Schrumpffolie	76	LDPE	26
Zwischenlagen	4	Graukarton	475
Palettensicherung	1	PE-Band	10
Palette (Euro)	1	Holz	22'000

Stapelungsplan: 6 Flaschen pro Tray; 19 Trays pro Lage; 4 Lagen pro Palette

Gesamtgewicht Verpackung pro Palette: 43,5 kg

Gesamtgewicht Füllgut pro Palette: 684,0 kg

Tabelle 2- 6: Definition des Verpackungssystems für 1,5 l PET-Einwegflaschen (Sixpack), Segment: stilles Wasser – (II-7 PET-EW 1,5l, Stilles Wasser (28g DSD))

Verpackungssystem für 1,5 l PET-Einwegflaschen (stilles Wasser)			
Bestandteile	Anzahl pro Palette	Material	Masse pro Stück (g)
PET-Einwegflaschen	456	100% Primär-PET	28
Verschlüsse	456	HDPE	2,7
Etiketten	456	LDPE	0,9
Schrumpffolie	76	LDPE	26
Zwischenlagen	4	Graukarton	475
Palettensicherung	1	PE-Band	10
Palette (Euro)	1	Holz	22'000

Stapelungsplan: 6 Flaschen pro Tray; 19 Trays pro Lage; 4 Lagen pro Palette

Gesamtgewicht Verpackung pro Palette: 40,3 kg

Gesamtgewicht Füllgut pro Palette: 684,0 kg

Tabelle 2- 7: Definition des Verpackungssystems für 0,5 l PET-Mehrwegflaschen (II-8 PET-MW 0,5l)

Verpackungssystem für 0,5 l PET-Mehrwegflaschen (GDB)			
Bestandteile	Anzahl pro Palette	Material	Masse pro Stück (g)
PET-Mehrwegflasche	1152	100% Primär-PET	43
Verschlüsse	1152	PP	2,5
Etiketten	1152	PE-Sleeve	1,0
Mehrwegkasten	96	HDPE-Rezyklat	1100
Palettensicherung	1	PP-Band	10
Europalette	1	Holz	22'000

Stapelungsplan: 12 Flaschen pro Kasten; 16 Kästen pro Lage; 6 Lagen pro Palette

Gesamtgewicht Verpackung pro Palette: 181,2 kg

Gesamtgewicht Füllgut pro Palette: 576,0 kg

Umlaufzahl: 15

Tabelle 2- 8: Definition des Verpackungssystems für 0,5 l PET-Einwegflaschen (II-9 PET-EW 0,5l DSD)

Verpackungssystem für 0,5 l PET-Einwegflaschen			
Bestandteile	Anzahl pro Palette	Material	Masse pro Stück (g)
PET-Einwegflaschen	1296	PET primär	21
Verschlüsse	1296	HDPE	2,7
Etiketten	1296	50% Papier 50% PP	1 0,4
Schrumpffolie	216	LDPE	8,4
Tray	54	Wellkarton	90
Abdeckfolie	1	LDPE	190
Stretchfolie	1	LLDPE	450
Palette (Euro)	1	Holz	22'000

Stapelungsplan: 6 Flaschen pro Schrumpfpäck; 24 Flaschen pro Tray; 9 Trays pro Lage; 6 Lagen pro Palette

Gesamtgewicht Verpackung pro Palette: 61,0 kg

Gesamtgewicht Füllgut pro Palette: 648,0 kg

Segment: Erfrischungsgetränke mit Kohlensäure

**Tabelle 2- 9: Definition des Verpackungssystems für 0,5 l Glas-Mehrwegflaschen
(Gastronomie- und Automatenflasche Typ Libella)
(II-10 Glas MW 0,5l)**

Verpackungssystem für 0,5 l Glas-Mehrwegflaschen			
Bestandteile	Anzahl pro Palette	Material	Masse pro Stück (g)
Glas-Mehrwegflasche	800	Weißglas	360
Verschlüsse	800	Alu	1,5
Etiketten	800	Papier	1,1
Mehrwegkasten („Bierkasten“)	40	HDPE-Rezyklat	1350
Palettensicherung	1	PE-Schnur	18
Europalette	1	Holz	22'000

Stapelungsplan: 20 Flaschen pro Kasten; 8 Kästen pro Lage; 5 Lagen pro Palette

Gesamtgewicht Verpackung pro Palette: 366,1 kg

Gesamtmenge Füllgut pro Palette: 416,0 kg (400 l)

Umlaufzahl: 21

**Tabelle 2- 10: Definition des Verpackungssystems der 0,5 l Aluminiumdose
(II-11 Aluminiumdose EW 0,5l)**

Verpackungssystem der 0,5 l Aluminiumdose			
Bestandteile	Anzahl pro Palette	Material	Masse pro Stück (g)
Aluminiumdose	1512	Aluminium	11,957
Verschlüsse	1512	Aluminium	2,9
Tray	63	Wellpappe	162
Palettensicherung	1	LDPE-Stretch	533
Palette (Euro)	1	Holz	22'000

Stapelungsplan: 24 Dosen pro Tray; 9 Trays pro Lage; 7 Lagen pro Palette

Gesamtgewicht Verpackung pro Palette: 55,20 kg

Gesamtgewicht Füllgut pro Palette: 786,24 kg (756 l)

**Tabelle 2- 11: Definition des Verpackungssystems der 0,5 l Weißblechdose
(II-12 Weißblechdose EW 0,5l)**

Verpackungssystem der 0,5 l Weißblechdose			
Bestandteile	Anzahl pro Palette	Material	Masse pro Stück (g)
Weißblechdose	1512	Weißblech	30,888
Verschlüsse	1512	Aluminium	2,9
Tray	63	Wellpappe	162
Palettensicherung	1	LDPE-Stretch	533
Palette (Euro)	1	Holz	22'000

Stapelungsplan: 24 Dosen pro Tray; 9 Trays pro Lage; 7 Lagen pro Palette

Gesamtgewicht Verpackung pro Palette: 83,85 kg

Gesamtgewicht Füllgut pro Palette: 786,24 kg (756 l)

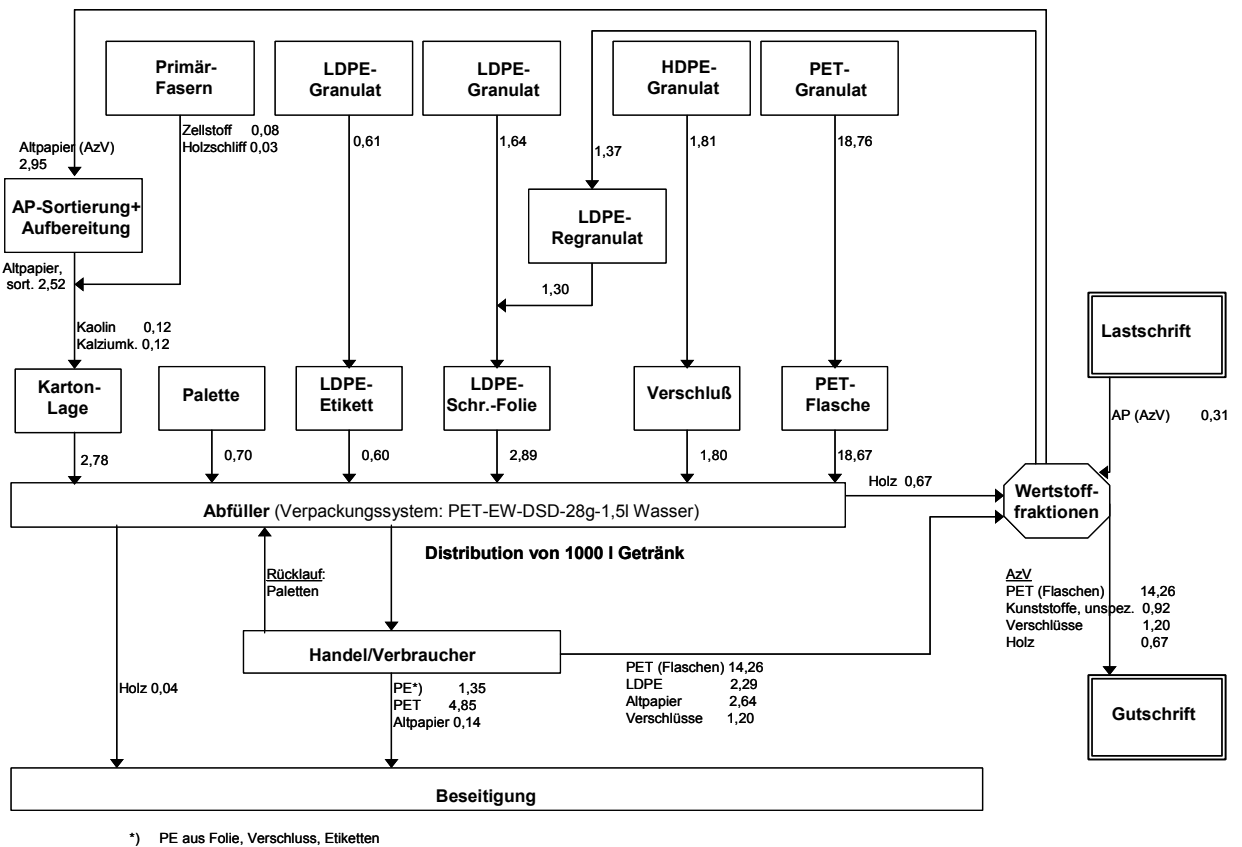


Abbildung 2-2: Lebenswegstruktur und Hauptstoffströme (kg) für Szenario II-7: 1,5 I PET-EW für stilles Mineralwasser, Entsorgung über DSD (II-7 PET-EW 1,5l, Stilles Wasser (28g DSD))

2.1.2 Systemparameter und Annahmen zur Systemmodellierung

2.1.2.1 Einsatzquoten für Sekundärmaterial bei der Herstellung von Verpackungen, v.a. Rezyklateinsatz bei PET-Flaschen

Die in Phase 1 verwendeten Einsatzquoten für Sekundärmaterial wurden übernommen¹². Als neue Verpackung ist in Phase 2 die PET-Einwegflasche hinzugekommen, deren Einsatzquoten für Sekundärmaterial im Folgenden beschrieben wird.

PET-Rücklaufflaschen (Szenarien II-3, II-4)

Die PET-Rücklaufflaschen für Wasser werden mit einem Rezyklatanteil von 50% gerechnet.

Ein Rezyklatanteil von 50% wird derzeit bei PETCYCLE für Wasser realisiert [PETCYCLE 03/2001], anvisiert werden bis zu 75% Rezyklatanteil. Der Challenge-Test¹³ zeigt, dass das im Rahmen von PETCYCLE gewonnene PET-Rezyklat uneingeschränkt lebensmitteltauglich ist und keine Fremdstoffe enthält. Die einzige derzeit feststellbare Qualitätseinbuße ist eine Verfärbung ab ca. der vierten Nutzung des Rezyklates.

Der genannte Rezyklatanteil von 50% ist anhand der Unterlagen von einzelnen Herstellern belegt [PETCYCLE 03/2001]. Nicht bekannt ist, wie hoch der durchschnittliche Rezyklatanteil für Stoffkreislaufflaschen für Wasser ist. Nach Einschätzung der Auftragnehmer dürfte der derzeitige Durchschnittswert unter 50% liegen.

Ob sich eine durchgängige 50-prozentige oder höhere Rezyklateinsatzquote einstellen wird und auch langfristig zu halten ist, bleibt umstritten. Als Gegenargumente werden angeführt:

- Ungeklärt sind insbesondere die langfristige Geschmacksneutralität, optische Eigenschaften und verarbeitungstechnische Parameter wie u.a. das Einzugsverhalten, Plastifizierverhalten und Konstanz der Viskosität.
- Die Erfahrungen von PETCYCLE können nicht auf eine flächendeckende Rücknahme übertragen werden, da dann die Herkunft der Flaschen nicht mehr nachvollziehbar ist.

¹² 59% Altglas, weiß für Weißglas
90% Sekundäraluminium für Aluminiumbänder (Dosenbody)
80% Sekundäraluminium für Aluminiumbänder (Flaschenverschluss)
12,2% Schrott, extern für Weißblech
Quelle: [UBA 2000], Tab. 2-33

¹³ Mit dem Challenge-Test kann die Reinigungseffizienz von Recyclingprozessen kontrolliert werden. Dafür werden Modellkontaminanten in den Prozess eingebracht und deren Endkonzentration im fertigen Bedarfsgegenstand gemessen. Der Test wird sowohl vom Bundesinstitutes für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin BgVV als auch von der amerikanischen Food and Drug Administration FDA anerkannt. [Welle, Franz 1998]

Die Projektgemeinschaft geht für das Stoffkreislaufsystem von PETCYCLE davon aus, dass ein durchschnittlicher Rezyklateinsatz von 50% langfristig erreicht werden kann, da in diesem Fall statistisch in jeder Flasche immer noch 50% Neumaterial enthalten sind und damit die benötigte Rezyklatqualität sicher gestellt werden kann.

Rezyklateinsatz bei der 1,5 l PET-Einwegflasche im Tray für Kohlensäurehaltige Wässer (Szenario II-5, II-6)

Eine Umfrage des Industrieverbandes Kunststoffverpackungen (IK) bei den betreffenden Herstellerbetrieben ergab im Mittel einen Einsatz von 5% PET-Rezyklat. Die Hochrechnung auf den gesamten deutschen 1,5 l PET-Einwegmarkt erfolgte durch den IK über die Marktanteile der Betriebe [IK 02/2001]. Die Einsatzquote wurde nachrichtlich vom IK mitgeteilt. Eine direkte Kommunikation zwischen den Auftragnehmern und den Herstellerbetrieben erfolgte nicht.

Bei den anderen bilanzierten PET-Systemen, d.h. der 1,5 l Flasche für stilles Wasser (Szenario II-7) und den 0,5 l Flaschen (Szenarien II-8, II-9), wird derzeit kein Rezyklat eingesetzt.

2.1.2.2 Rücklaufquoten von Rücklaufflaschen und bepfandeten Einwegflaschen

Rücklaufflaschen im Mehrwegkasten (Szenarien II-3, II-4) erreichen nach Statistiken von PETCYCLE Rücklaufquoten von mehr als 95% [Fachgespräch PET, Jan 2001].

Für die Ökobilanzen wird sowohl für die Rücklaufflaschen im Mehrwegkasten als auch für sonstige bepfandete Einwegflaschen (Szenario II-6) eine Rücklaufquote von 95% angesetzt.

2.1.2.3 Umlaufzahlen für Mehrwegflaschen- und -kästen

Die Umlaufzahlen für Mehrwegverpackungen wurden in Anlehnung an die Umlaufzahl ähnlicher Systeme festgelegt.

- Die **1,0 l Leichtglasflasche** (Szenario II-1) wendet sich an den gleichen Käuferkreis wie die bisher verbreitete 0,7 l Perlenflasche der GDB (Phase 1, Szenario 1). Die technische Auslegung der Leichtglasflasche erfolgte analog zur 0,7 l Flasche für 50 Umläufe. Praxiserfahrungen liegen hierzu jedoch nicht vor.
- Die **0,5 l PET-Mehrwegflasche** (Szenario II-8) erreicht nach Erfahrungen eines Abfüllers 15 Umläufe. Dies entspricht den Umlaufzahlen, die in Phase 1 des Projektes festgelegt wurden (Phase 1, Szenario 4, 20 für 1,5 l PET; 16 Umläufe; Szenario 19 für 1,0 l PET: 14 Umläufe).
- Die **0,5 l Glasflasche** (Szenario II-10) für Erfrischungsgetränke wird vielfach über Getränkeautomaten ausgegeben. Mangels spezifischer Informationen wird die Umlaufzahl

der 0,33 l Coca Cola-Flasche, die ebenfalls häufig über Automaten verkauft wird (Phase 1, Szenario 21) von 21 übertragen. Der Analogieschluss basiert auf der Annahme, dass die Umlaufzahl nicht mit der Bruchfestigkeit korreliert ist, sondern mit einer Tendenz des Konsumentenkreises zu nicht bestimmungsgemäßer Entsorgung. In gleicher Größenordnung liegt auch die Umlaufzahl einiger Saftflaschen (1,0 l Weithals) und von Milchflaschen (siehe [UBA 2000, S. 103]). Eine Umlaufzahl von 21 wird daher als plausible Abschätzung betrachtet.

Die folgende Tabelle zeigt die Festlegungen im Überblick.

Tabelle 2- 12: Umlaufzahlen für Mehrwegflaschen

Szen. Nr.	Verpackungssystem	Füllgutbereich	Arbeitswert für Umlaufzahl
II-1	1,0 l Leichtglas MW	Mineralwasser (kohlenensäurehaltig)	50
II-8	0,5 l PET MW	Mineralwasser (kohlenensäurehaltig)	15
II-10	0,5 l Glas MW	Erfrischungsgetränke mit Kohlensäure	21

Umlaufzahl für Mehrwegkästen

Die Umlaufzahl für Mehrwegkästen wird für Glasflaschen in Anlehnung an die in Phase 1 des Projektes ermittelten Umlaufzahlen festgelegt.

- Für die Mehrweg-Leichtglasflasche wird die Kastenumlaufzahl der 0,7 l Glas-Perlenflasche (Phase 1, System I-1) von 100 und
- für die 0,5 l Glas-Mehrwegflasche die Kastenumlaufzahl der 0,33 l Glas-Mehrwegflasche (Phase 1, System I-21) von 67 übernommen.
- Für die PET-Flaschen wurde die Kastenumlaufzahl entsprechend der Referenz von PETCYCLE auf 50 festgelegt [PETCYCLE 06/2001].

Tabelle 2- 13: Umlaufzahlen für Mehrwegkästen

Szen. Nr.	Mehrwegkasten für	Füllgutbereich	Arbeitswert Umlaufzahl
II-1	1,0 l Mehrweg-Leichtglas	Mineralwasser	100
II-3	1,0 l Rücklauf-PET	Mineralwasser	50
II-4	1,5 l Rücklauf-PET	Mineralwasser	50
II-8	0,5 l Mehrweg-PET	Mineralwasser	50
II-10	0,5 l Mehrweg-Glas	Erfrischungsgetränke mit Kohlensäure	67

2.1.2.4 Verluste von Mehrweg- und Rücklaufflaschen und ihrer Verschlüsse bei Handel und Abfüller

Gesicherte Angaben zur Verteilung der Verluste auf Handel, Abfüller und Verbraucher liegen nicht vor. Folgende Erfahrungen werden zur Festlegung herangezogen [UBA 2000].

- Beim Abfüller scheiden Flaschen durch Bruch und Aussortierung, z.B. aufgrund optischer Qualitätskriterien, aus dem Kreislauf aus. Bei PET-Flaschen ist die Aussortierung höher als bei Glasflaschen.
- Beim Handel sind die Verluste erfahrungsgemäß sehr gering.
- Beim Verbraucher werden bei überwiegendem Verkauf in Kisten und hohen Pfandbeträgen in der Regel hohe Rückgabequoten erreicht. Verluste treten durch Bruch oder anderweitige Entsorgung bzw. Beseitigung auf.

Unter Berücksichtigung dieser Erfahrungen sowie der Umlaufzahl legen wir den Ökobilanzen folgende **Annahmen** zugrunde:

Tabelle 2- 14: Interne und externe Verluste von Mehrwegflaschen

Nr.	Verpackungssystem	UZ	Gesamt-Verlust (1/UZ)	interner Verlust	externer Verlust	Rückgabequote beim Verbraucher
Mineralwasser u.a. Wasser						
II-1	1,0l MW-Leichtglasflasche	50	2,0%	1,5%	0,5%	99,5%
II-8	0,5 l PET Mehrwegflasche *)	15	6,7%	3,9%	2,8%	97,2%
Erfrischungsgetränke mit Kohlensäure						
II-10	0,5l MW-Glasflasche	21	4,8%	2,0%	2,8%	97,2%

*) analog Mehrwegflaschen Sofortverzehr in Phase 1, geringere Rückgabe, da Freizeitgetränk

Rund 10% der rücklaufenden Flaschen kommen ohne **Verschlüsse** zurück. Die Verluste entstehen beim Verbraucher [UBA 2000].

PET-Rücklaufflaschen im Mehrwegkasten (SK) werden zu 95% über den Handel an den Abfüller zurückgegeben (s. Kap. 2.1.2.2). Der Abfüller führt die Flaschen einer hochwertigen Verwertung zu.

2.1.2.5 Stoffflüsse ab Verbraucher: Wertstoff- und Sortierquoten (Verwertungsquoten)

Der Verbraucher gibt Mehrwegbehältnisse (Flaschen und Kisten) zu einem bestimmten Anteil über den Handel zurück (siehe Kap. 2.1.2.4) und entsorgt den Rest über eine Wertstoff- oder Restmüllfassung.

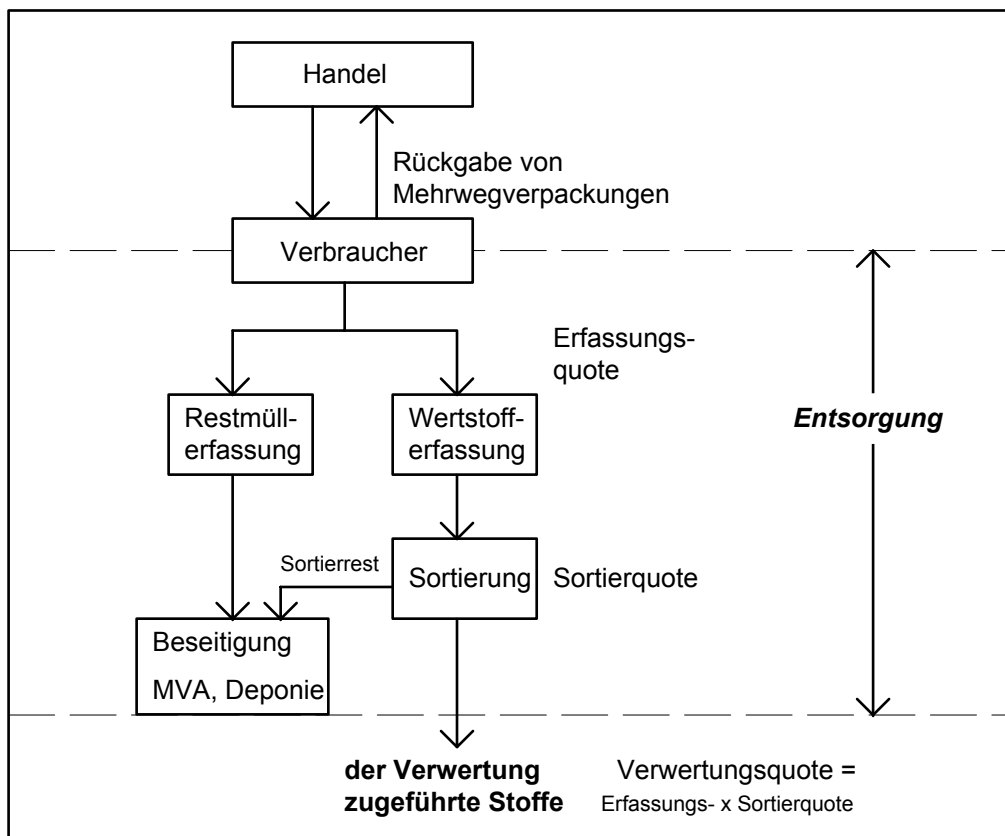


Abbildung 2-3: Stoffflüsse ab Verbraucher

In den Bilanzen für Mehrweg- und Rücklaufflaschen spielt der Bereich Entsorgung ab Verbraucher aufgrund der in Tabelle 2- 14 genannten Verlustquoten von nur 0,5% bis 5% eine nachgeordnete Rolle. Wichtiger sind die Quoten für Einwegsysteme.

Die Verwertungsquoten ¹⁴ werden einer Studie [AGVU 2001] entnommen, für die die GVM Verwertungsquoten speziell für Getränkeverpackungen abschätzte. Die Zahlen basieren auf der Gesamtrecyclingmenge eines Materials (z.B. Weißblech), die im Rahmen der GVM-Recyclingbilanz ermittelt wurde. Die Verwertungsquote einzelner Verpackungsgruppen (z.B. Getränkedosen, Aerosoldosen, Bajonettverschlüsse) wurde dort iterativ durch Expertenschätzungen für die einzelnen Packmittel festgelegt. Damit wird für die neu aufgenommenen, fortschrittlichen Systeme eine packmittelspezifische Verwertungsquote zugrunde gelegt, die über der Verwertungsquote des Packmittelmixes¹⁵ der GVM-Recyclingbilanz liegt. Dies ist plausibel, da Getränkeverpackungen relativ große und saubere Teile des Mixes sind.¹⁶

Verpackungsbestandteile können geringere Verwertungsquoten aufweisen. Für die vorliegende Ökobilanz wurden deshalb für Verschlüsse und nicht zurückgegebene Pfandflaschen besondere Annahmen getroffen. Für Verschlüsse werden ergänzend interne Berechnungen der GVM [GVM 1997b] zugrunde gelegt. Sofern sich auch daraus keine Werte ermitteln lassen, wird die Hälfte der Quote der auf die Materialzuordnung der Phase 1 angepassten Recycling-Bilanz [GVM 05/2001] angesetzt. Entsprechend wird auch für Glas-Mehrweg, d.h. Glasbruch verfahren.

Die Verwertungsquote ist das Ausgangsdatum zur Berechnung der Wertstoffeffassungsquote, also der Quote mit der der Verbraucher Getränkebehälter einer Wertstoffeffassung zuführt (siehe Abbildung 2-3). Die Erfassungsquoten, mit denen der Verbraucher Verpackungen einer Wertstoffsammlung zuführt, lassen sich aus der Verwertungsquote durch Division mit der Sortierquote berechnen. Da zur Sortierquote keine belastbaren Informationen vorlagen, wurden Annahmen getroffen (siehe Tabelle 2- 15 bis Tabelle 2- 18).

Die Modellierung erfolgt mit folgenden Quoten:

¹⁴ Die Verwertungsquote berechnet sich aus dem Verhältnis der zur Verwertung bereit gestellten Mengen zum Verpackungsverbrauch. Die Verwertungsquote kann für die Fraktionen der DSD-Sortierung auch als Produkt aus Erfassungs- und Sortierquote (Grobsortierung) berechnet werden.

¹⁵ Der Packmittelmix besteht aus kleinen und großen Teilen, relativ sauberen und verschmutzten Teilen sowie sortenreinen Teilen und Verbundmaterialien

¹⁶ In Phase 1 des Projektes wurde mit den auf umfangreichen Recherchen basierenden Daten der Recyclingbilanz [GVM 1997] gearbeitet. Die daraus berechneten Verwertungsquoten liefern eine gut abgesicherte, für Getränkeverpackungen eher zu niedrige Quote.

Tabelle 2- 15: Entsorgung von Einwegverpackungen beim Verbraucher

Einweg-	(Leicht-) Glas- flasche EW (II-1)	PET-Flasche EW – DSD (II-5/7/9)	Aluminiumdose (II-11)	Weißblechdose (II-12)
Wertstoff-Erfas- sungsquote ⁴⁾	85 % Glascont. ¹⁾	74% ¹⁾	86% ¹⁾ verschiedene Erfassungssyst.	90% ¹⁾ verschiedene Erfassungssyst.
Sortierquote	~100% ²⁾	~100% ²⁾	~100% ²⁾	~100% ²⁾
Sortierfraktion	Altglas, aufbereitet	Flaschenfraktion und MKS, s. Kap. 2.1.2.6	Aluminium	Weißblech
Anteil in Restmüll	15%	26%	14%	10%

Anmerkung: Littering wird vernachlässigt.

1) [AGVU 2001]

2) Annahme: Erfassungs- gleich Verwertungsquote

4) Bezug (Verbraucher): Restmüll- + Wertstoffsammlung. = 100%

**Tabelle 2- 16: Entsorgung von Mehrweg-, Rücklauf- und bepfandeten Einwegflaschen
beim Verbraucher**

	Glas-Mehrweg (nicht zurückgegeben, Bruch) (II-1/10)	PET-Mehrweg (II-8)	PET-Rücklauf~ (SK) (II-3/4), bepfandete PET- Flasche (II-6) (nicht zurückgegeben)
Wertstoff-Erfassungs- quote ⁴⁾	42,5 % Glascont. ^{1b)}	74% DSD ¹⁾	74% DSD ¹⁾
Sortierquote	~100%	~100%	~100%
Sortierfraktion	Altglas, aufbereitet	Flaschenfraktion und MKS, s. Kap. 2.1.2.6	Flaschenfraktion und MKS, s. Kap. 2.1.2.6
Anteil in Restmüll- sammlung	57,5%	26%	26%

1) [AGVU 2001]

1b) [AGVU 2001] ergänzt um Annahme: Kleine Verpackungen, -bestandteile haben eine um 50% geringere Verwertungsquote als die "Durchschnittsverpackung"

2) Annahme: Erfassungs- gleich Verwertungsquote

4) Bezug (Verbraucher): Restmüll- + Wertstoffsammlung. = 100%

Tabelle 2- 17: Entsorgung von Verschlüssen auf Mehrweg- und Rücklaufflaschen beim Verbraucher

	nicht mit der Flasche zurückgegebene Verschlüsse auf bepfandeten Flaschen (Mehrweg-, Rücklauf- und bepfandete Einwegflaschen)	
	PE- oder PP-Verschlüsse	Al-~ auf Glasflasche
Wertstoff-Erfassungsquote ⁴⁾	6 % DSD analog Kronenkorken ³⁾	6% DSD analog Kronenkorken ³⁾
Sortierquote	0% ⁶⁾	ca. 50% für DSD ⁶⁾
Sortierfraktion	Sortierrest	Aluminium
Anteil in Restmüll	94%	94%

3) [GVM 1997b]

4) Bezug (Verbraucher): Restmüll- + Wertstoffsammlung. = 100%

6) Annahme

Tabelle 2- 18: Entsorgung von Verschlüssen von Einwegflaschen beim Verbraucher

	Verschlüsse auf Einwegflaschen	
	PE oder PP ~ auf Glasflasche	PE oder PP auf PET-Flasche
Wertstoff-Erfassungsquote ⁴⁾	48% mit Flasche über Glascontainer ³⁾	90% mit Flasche über DSD ⁵⁾
Sortierquote	0% für Glasaufbereitung ⁷⁾	74% ⁸⁾
Sortierfraktion	Sortierrest	Flaschen bzw. MKS
Anteil in Restmüll	52%	10%

3) analog Al-Verschlüsse [GVM 1997b]

4) Bezug (Verbraucher): Restmüll + Wertstoffsammlung. = 100%

5) analog Deckelanteil auf zurückgegebenen Mehrwegflaschen, s. Kap. 2.1.2.4

7) Daten der Glasaufbereitung

8) Sortierung als Teil der PET-Flasche

2.1.2.6 Modellierung der PET-Verwertung über DSD, Annahmen zu Erfassungs- und Sortierquoten für PET-Flaschen (Szenarien II-5, II-7, II-9)

Der Verwertungsweg für PET-Einwegflaschen, die über den gelben Sack gesammelt werden, wurde auf der Basis von Angaben des DSD [DSD 2001] modelliert. Der entsprechende Stoffstrom ist in Abbildung 2-4 dargestellt.

Beim DSD wurden im Jahr 2000 47,6 kt PET-Getränkeflaschen lizenziert. Nach Schätzungen des DSD liegt der Lizenzierungsgrad in diesem Marktsegment bei mindestens 95%. Aus der

Gesamtmenge der vermarkteten PET-Getränkeflaschen wurden 74% [AGVU 2001] einer Verwertung zugeführt. Da PET-Getränkeflaschen sowohl in der Flaschenfraktion als auch in der Kunststoffmischfraktion zu finden sind, ist es allerdings schwierig, ausreichend exakte Angaben über die einzelnen Verwertungswege zu machen.

Relativ gut abgesicherte Zahlen existieren beim DSD über PET in der Flaschenfraktion. Sie basieren auf quartalsweisen Analysen aus mehreren Sortieranlagen aus jedem Bundesland und sind statistisch abgesichert. Geht man davon aus, dass in der Flaschenfraktion 6% PET-Flaschen für andere Füllgüter enthalten sind (Speiseöl etc., in Stichproben analysiert), so berechnen sich knapp 26.000 t PET für die Flaschenfraktion [DSD 2001].

In Stichproben der Mischfraktion wurde ein PET-Anteil von ca. 6% festgestellt. Bei einem Aufkommen von 380.000 t/a Mischfraktion sind das ca. 22.000 t/a. Weniger als die Hälfte davon, also ca. 10.000 t sind PET-Getränkeflaschen [DSD 2001].

Auf der Basis des diskutierten Zahlenmaterials (36.000 t PET-Getränkeflaschen zur Verwertung, 74% Verwertungsquote) läge die Marktmenge bei 48.650 t PET-Getränkeflaschen. Diese Zahl liegt in der Größenordnung der eingangs genannten lizenzierten Mengen, insbesondere bei Berücksichtigung des Lizenzierungsgrads.

PET aus der Flaschenfraktion wurde in 2000 zum Teil gemeinsam mit den Polyolefin-Flaschen nassaufbereitet und zum Teil vor der HDPE-Verwertung meist manuell aussortiert, um es separat in die Nassaufbereitung zu geben. In beiden Fällen fällt gewaschenes PET-Mahlgut (Flakes) und PO-Mahlgut aus Deckeln und Etiketten an. Das Mahlgut unterscheidet sich allerdings je nach Stoffstrom in seiner Qualität. Bei der separaten PET-Aufbereitung fallen sowohl PET- als auch PO-Mahlgut als reiner Stoffstrom an. In der gemeinsamen Verarbeitung mit HDPE fällt PET als Sinkgut an und ist meist stärker mit anderen Kunststoffen, wie z.B. PVC und Störstoffen verunreinigt als bei separater Verarbeitung. Deckel und Etiketten fallen hier als PO-Mahlgut in der Reinfraaktion an.

Für beide Verfahren wurde eine Materialausbeute bezogen auf den Flascheninput – über alle Gebindegrößen hinweg - von 80% angesetzt. Diese Ausbeute stellt nach Meinung der Auftragnehmer eine konservative Annahme dar.

In der Mischfraktion werden PET-Flaschen inkl. Deckel und Etiketten gemeinsam mit den anderen Kunststoffen zu Agglomerat aufbereitet und rohstofflich verwertet. Für die Aufbereitung zu Agglomerat beträgt die durchschnittliche Ausbeute 96%.

In Summe werden 24% der beim Verbraucher anfallenden PET-Einwegflaschen für die werkstoffliche Verwertung bereitgestellt und 50% für die rohstoffliche Verwertung.

Ausbeuteverluste gelangen generell als Restabfall in die Abfallbeseitigung.

Derzeit findet eine zunehmende Automatisierung der Sortieranlagen statt (z.B. Modellanlage in Trier), mit der eine Verschiebung der Art und Mengen der Sortierfraktionen einher geht. Insbe-

sondere kann direkt eine PET-Fraktion erzeugt werden. Im Jahr 2000 spielte dieser Stoffstrom für die PET-Verwertung noch keine relevante Rolle und wurde hier nicht berücksichtigt.

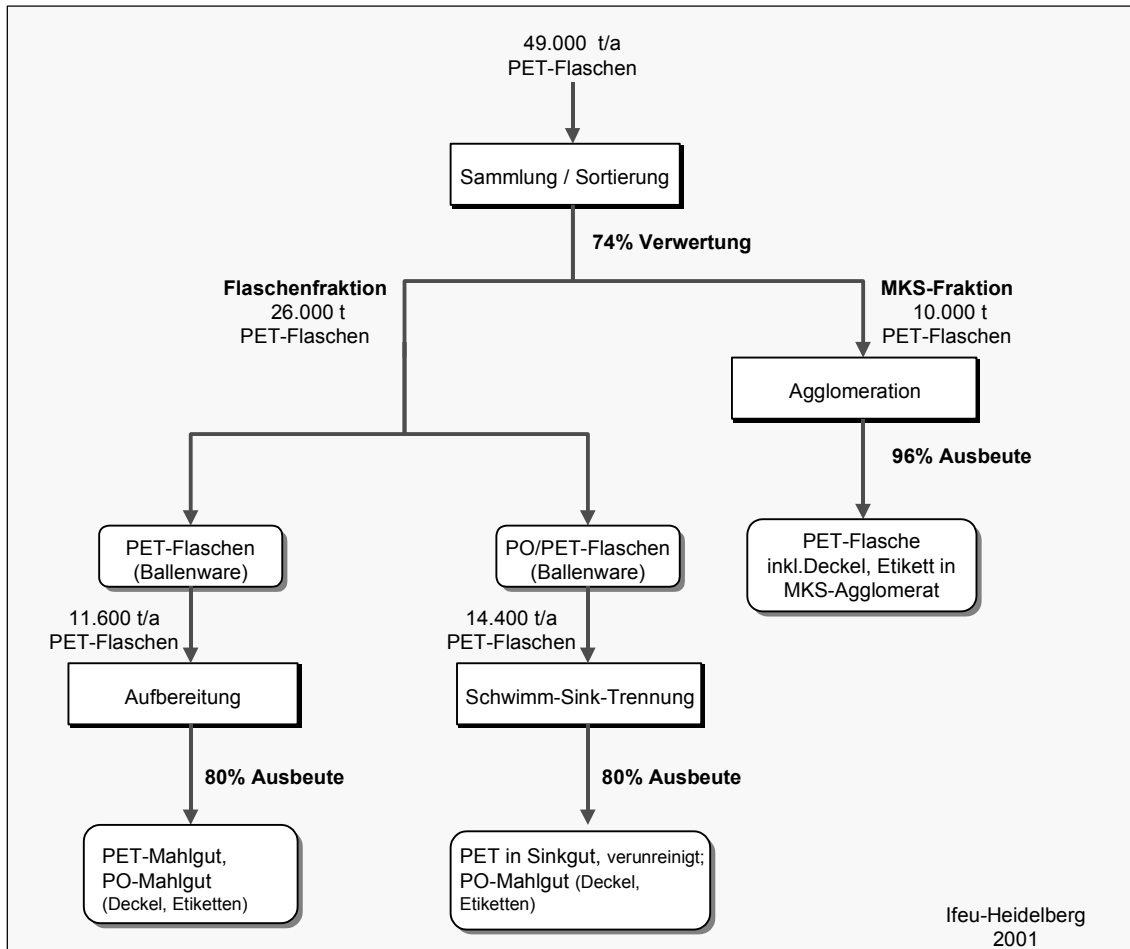


Abbildung 2-4: Stoffstrom der PET-Verwertung im Jahr 2000 (Basis [DSD 2001])

Hinsichtlich der Gutschriften wurde angenommen, dass das Mahlgut aus der PET-Flaschenaufbereitung im Fasermarkt eingesetzt werden kann. Für das qualitativ ungünstigere PET-Mahlgut aus der gemischten Flaschenfraktion wurde ebenfalls eine konservative Annahme getroffen und eine rohstoffliche Verwertung bilanziert. Hier ist in Abhängigkeit von der Qualität unter Umständen auch eine werkstoffliche Verwertung denkbar, konnte aber mit dem vorhandenen Zahlenmaterial nicht belegt werden.

Die beschriebene Stoffstrombilanz wurde mit dem DSD diskutiert und erscheint den Auftraggebern als plausibel. Die Daten zu den genannten Stichproben sind beim DSD hinterlegt und grundsätzlich auch dem kritischen Gutachterkreis zugänglich.

2.1.2.7 Erfassungs- und Verwertungswege bei bepfandeten Einwegflaschen (Szenario II-6)

Da derzeit keine gesetzlich verordnete Bepfandung von PET- Einwegflaschen stattfindet, sind auch noch keine Daten hinsichtlich der Systemparameter eines Pfandsystems verfügbar. Ersatzweise wurde das Pfandsystem in Anlehnung an das PETCYCLE-Stoffkreislaufsystem modelliert (siehe Abbildung 2-1)

Die Erfassungsquote für bepfandete PET-Flaschen wurde dabei wie für die Rücklaufflaschen im Mehrwegkasten (Szenario II-3, II-4) mit 95% angenommen. Im Unterschied zu den Rücklaufflaschen werden die bepfandeten Einwegflaschen allerdings nicht in Kästen zum Abfüller/Handel zurückgeführt. Statt dessen wurde für die Modellierung angenommen, dass die leeren kompaktierten Flaschen direkt zur Aufbereitungsanlage verbracht werden. Die weitere Verwertung erfolgt dann analog zu den Stoffkreislaufflaschen über eine nassmechanische PET-Flaschenaufbereitung. Die aufbereiteten PET-Flakes werden entweder direkt extern in der Textilindustrie oder über einen zweiten Aufbereitungsschritt im Closed-Loop verwertet.

Zur Herstellung der bepfandeten Einwegflaschen werden analog zu den Angaben für 1,5 l PET-Einwegflaschen (Szenario II-5) 5% Sekundär-PET eingesetzt. Für diese 5% wird in der Modellierung ein Closed-Loop-Recycling berücksichtigt.

2.1.2.8 Aufteilung des Restmüllstromes auf Abfallbehandlungsanlagen

Im Bereich der Abfallbeseitigung sind bis 2001 keine nennenswerten Veränderungen in den Restmüllströmen erfolgt. Es bleibt bei der in Phase 1 Aufteilung [Prognos 1997]:

- MVA: 36%
- Deponie: 64%

Die Entsorgungsanteile für MBA und Kompostierung sind in die Quote der Deponie eingerechnet.

2.1.2.9 Gutschriften für extern verwertete Sekundärrohstoffe

Die Lebenswegbilanz der Getränkeverpackungen (Cut Off Szenario) endet entweder mit der Bereitstellung von Abfällen zur Verwertung oder mit der Abfallbeseitigung (siehe Abb. 1-1). Gutschriften für ein Recycling von Abfällen zur Verwertung außerhalb des Systems werden gesondert bilanziert (Sachbilanz 2 und 3: Gut- und Lastschriften) und mit den Ergebnissen der Sachbilanz des untersuchten Verpackungssystems (System bzw. Cut Off) verrechnet.

Tabelle 2- 19 zeigt die Gutschriften für aufbereitete Sekundärrohstoffe. Beim 50/50-Gutschriftverfahren (siehe Kap 2) werden in allen Fällen 50% dessen gutgeschrieben, was eine Produktion aus Primärrohstoffen als Belastung verursacht hätte.

Tabelle 2- 19: Gutschriften für aufbereitete Sekundärrohstoffe

Abfall zur Verwertung	Gutschrift: Primärmaterial	Datenbasis Primärmaterial
Weißglas	Gemengerohstoffe	[FVB 1998] [BUWAL 1998]
Aluminiumschrott	Primäraluminium (Barren)	[EAA 1996]
Stahlschrott	Weißblech aus Elektrostahl (hypothet.)	[BUWAL 1998]
Weißblechdose: Deckel	Erdgas über Reaktionsenthalpie ^{*)}	Informationszentrum Weißblech [UBA 1995]
Getränkekarton		
-Faseranteil	Sulfatzellstoff	[UBA 1998]
- PE/Al-Anteil	keine Gutschrift	
Altpapier	Sulfatzellstoff	[UBA 1998]
PET-Flakes	Primärgranulat (PET amorph)	[BUWAL 1998]
PE-Abfälle	Primärgranulat	[BUWAL 1998]
PP-Abfälle	Primärgranulat	[BUWAL 1998]
Mischkunststoff-Agglomerat	Heizöl S im Hochofen	[GEMIS 1997]
PS-Abfälle	Heizöl S im Hochofen	[GEMIS 1997]
Holzpaletten	Stammholz Deutschland	[UBA 1995]
Sonstiger Systemoutput		
Energie, elektrisch aus MVA	Strom BRD	[GEMIS 1997] [ETH 1996] ifeu-Modell
Energie, therm. aus MVA	Erdgas Heizwerk	[GEMIS 1997], [ETH 1996]

^{*)} Bei der Badtemperatur von 1973 K werden unter Berücksichtigung der Wärmekapazität von Aluminium pro kg Aluminium 25 MJ Reaktionswärme freigesetzt. Entsprechend wird der Einsatz von Energieträgern eingespart.

2.1.2.10 Parameter der Distribution

Die Distributionsdaten der Phase 1 werden übernommen. Sie gelten für die jeweilige Vergleichsgruppe für den innerdeutschen Marktdurchschnitt in 1996 (vgl. Endbericht zu Phase 1, Tab. 2-10, 2-12 [UBA 2000]).

Die folgende Tabelle zeigt für die neu aufgenommenen Verpackungssysteme die jeweilige Zuladung an Verpackung und Füllgut sowie die erforderliche Anzahl von Touren zur Auslieferung von 100.000 l Füllgut mit den verschiedenen Lkws.

Tabelle 2- 20: Parameter für die Distribution der gefüllten Verpackungen

Verpackungssysteme	Beladung pro Palette		Zuladung (Füllgut+ Verpackung) pro LKW [t]					
	Füllgut (l)	Gewicht Palette (Füllgut+Verp.) (kg)	Sattelzug 40t	Sattelzug 28 t	Lkw+Hänger 40 t	LKW 24 t	LKW 14 t	LKW 7,5 t
Max. Zuladung LKW (t)			25	18	25	15	8	3,4
Mineralwässer u.a. Wässer								
II-1 Leichtglas 1,0l MW	480	822,7	25,0	18,0	25,0	14,0	8,0	3,4
II-2 Leichtglas 1,0l EW	540	735,3	25,0	17,6	25,0	12,5	8,0	3,4
II-3 PET-Rücklauf 1,0 l (32g SK)	480	567,3	19,3	13,6	20,4	9,6	7,9	3,4
II-4 PET-Rücklauf 1,5 l (35g SK)	576	679,5	23,1	16,3	24,5	11,6	8,0	3,4
II-5/6 PET-EW 1,5l (35g DSD oder Pfand)	684	727,5	24,7	17,5	25,0	12,4	8,0	3,4
II-6PET-EW 1,5l (Karbonisiertes Wasser)	684	726,1	24,7	17,4	25,0	12,3	8,0	3,4
II-7 PET-EW 1,5l Stilles Wasser (28g DS)	684	724,3	24,6	17,4	25,0	12,3	8,0	3,4
PET-EW 1,5l Stilles Wasser, 26g)	684	723,4	24,6	17,4	25,0	12,3	8,0	3,4
II-8 PET-MW 0,5l	576	757,2	25,0	18,0	25,0	12,9	8,0	3,4
II-9 PET-EW 0,5l DSD	648	707,6	24,1	17,0	25,0	12,0	8,0	3,4
Erfrischungsgetränke mit CO₂ *)								
II-10 Glas MW 0,5 l	416	782	25,0	18,0	25,0	13,3	8,0	3,4
II-11 Aluminiumdose EW 0,5 l	786	870,1	25,0	18,0	25,0	14,8	8,0	3,4
II-12 Weissblechdose EW 0,5 l	786	841,4	25,0	18,0	25,0	14,3	8,0	3,4

Verpackungssysteme	Beladung pro Palette		Anzahl Touren zur Verteilung von 100'000 l Getränke **)					
	Füllgut (l)	Gewicht Palette (Füllgut+Verp.) (kg)	Sattelzug 40t	Sattelzug 28 t	Lkw+Hänger 40 t	LKW 20 t	LKW 14 t	LKW 7,5 t
Mineralwässer u.a. Wässer								
II-1 Leichtglas 1,0l MW	480	822,7	6,9	9,5	20,7	12,3	21,4	50,4
II-2 Leichtglas 1,0l EW	540	735,3	5,4	7,7	5,4	10,9	17,0	40,0
II-3 PET-Rücklauf 1,0 l (32g SK)	480	567,3	6,1	8,7	5,8	12,3	14,9	34,8
II-4 PET-Rücklauf 1,5 l (35g SK)	576	679,5	5,1	7,2	4,8	10,2	14,7	34,7
II-5/6 PET-EW 1,5l (35g DSD oder Pfand)	684	727,5	4,3	6,1	4,3	8,6	13,3	31,3
II-7 PET-EW 1,5l Stilles Wasser (28g DS)	684	724,3	4,3	6,1	4,2	8,6	13,2	31,1
II-8 PET-MW 0,5l	576	757,2	5,3	7,3	5,3	10,2	16,4	38,7
II-9 PET-EW 0,5l DSD	648	707,6	4,5	6,4	4,4	9,1	13,7	32,1
Erfrischungsgetränke mit CO₂ *)								
II-10 Glas MW 0,5 l	416	782	7,5	10,4	7,5	14,1	23,5	55,3
II-11 Aluminiumdose EW 0,5 l	786	841,4	4,3	5,9	4,3	7,5	13,4	31,5
II-12 Weissblechdose EW 0,5 l	786	870,1	4,4	6,1	4,4	7,5	13,8	32,5

*) Berechnung des Füllgutes mit 1,04 kg/l

**) bei 100% Auslastung bezogen auf Palettenstellplätze oder zulässiges Gesamtgewicht

2.1.3 Sachbilanzdaten für PET-Flaschen

2.1.3.1 Preform- und Flaschenherstellung

Die bereits ursprünglich für Phase 1 erhobenen Daten zur Herstellung von Preforms und Einwegflaschen wurden jetzt vom Industrieverband Kunststoffverpackungen für den Bezugszeitraum 2000/2001 aktualisiert. Die in Tabelle 2- 21 dargestellten Daten sind Resultat eines Datenabstimmungsprozesses der im Industrieverband Kunststoffverpackungen versammelten in Deutschland tätigen Hersteller.

Tabelle 2- 21: Energiebedarf zur Herstellung von Preforms und Flaschen

Szenario-Nr.	II-9	II-3	II-4/5/6	II-7
Verpackung	PET-EW DSD	PET-EW (Rücklauf~/SK)	PET-EW (Rücklauf~/DSD)	PET-EW DSD
Flaschengewicht	21 g	32 g	35 g	28 g
Füllvolumen	0,5 l	1,0 l	1,5 l	1,5 l
	MJ/1000 Flaschen (elektrische Endenergie)			
Preform	68	96	102	80
Flasche	60	80	96	80

Die Daten wurden nachrichtlich vom IK übermittelt. Dazu fanden auch direkte Kontakte der Auftragnehmer mit einzelnen Anlagenbetreibern statt. Originalunterlagen, auf deren Basis die Werte in Tabelle 2- 21 abgeleitet wurden, standen nicht zur Verfügung.

Im Rahmen der gegebenen Validierungsmöglichkeiten werden die Energiebedarfswerte von den Auftragnehmern als plausibel eingeschätzt. Sie dürften den Stand der Technik repräsentieren. Die Validierung erfolgte zum Einen durch Vergleich mit bei den Auftragnehmern aus anderen Projektzusammenhängen vorliegenden Datenmaterial und zum Anderen über öffentlich verfügbare Daten von Maschinenherstellern.

Zu beachten ist, dass die genannten Verbrauchswerte nur in Verbindung mit den genannten Flaschengewichten Gültigkeit haben. Bei höheren Flaschengewichten wären auch höhere Verbrauchswerte anzusetzen.

2.1.3.2 Abfüllung

Für 1,5 l PET-Flaschen (Szenario II-4 bis II-7) wurden die Abfülldaten bereits in Phase 1 von Dr. Luxenhofer erhoben (siehe Endbericht zu Phase 1, Materialsammlung Nr. 5).

Für die 1,0 l Rücklaufflasche (Szenario II-3) und die 0,5 l PET-Mehrweg- und Einwegflasche (Szenarien II-8, II-9) wurden in der PETCYCLE-Studie [PETCYCLE 1999] Daten veröffentlicht und hier unmittelbar übernommen. Sie sind zusammen mit den von Dr. Luxenhofer bereits für Phase 1 erhobenen Abfülldaten nachfolgend aufgelistet:

Tabelle 2- 22: Abfülldaten für PET-Flaschen

Szenario		II-8	II-9	II-3	II-4	II-5
System		0,5 l MW-PET	0,5 l EW-PET	1,0 l PET SK	1,5 l PET SK	1,5 l EW-PET
Transportverpackung			Kasten	Kasten	Kasten	Tray
Energieverbrauch						
Energie, elektrisch	kWh / 1000 Flaschen	11,4	6,0	7,4	7,6	6,7
Druckluft	Nm³ / 1000 Fl.	4,8	3,2	6,8	5,7	5,7
Energie, thermisch	MJ / 1000 Flaschen	86,5	0	17,9	30,9	0
Wasserverbrauch						
Wasser	l / 1000 Fl.	357	248	275	412	330
Abwasser						
BSB-5	g / 1000 Fl.	132	92	102	153	123
CSB	g / 1000 Fl.	243	168	187	281	225
N _{Gesamt}	g / 1000 Fl.	4,7	3,2	3,6	5,3	4,3
P _{Gesamt}	g / 1000 Fl.	2,5	1,7	1,9	2,9	2,3
Quelle Verbrauchsdaten		[PETCYCLE 1999]			packforce® 1997	
Quelle Abwasserdaten		[ATV 1998]			[ATV 1998]	

2.1.3.3 PET-Verwertung über DSD

In dieser Studie wurden die in Abbildung 2-4 gezeigten Verwertungsströme und die damit verbundenen Verwertungsverfahren berücksichtigt. Sie basieren auf einer vorwiegend händischen Sortiertechnik, mit der Leichtverpackungsabfälle im Jahr 2000 noch überwiegend sortiert wurden. Hierbei werden Artikelfraktionen (Folien, Flaschen) und Mischkunststoffe erzeugt.

2.1.3.4 Nass-mechanische Aufbereitung von PET-Flaschen

Mittels der nass-mechanischen Aufbereitung können sowohl PET-Rücklaufflaschen (Szenario II-3/4), bepfandete PET-Flaschen (Szenario II-6), aussortierte Mehrwegflaschen (Szenario II-8) als auch die PET (klar)-Fraktion aus dem DSD oder anderen öffentlichen Sammlungen (Ausland) zu Flakes verarbeitet werden.

Bei der nass-mechanischen Aufbereitung wird das Material zerkleinert und gewaschen sowie Deckel, Etiketten und andere Fremdstoffe per Windsichter und Dichtentrennung abgetrennt.

Die sauberen PET-Flakes werden im Fasermarkt eingesetzt oder einem zweiten Aufbereitungsschritt zugeführt, der einen Recyclingkreislauf „Flasche zu Flasche“ ermöglicht.

Der Prozess wurde entsprechend der Angaben in BUWAL 250: Recycling von PET-Getränkflaschen (siehe dort Kap. 11.10.3) bilanziert. Hintergrundinformationen zu diesem Prozess liegen aus einem anderen Ökobilanzprojekt vor [GDB 1999].

2.1.3.5 Aufbereitung „Flasche zu Flasche“ (Supercycle-Verfahren)

Die PET-Flakes werden granuliert und während der Nach-Polymerisation in der Schmelze nochmals gereinigt und auf die gewünschte Spezifikation gebracht.

Die Daten wurden im Rahmen der PETCYCLE-Ökobilanz [PETCYCLE 1999] auf der Basis von Betreiberangaben erarbeitet. Eine Dokumentation der Energieverbräuche und eine Prozessbeschreibung findet sich in [PETCYCLE 1999, Kap. 4.7.2 und 4.7.3, sowie Tab. 20].

2.1.3.6 Nass-mechanische Aufbereitung der PO-Flaschenfraktion aus dem DSD

Die nass-mechanische Aufbereitung von Polyolefinflaschen erfolgt im Wesentlichen analog der Nassaufbereitung von PET-Flaschen. Als Output fallen PO-Mahlgut und Sinkgut an. Im Sinkgut befinden sich PET-Anteile zusammen mit anderen spezifisch schweren Kunststoffen wie PS und PVC. Diese Kunststoffmischfraktion wird derzeit agglomeriert und dann rohstofflich verwertet.

Der Energieverbrauch des Schwimm-Sink-Verfahrens wurde auf 300 kWh/t PET-Input angesetzt. Die Daten wurden von den Auftragnehmern abgeschätzt. Als Basis dienen Angaben der DKR [UBA 2001] sowie Angaben eines Anlagenbetreibers, die im Zusammenhang mit einem Anlagenbesuch erhalten wurden. Originalunterlagen des Anlagenbetreibers, auf deren Basis der Energieverbrauchswert abgeleitet wurde, standen nicht zur Verfügung.

Bei dem Verfahren fällt verfahrensbedingt Abwasser an. Entsprechende Emissionsangaben waren nicht verfügbar und fehlen daher auch in der Sachbilanz.

2.1.3.7 Agglomerieren von Kunststoffmischfraktionen

Das Material wird zunächst zerkleinert, per Windsichtung gereinigt und dann in einem Thermo- reaktor angeschmolzen und pelletiert. Der Energieverbrauch wurde auf 300 kWh/t Input an- gesetzt. Die Daten gehen auf Angaben der DKR zurück [UBA 2001] und decken sich mit den Auf- tragnehmern vorliegenden Angaben eines Anlagenbetreibers. Originalunterlagen, auf deren Ba- sis der Energieverbrauchswert abgeleitet wurde, standen nicht zur Verfügung.

Bei dem Verfahren fällt kein direktes Abwasser an, da mit der Werstofffraktion eingetragenes Wasser im Agglomerator verdampft und – je nach Konfiguration der Anlage - entweder in die Atmosphäre abgegeben oder über Abluftbehandlung wieder aufgefangen wird. Daten zu Abluft- bzw. Abwasseremissionen waren nicht verfügbar.

2.1.4 Sachbilanzdaten Glas

2.1.4.1 Herstellung der Mehrweg-Leichtglasflasche, inkl. Herstellung der Polyurethan-Dispersion als Beschichtungsmaterial (Szenario II-1)

Der Herstellungsprozess der Glasflasche erfolgt in einer herkömmlichen Behälterglashütte. Die Herstellung von Behälterglas, weiß wurde bereits in Phase 1 dargestellt.

Die Beschichtung der Leichtglasflasche mit Polyurethan erfolgt zweistufig, entweder in der Be- hälterglashütte oder in einem gesonderten Beschichtungsbetrieb. Im ersten Schritt wird das Be- schichtungspolymer aus den Ausgangsprodukten Polyetherpolyol und Diisocyanat unter Zugabe von 2% Melamin durch Mischen hergestellt [APME 1997]. Um unkontrollierte Reaktionen zu vermeiden, wird unter Stickstoff inertisiert. Das so erhaltene Prepolymer wird zum Auftrag auf die Flaschen zur Glashütte oder dem Beschichtungsbetrieb gebracht. Die Transportentfernung beträgt 71 km im Speditionsbetrieb [PETCYCLE 1999].

Der Beschichtungsvorgang umfasst folgende Teilschritte:

- Herstellen der PU-Dispersion (Prepolymer)
- Auftragen der Dispersion mittels Beschichtungswalzen
- Erhitzen der Behälter zum Aushärten
- Verpacken der fertigen Flaschen.

Die Auftragsmenge des Beschichtungspolymers erreicht 10 Gramm. Die beschichtete Flasche erreicht ein durchschnittliches Gewicht von 490 Gramm.

Die Angaben zur PU-Beschichtung wurden für die Ökobilanz der PETCYCLE-Gruppe vom ifeu-Institut im Jahre 1999 erhoben und im Critical-Review-Verfahren zu dieser Ökobilanz überprüft [PETCYCLE 1999]. Die Angaben geben die Situation eines bundesdeutschen Beschichters aus dem Jahre 1998 wieder und beruhen auf den Angaben der Fachvereinigung Behälterglasindustrie e.V. und der Polymerlieferanten. [FVB 1998], [FVB 1999]

2.1.4.2 Herstellung der Einweg-Leichtglasflasche, inkl. Herstellung PE/EP als Beschichtungsmaterialien (Szenario II-2)

Die 1,0 Liter Einweg-Leichtglasflasche wird zur Abfüllung von Mineralwasser und Süßgetränken eingesetzt. Im Gegensatz zur Mehrwegflasche erfolgt bei der Einwegflasche eine trockene Beschichtung mit Epoxy-Polyester.

Der Herstellung der Glasflasche (weiß) erfolgt in einer herkömmlichen Behälterglashütte, wie sie im Abschlussbericht zu Phase 1 beschrieben wurde, siehe [UBA 2000] Kap. 2.5.1.2.

Die Beschichtung erfolgt in der Glashütte, so dass keine Transporte notwendig sind. Die Anlage ist auf einen Durchsatz von 24.000 Flaschen pro Stunde ausgelegt und erreicht einen Wirkungsgrad von 98%. Das Polymer wird in-line im Pulverbeschichtungsverfahren aufgetragen. Die Aushärtung erfolgt ebenfalls in-line in einem gasbefeuchten Wärmeofen. Der Gesamt-Endenergieeinsatz (elektrischer Strom und Erdgas) beträgt 108,6 kJ pro Flasche für die Flaschenbeschichtung im Wärmeofen. Die Auftragsmenge des Beschichtungspolymers erreicht 3 Gramm. Die beschichtete Flasche erreicht ein durchschnittliches Gewicht von 298 Gramm. Da kein Datensatz zur Bilanzierung des Epoxypolyester vorlag, wurde als Beschichtungspulver hilfsweise PET-amorph in die Berechnungen eingesetzt.

Die Angaben zur Polyester-Beschichtung geben die Situation eines bundesdeutschen Beschichters aus dem Jahre 2000 wieder und beruhen auf den Angaben der Fachvereinigung Behälterglasindustrie e.V. [FVB 2001]. Laut vorhandener Unterlagen ist der Beschichtungsprozess nicht mit Emissionen verbunden.

Die Daten wurden nachrichtlich von der Fachvereinigung Behälterglas übermittelt. Originalunterlagen und Angaben zu evtl. Annahmen, auf deren Basis die angegebenen Werte abgeleitet wurden, standen den Auftragnehmern nicht zur Verfügung.

2.1.4.3 Glasschmelze mit Anteilen von beschichtetem Glas

Die PE/EP-Beschichtung der Leichtglasflasche oxidiert zu Kohlendioxid und Wasser, bei der Beschichtung der Mehrwegflasche entsteht zusätzlich NO_x.

Der Anteil von Mehrweg-Leichtglas in der Glasschmelze wird aufgrund der hohen Umlaufzahl immer gering bleiben. Insofern ist eine merkliche Erhöhung der NO_x-Emissionen nicht zu erwarten. Bei einer weitreichenden Umstellung von Einwegglas zu beschichtetem Leichtglas würden die Kohlendioxidemissionen ansteigen. Eine solche Änderung in der Zusammensetzung der Fremdscherben ist jedoch derzeit nicht zu erwarten, so dass die Bilanzierung mit der bisherigen Fremdscherbenzusammensetzung erfolgte.

Bei geringen Anteilen von Leichtglas ergeben sich keine messbaren Effekte in der Glasschmelze, da Altscherben sowieso Anteile an organischen Verunreinigungen enthalten. Bei hohen Anteilen an organischen Verunreinigungen kommt es zur Schaumbildung und aufgrund des Redoxzustandes zu Farbstichen. Solche Probleme lassen sich der Erfahrung nach verfahrenstechnisch lösen. [IZG 07/2001]

Der Massenanteil der Beschichtung beträgt für Einweg-Leichtglas ca. 1% und für Mehrweg-Leichtglas ca. 2%. Eine Veränderung im Glasschmelz-Prozess tritt daher in näherer Zukunft nicht ein.

2.1.4.4 Abfüllung

Neue Abfülldaten konnten im Rahmen der Arbeiten zu Phase 2 nicht erhoben werden. Soweit die in Phase 2 bilanzierten Verpackungssysteme innerhalb einer Packstoffgruppe einer bereits in Phase 1 bilanzierten Gebindegröße entsprechen, wurden die Abfülldaten der Phase 1 direkt übernommen. Dies gilt für die Abfülldaten der 1,0 l EW-Glasflasche für Wasser aus Phase 1, die als Grundlage für die 1,0 l EW-Leichtglasflasche (Szenario II-2) in Phase 2 dienen.

Für die Mehrweg-Leichtglasflasche (Szenario II-1) und die 0,5 l Mehrweg-Glasflasche (Szenario II-10) liegen Daten aus der PETCYCLE-Studie [PETCYCLE 1999] vor.

Tabelle 2- 23: Abfülldaten für Glasflaschen

Szenario-Nr.		II-10	II-1	II-2
System		0,5 l MW-Glas	1,0 l MW-Leichtglas	1,0 l EW-Leichtglas
Transportverpackung		Kasten	Kasten	Tray
Energieverbrauch				
Energie, elektrisch	kWh/1000 Flaschen	7,2	10,6	4,7
Druckluft	Nm³/1000 Flaschen	2,5	3,0	2,5
Energie, thermisch	MJ/1000 Flaschen	131,9	167,3	0
Wasserverbrauch				
Wasser	l / 1000 Flaschen	460	710	149
Abwasser				
BSB-5	g / 1000 Flaschen	171	264	55
CSB	g / 1000 Flaschen	314	484	101
N _{Gesamt}	g / 1000 Flaschen	6,0	9,26	1,9
P _{Gesamt}	g / 1000 Flaschen	3,18	4,90	1,04
Quelle		[PETCYCLE 1999]	[PETCYCLE 1999]	packforce 1997 für 1,0l EW-Glas
Quelle Abwasserdaten		[ATV 1998]	[ATV 1998]	[ATV 1998]

Die höheren Verbrauchswerte der 1,0 l PET-Einwegflasche im bepfandeten Mehrwegkasten (Szenario II-3) im Vergleich zur 1,0 l Leichtglas-Einwegflasche sind im wesentlichen auf die Aufwendungen im Zusammenhang mit Handhabung und Wäsche der Kästen zurückzuführen. Der bepfandete Mehrwegkasten gelangt mit den leeren PET-Einwegflaschen zurück zum Abfüller, muss ausgepackt, gewaschen, getrocknet und wieder zur Abfüllung bereitgestellt werden. Nach dem Befüllen und Etikettieren der neuen Flaschen wird das Verpackungssystem zu 40 Kästen gruppiert und palettiert. Die Leichtglas-Einwegflasche dagegen wird befüllt, etikettiert und in einen Wellpappe-Karton gestellt, zu 45 Kartons pro Palette gruppiert und palettiert. Das Kastenhandling entfällt.

2.1.4.5 Sortierung von beschichtetem Altglas

Bei geringen Anteilen von beschichtetem Glas sind keine Anpassungen bei den bestehenden Glassortieranlagen erforderlich. Bei hohen Anteilen von beschichtetem Glas müsste die Brechertechnologie, die entweder für weiche oder für harte Materialien optimal arbeitet, angepasst werden. Hierfür und für die Abscheidung der Folien (Beschichtung) bestehen bereits Erfahrungen aus der Sortierung von Autofenstern.

Für die Sortierung von Altglas werden daher die Daten der Phase 1 eingesetzt.

2.1.5 Sachbilanzdaten Weißblech und Aluminium

2.1.5.1 Dosenherstellung

Bereits in Phase 1 wurden Daten zur Herstellung von Aluminium- und Weißblechdosen erhoben. Diese wurden hinsichtlich des Bezugsjahres 2000/2001 für die Gebindegröße 0,5 l aktualisiert. Die verwendeten Daten basieren auf den vertraulichen Angaben eines in Deutschland tätigen Herstellers. Die zur Verfügung gestellten Daten sind jeweils bezogen auf 1000 Dosen und aufgeschlüsselt nach Formung und Lackierung der Dosen. Messprotokolle und Angaben zu evtl. Annahmen, auf deren Basis die angegebenen Werte abgeleitet wurden, standen den Auftragnehmern nicht zur Verfügung.

Aufgrund der unterschiedlichen Gebindegrößen in Phase 1 und Phase 2 (soweit es die neuen Verpackungssysteme betrifft) ist ein direkter Vergleich der Datensätze nicht möglich. Die den Auftragnehmern vorliegenden Informationen aus der Dosenindustrie zeigen, dass im Vergleich zu den Daten aus Phase 1 der Energiebedarf bei der Herstellung von Aludosen etwa um 15% und bei Weißblechdosen etwa um 35% gesunken ist.

Die vorliegenden Daten deuten darauf hin, dass mit der Gewichtsreduktion eine Zunahme des relativen Anteils an Dosenlack einhergeht. Der Anteil von Farbe und Lack beträgt beim Aluminium-Dosenbody jetzt 5,3% beim Weißblech-Dosenbody 1,9%. Um der zunehmenden Bedeutung dieses Rohmaterials gerecht zu werden, wurde in den neuen Berechnungen zur Dosenherstellung eine Lackvorkette einbezogen¹⁷.

2.1.5.2 Abfüllung

Bei den 0,5 l-Dosen wurde angenommen, dass die Verbrauchsdaten pro Dose für das größere Gebinde um etwa 15% über den Werten der 0,33 l-Dose aus Phase 1 liegen. Wenn man beispielsweise die Zunahme der Verbrauchswerte über verschiedene Gebindegrößen anderer Verpackungssysteme betrachtet, sieht man, dass die Zunahme von kleinen zu größeren Gebinden nicht analog zur Volumenzunahme erfolgt. Dies dürfte daran liegen, dass ein relativ hoher Sockelbetrag unabhängig von der Gebindegröße vorliegt. Die Erhöhungsquote von 15% wurde vom Gesamtverband der Aluminiumindustrie auf Nachfrage bei einem Abfüller als plausibel eingeschätzt.

¹⁷ Prozessdaten zur Lackvorkette lagen den Auftragnehmern in Phase 1 noch nicht vor, konnten aber in der Zwischenzeit erhoben werden.
Ein Vergleich der 0,5 l Dose aus Phase 2 mit den Berechnungen zur 0,33 l Dose aus Phase 1 ist damit nicht mehr direkt möglich. Allerdings wurden im Rahmen der Optimierungen zur 0,33 l Weißblechdose (Szenario 14 – 16 für Aluminium, Szenario 17 und 18 für Weißblech) auch das Basisszenario aus Phase 1 inkl. Lackvorkette berechnet (Siehe Kap. 2.3, 3.2.4 Wirkungsabschätzung).

2.1.6 Datenvalidierung

2.1.6.1 Vollständigkeit

Massenbilanz

Die Massenbilanzen der in Phase 2 neu hinzugekommenen Moduldaten wurden vor der Verwendung geprüft.

Nicht berücksichtigte Aspekte [UBA 2000]

Im System wurden analog zu Phase 1 folgende Bereiche nicht berücksichtigt:

- Umweltaspekte im Bereich der Endverbraucher der Getränke (Transportfahrten zwischen Handel und Verbraucher sowie Abfallerfassung durch den Verbraucher)
- Umweltaspekte bei der Herstellung und Entsorgung der Investitionsgüter entlang der Lebenswege (z.B. Verpackungsmaschinen) und
- Umweltbelastungen aus Unfällen.

Innerhalb der Systemgrenzen und unter Berücksichtigung der Abschneidekriterien wurden alle Prozesse mit Daten beschrieben. In den Sachbilanzlisten der einzelnen Verpackungssysteme sind die Materialien, deren vor- oder nachgeschalteten Prozesse nicht im Bilanzraum lagen, in den Rubrik "B. Nicht-Elementarflüsse" verzeichnet (auf Datenträger dokumentiert). So werden etwa auf der Outputseite eine Reihe von nicht näher spezifizierten bzw. spezifizierbaren Abfällen aufgelistet, deren Behandlung nicht weiter betrachtet wurde. Eine Ausnahme sind die in der Gutschrift berücksichtigten Output-Flüsse an elektrischer und thermischer Energie, die allerdings auch nicht zu den Elementarflüsse gehören.

Aus dem Bereich der Komponenten zur Verpackung bzw. Abpackung der Füllgüter wurden die Vorprozesse der Umreifungsbänder und -folien nicht berücksichtigt, da diese Materialkomponenten unter der 1%-Grenze lagen.

Insgesamt stellen die nicht berücksichtigten Stoffe bezogen auf die funktionelle Einheit keine relevanten Massenströme dar.

Für folgende Inputstoffe, v.a. Hilfs- und Betriebsstoffe, wurde die Herstellung nicht bilanziert:

- Die Lebenswege der Umreifungsbänder und -folien wurden weil unter der 1 % Grenze liegend nicht weiter berücksichtigt.
- Siehe Sachbilanz Input "sonstige Stoffe"

Infolge des Anstiegs des relativen Anteils von Farbe und Lack bei der Aluminiumdose wurde die Bilanz unter Einbezug der Lackvorkette bilanziert.

Folgende Outputstoffe, v.a. Abfälle und Sekundärrohstoffe wurden nicht bis zur Entsorgung bilanziert und es erfolgte keine Gutschrift:

- Nicht-Elementarflüsse, Abfälle
- Abfälle zur Verwertung, mit Ausnahme von Bestandteilen der Verpackungssysteme und
- sonstige Sekundärrohstoffe.

Diejenigen Abfälle, die aufgrund ihrer Bezeichnung ausreichend beschrieben sind, wurden in der Bilanzierung berücksichtigt. Dies betrifft hausmüllähnliche Gewerbeabfälle sowie Aschen und Schlacken. Alle anderen Abfälle sind in der jeweiligen Sachbilanz als „Nicht-Elementarflüsse, Abfälle“ aufgeführt. Meistens handelt es sich um geringe Mengen. Es gibt aber auch sehr große Stoffströme wie den Abraum in der Aluminiumvorkette, deren Entsorgung mangels Informationen nicht in die Bilanzierung einfließen konnte.

Behandlung fehlender Daten

Fehlende Daten können auf verschiedenen Ebenen auftreten. So können Datenlücken bezüglich ganzer Prozessdatensätze, Emissionswerten einzelner Schadstoffe oder Systemparametern wie z.B. Erfassungsquoten auftreten. Grundsätzlich wurde versucht, die ursprünglich erkannten Datenlücken mit plausiblen Annahmen zu füllen. Sofern erkennbare Datenlücken offen blieben, wurde dies im Text vermerkt. Diesbezügliche Informationen finden sich in den Kapiteln 2.1.3 bis 2.1.5 (Datenbeschreibung), 2.1.2 (Annahmen und Systemparameter) und Kap. 2.1.6.2. (Z.B. Kap. 2.1.3.4 Nass-mechanische Aufbereitung der Flaschenfraktion: Bei dem Verfahren fällt verfahrensbedingt Abwasser an. Entsprechende Emissionsangaben waren nicht verfügbar und fehlen daher auch in der Sachbilanz.)

Sofern als einzige Datengrundlage nur hochaggregierte Daten (d.h. mehrere Prozesse zusammenfassende Datensätze) zur Verfügung standen, kann keine Aussage zur Vollständigkeit der Datensätze erfolgen. Dies betrifft in diesem Abschnitt (neue Daten für neu aufgenommene Verpackungssysteme) nur die APME-Daten zur Herstellung der Präpolymere des Polyurethan.

2.1.6.2 Transparenz, Nachvollziehbarkeit und Repräsentativität der Daten für die Zielstellung

Laut Zielstellung sollten Ökobilanzen für Verpackungssysteme erstellt werden, die kürzlich am Markt eingeführt wurden oder bereits länger auf dem Markt sind, aber in die Untersuchungen der Phase 1 aufgrund ihres geringen Marktanteils nicht einbezogen werden konnten. Dabei wurden die neu aufgenommenen Verpackungssysteme, soweit Daten vorlagen, auf den fortschrittlichen Stand 2000/2001 angepasst.

Transparenz und Nachvollziehbarkeit

Alle Datensätze (Phase 1 und Phase 2) mit der Quellenangabe „APME“ (betrifft Kunststoffherstellung und –verarbeitung) sind öffentlich ausschließlich in hoch aggregierter Form, d.h. unter Zusammenfassung einer Reihe von Prozessschritten und Standorten, verfügbar und damit intransparent. Die Nachvollziehbarkeit ist entsprechend stark eingeschränkt. In etwas abgeschwächter Form gilt dies auch für alle Datensätze mit der Quellenangabe „EAA“ (betrifft Aluminiumherstellung, -verarbeitung und –recycling). Allerdings handelt es sich um Datensätze, die von Herrn Boustead, einem anerkannten Ökobilanzexperten, begutachtet wurden und deren Verwendung in Ökobilanzen weit verbreitet ist.

In den beiden folgenden Tabellen sind alle Datensätze, die mehrere Prozessschritte umfassen, durch ein Sternchen (*) gekennzeichnet. Diese Datensätze sind zwar transparenter als die im vorigen Absatz genannten aggregierten Datensätze (APME, EAA), wenn auch nicht vollständig nachvollziehbar. Dazu wäre eine im Projekt nicht vorgesehene lückenlose Dokumentation von Messwerten an Maschinen und Annahmen der Anlagenbetreiber nötig gewesen.

Repräsentativität

Die beiden folgenden Tabellen zeigen die Datengrundlagen und Informationen zur Datenprüfung im Überblick.

Tabelle 2- 24: Datenbasis und Repräsentativität neuer Daten für neu aufgenommene Verpackungssysteme in Phase 2 im Überblick

Sz.-Nr.	Modul	Herkunft der Daten und Annahmen	Bezugs-jahr	Repräsentativität
2-1	Grundstoffherstellung Isocyanat und Polyol *	APME	1995	Gewichtete Mittelwerte europäischer Hersteller
2-1	PU-Herstellung, Beschichtung der MW-Leichtglasflasche *	FV Behälterglasindustrie e.V	1998/99	Angaben eines deutschen Herstellers
2-1, 2-10	Abfüllung 1,0 l MW-Leichtglas; 0,5 l MW-Glas	Ökobilanz-PETCYCLE auf der Basis UBA Phase 1	~1998	berechnete Werte für moderne Anlagentechnik
2-2	Herstellung der Beschichtungsmasse EP/PE und deren Grundstoffe	Kein Datensatz für Herstellung von Epoxypolyester verfügbar. Ann: Beschichtungsmasse aus PET, amorph: APME	1989 - 1991	Gewichtete Mittelwerte europäischer Hersteller
2-2	Beschichtung der EW-Leichtglasflaschen *	FV Behälterglasindustrie e.V.	2001	Werte eines deutschen Herstellers
2-2	Abfüllung 1,0 l EW-Leichtglas	auf der Basis UBA-Phase 1 für 1,0 l EW-Glas	~1996	berechnete Werte für mod. Anlagentechnik
2-3, 2-4 2-5 2-6 2-7	Preform- und Flaschenherstellung	Herstellerangaben (diese Studie)	2001	Repräsentative Branchenwerte der deutschen Hersteller
2-8 2-9	Nass-mechanische Aufbereitung von PET-Fl.	[BUWAL 1998]	1996	1 repräsentatives Unternehmen
2-10	Rückgewinnung von PET aus DSD-Flaschenfraktion	Ifeu-Schätzung, auf Basis d. Angaben eines Recyclers	1999/2000	1 Unternehmen
	Agglomerieren von Mischkunststoff	[UBA 2001] (LVP-Studie) und Angaben eines Recyclers	Ende 90er Jahre	Expertenschätzung laut DKR repräsentativ für derzeit operierende Anlagen
	Supercycle-Verfahren	Messdaten	1998	1 Unternehmen
2-3 2-8 2-9	Abfüllung PET-Fl.: 1,0 l Rücklaufflasche; 0,5 l EW-/MW-PET	Ökobilanz-PETCYCLE auf der Basis UBA-Phase 1	1998	berechnete Werte für moderne Anlagentechnik
2-4 bis 2-7	Abfüllung: 1,5 l PET-Flaschen	Erhebung durch packforce® für Phase 1	1996	Berechnete Werte für mod. Anlagentechnik
2-11, 2-12	Aluminium- u. Weißblech-Dosenherst. (Bleche tiefziehen und lackieren) *	Herstellerangaben (diese Studie)	2001	Repräsentative Branchenwerte auf der Basis von 2 Standorten
2-11, 2-12	0,5 l Dosen-Abfüllung	abgeschätzt auf Basis UBA Phase 1 für 0,33 l Dose	1997	moderne Anlagentechnik

* Datensätze, die nur teilweise nachvollziehbar sind. Das Sternchen weist darauf hin, dass Datensätze vorliegen, die mehrere Parameter umfassen und auf die Masse eines Zwischenprodukts bzw. eines Abfallinputs normiert sind. Die Daten beziehen sich zumeist auf einen Standort. Soweit bekannt war, welche Prozessschritte im Einzelnen enthalten sind, wurde in den entsprechenden Sachbilanzkapiteln darauf hingewiesen.

Tabelle 2- 25: Datenherkunft wichtiger Systemparameter und Annahmen in Phase 2 für neu aufgenommene Verpackungssysteme (Teilziel 1)

Sz.-Nr.	System	Systemparameter/Annahme	Datenbasis
II-3 II-4	PET-Rücklaufflaschen	Rezyklatanteil von 50%	Statistiken von PETCYCLE
II-5 II-6	1,5 l PET-Einwegflasche im Tray für Kohlensäurehaltige Wässer	Rezyklatanteil von 5%	Gewichteter Marktmittel 2001 lt. Umfrage des IK
II-3, II-4, II-6	Rücklaufflaschen und bepfandeten Einwegflaschen	Rücklaufquote: 95%	Statistiken von PETCYCLE
II-1	1,0 l Leichtglas-Mehrwegflasche	50 Umläufe	Technische Auslegung, Analogie zu 0,7 l Perlenflasche
II-8	0,5 l PET-Mehrwegflasche	15 Umläufe	Erfahrungen 1 Abfüllers und Analogie zu anderen PET-Mehrwegflaschen
II-10	0,5 l Glas-Mehrwegflasche (Automatenflasche)	21 Umläufe	Analogie zu Coca Cola Automatenflasche aus Phase 1
II-2	Einweg-Glasflasche	Verwertungsquote: 84%	GVM-Schätzung für [AGVU 2001]
II-5, II-7, II-9	Einweg-PET-Flasche via DSD	Verwertungsquote: 74%	GVM-Schätzung für [AGVU 2001]
II-11	Weißblechdose	Verwertungsquote: 90 %	GVM-Schätzung für [AGVU 2001]
II-12	Aluminiumdose	Verwertungsquote: 86 %	GVM-Schätzung für [AGVU 2001]
II-5, II-7, II-9	Modellierung der PET-Verwertung über DSD, Stand 2000	32% der erfassten Fl. werden werkstoffl. verwertet, 68% rohstoffl.	[DSD 2001]
alle	Aufteilung des Restmüllstromes	MVA: 36%, Deponie: 64%	[Prognos 1997], da bis 2000 keine nennenswerten Änderungen erfolgten

Zusammenstellung von für Phase 2 relevanten Daten aus Phase 1

Tabelle 2- 26: Datenherkunft und Repräsentativität spezieller Prozessdaten aus Phase 1 für neu aufgenommene Verpackungssysteme im Überblick

	Herkunft der Daten und Annahmen	Bezugs-jahr	Repräsentativität
Leichtglas: 1,0 l MW mit PU-Beschichtung (Szenario II-1) und 1,0 l EW mit PE/EP-Beschichtung (Szenario II-2); 0,5 l MW-Glas (Szenario II-10)			
Glaserstellung	FV Behälterglasindustrie e.V.	1996	Mittelwert aus 67% der deutschen Behälterglasproduktion
Papier-Etiketten	[UBA 1998]	1995-97	gewichtete Mittelwerte der dt. und nordischen Papierindustrie
PS-Sleeve	[BUWAL 1998]	1995	keine weiteren Angaben
PET-Flaschen (Szenarien II-3 bis II-9)			
PET-Herstellung	[APME 1995]	1989-1991	gewichteter Mittelwert der europäischen Kunststoffindustrie (3 Unternehmen)
PE/PP-Schraubverschluss	[BUWAL 1998]	1993	1 Unternehmen (CH)
Papier-Etiketten	[UBA 1998]	1995-97	gewichtete Mittelwerte der deutschen und nordischen Papierindustrie
PE-Etikett	Herstellerangaben (diese Studie)	1998	2 deutsche Hersteller
DSD-Sortierung	Fortschreibung der Daten aus [UBA 1995] auf der Basis von Literatur und Erfahrungswerten des ifeu	1993-1997	repräsentative Daten für deutsche Entsorgungsanlagen zur Mitte der 90er Jahre
0,5 l Aluminiumdose (Szenario II-11)			
Aluminiumherstellung	Europäischer Aluminiumverband, Gesamtverband der deutschen Aluminiumindustrie	1994	Mittelwert der europäischen Aluminiumproduktion
Aluminiumhalbzeug	Europäischer Aluminiumverband, Gesamtverband der deutschen Aluminiumindustrie	1994	Mittelwert der europäischen Aluminiumindustrie
0,5 l Weißblechdose (Szenario II-12)			
Weißblechherstellung	[BUWAL 1998] nach Angaben des Informationszentrum Weißblech	1994	Mittelwert der deutschen Weißblechproduktion

Tabelle 2- 27 a: Datenherkunft und Repräsentativität übergreifender Prozessdaten aus Phase 1 im Überblick (I)

	Datenherkunft	Bezugs- jahr	Repräsentativität
sonstige Packstoff- und Verpackungsherstellung Forts.			
Kunststoffe	[APME, 1993-99]	1989-97	gewichtete Mittelwerte der europäischen Kunststoffindustrie
Karton	[BUWAL 1998]	1993	gewichtete Mittelwerte von 14 europäischen Betrieben
Wellpappe	[BUWAL 1998]	1993	Mittelwerte von schweiz. Herst.
Palettenholz	[UBA-1998]	1993-97	repräsentative Datensätze. Basis: Literatur und Fachgespräche
Aluminium-Schraubverschluss	Verband Metallverpackungen; Ergänzungen eines Herstellers 1998	1992/98	Ergänzungen von Literaturdaten durch 1 deutsches Werk
HDPE-Kasten	Herstellerangaben (diese Studie)	1997	Mittelwert aus Datenangaben von 3 großen dt. Herstellern
LDPE-Folie (einfach, Stretch~, Schrumpf~)	[BUWAL 1998]	1993	1 Unternehmen (CH)
PE-Schnur, PE-Band	[BUWAL 1998]	1993	1 Unternehmen (CH)
Holzpalette	[UBA-1995]	1993	durchschnittliche Angaben der deutschen Forstwirtschaft
Distribution			
Distribution: 1. Handelsstufe (vom Abfüller) 2. Handelsstufe, (von Zentralläger, Handel oder GFGH)	Datenerhebung bei Abfüllern und Handel durch Prognos und pack force	1996/1997	Gewichteter Mittelwert aus Datenerhebung mit Marktabdeckung: 50 - 85% auf 1ster Handelsstufe 11 - 60% auf 2ter Handelsstufe telefonische, schriftliche und/oder persönliche Befragungen
Entsorgung			
Abfall- und Wertstoff-Sammelfahrzeuge	[UBA-1995]	1993	repräsentative Daten für dt. Sammelfahrzeuge zur Mitte der 90er Jahre
Papiersortierung (trocken)	[BUWAL 1998] und fernmündliche Informationen des BVSE	90er Jahre	1 Betrieb (CH)
DSD-Sortierung, Deponie, MVA	Fortschreibung der Daten aus [UBA 1995] auf der Basis von Literatur und Erfahrungswerten des ifeu	1993-1997	repräsentative Daten für deutsche Entsorgungsanlagen zur Mitte der 90er Jahre
Kläranlage	Fortschreibung der Daten aus [UBA 1995] auf der Basis von Literatur und Erfahrungswerten des ifeu	1995	repräsentative Daten für die Situation deutscher Kläranlagen zur Mitte der 90er Jahre

Tabelle 2-27 b: Datenherkunft und Repräsentativität übergreifender Prozessdaten aus Phase 1 im Überblick (II)

	Herkunft der Daten und Annahmen	Bezugs-jahr	Repräsentativität
Aufbereitung von Verpackungsbestandteilen			
Glasflaschen (Scherben-aufbereitung)	Süddeutsche Altglas Recy- cling (SAR), Bad Wurzach	1995	1 deutsche Aufbereitungsanlage; repräsentativ für den in Dtschl. realisierten technischen Stand
Aluminiumdose, -deckel	Mitteilung des GDA	1996	1 Anlage aus dem EAA-Datenpool; lt. GDA repräsentativ für den in Dtschl. realisierten Stand der Auf- bereitg. lackierter Alu-Schrotte
Weißblech aus Sortierung	[BUWAL 1998] nach Daten des Informationszentrums Weißblech (IZW)	1994	Generischer Datensatz des IZW. Keine Aussage zur Repräsen- tativität vorhanden
PET-Flaschen: Aufberei- tung zu Flakes	Datenerhebung bei Aufbereitern	1998	gewichteter Mittelwert von 4 euro- päischen Unternehmen
PE, PP aus Deckeln, Etiketten (stoffliche Verw.)	Datenerhebung	1998	1 deutsches Unternehmen
Papieretiketten und Altpapier	[UBA 1998]	1997	gewichteter Mittelwert dt. Unter- nehmen
Energiebereitstellung – Transporte			
Energie	Literatur: [Gemis, 1997] [BUWAL 1998] [ETH 1997]	1994	repräsentative Daten für die Energiebereitstellung in Europa
Transporte	Handbuch der Emissions- faktoren des Verkehrs [infras, Bern 1995] TREMOT, Daten- und Rechenmodell: Schadstoff- emissionen aus dem moto- risierten Verkehr in Deutschland 1980-2010	bis 1995	repräsentative Daten für die deutsche Transportsituation

2.1.7 Einschränkungen der Sachbilanz

Unter den folgenden Überschriften wird auf einzelne Punkte, die bei der Auswertung der Bilanz-ergebnisse zu berücksichtigen sind, hingewiesen.

2.1.7.1 Systemgrenzen

Innerhalb der Systemgrenzen werden der Infrastrukturbedarf, Umweltbelastungen durch den Verbraucher und Umweltbelastungen aus Herstellung, Transport und ggf. Entsorgung des Füllgutes sowie Materialien, die unter die Abschneidekriterien fallen, nicht betrachtet (siehe auch Kap. 2.1.6).

Aus der Wahl der Systemgrenzen resultieren im Übrigen keine Einschränkungen, da die bilanzierten Stoffe von „der Wiege bis zur Bahre“ bilanziert werden.

Keine Berücksichtigung von Infrastrukturbedarf

Zur Infrastruktur eines Systems gehören v.a. Produktions-, Energieumwandlungs- und Entsorgungsanlagen, Transportmittel und Straßen. Nach derzeitigem Kenntnisstand der Auftragnehmer liegt der Beitrag der Bereitstellung von allgemeiner Infrastruktur zu den potenziellen Umweltwirkungen eines Lebensweges in der Regel bei wenigen Prozentpunkten [ETH 1996]. Daher wird in Anbetracht des mit der Bilanzierung von Infrastruktur verbundenen Aufwandes auf die Einbeziehung verzichtet.

Bei der Einführung neuer Systeme erscheint der Infrastrukturbedarf zunächst höher zu sein, da z.B. Abfüll-, Sortier- und Aufbereitungsanlagen neu aufgebaut werden müssen. Da jedoch eine Umrechnung der damit verbundenen Umweltbelastungen auf den Anlagendurchsatz über die Lebensdauer erfolgt, muss dies hier nicht gesondert berücksichtigt werden.

Umweltbelastungen durch den Verbraucher

Beim Verbraucher entstehen Umweltbelastungen v.a. durch den Einkauf von Getränkeverpackungen mit dem Pkw. Die Rückgabe von Leergut erfolgt in der Regel zusammen mit dem Einkauf und verursacht daher keine relevanten Zusatzlasten¹⁸. Über unterschiedlich lange Anfahrtswege in Abhängigkeit von der Art der Getränkeverpackungen liegen keine Informationen vor. Es wird daher von identischen Umweltbelastungen für alle Getränkeverpackungen ausgegangen.

¹⁸ Das Gewicht von Getränkeverpackungen ist im Vergleich zum Leergewicht des Pkws gering.

Das Verhalten des Verbraucher im Hinblick auf gewählte Entsorgungswege ist in die Bilanzierung einbezogen.

Umweltbelastungen aus Herstellung, Distribution und ggf. Entsorgung des Füllgutes

Die Aufgabe der Verpackung ist es, Füllgut bereitzustellen. Aufgrund dieser unmittelbaren Verbindung zwischen Füllgut und Verpackung kommt man schnell zum Wunsch, das Füllgut in die Bilanzierung einzubeziehen. Bei vergleichenden Untersuchungen müssen jedoch nur die Prozesse bilanziert werden, bei denen Unterschiede in Abhängigkeit von der Verpackung auftreten. Die Bilanzierung der Herstellung des Füllgutes kann daher entfallen. Unterschiede bei der Behandlung des Füllgutes kann es bei der Abfüllung geben. Relevanten Einfluss könnte die Mitbilanzierung des Füllgutes bei vergleichenden Untersuchungen von Verpackungen bei der Distribution haben,

- da bei der Distribution eine Allokationsregel eingesetzt wird, um die Umweltbelastungen des Transportes auf Füllgut und Verpackung aufzuteilen und
- wenn unterschiedliche Transportentfernungen für die verschiedenen Verpackungen zugrunde gelegt werden. In dieser Studie wurden jedoch alle Verpackungen je Vergleichsgruppe für die gleiche Transportentfernung bilanziert.

Weitere vermutlich geringe Unterschiede bei der Behandlung des Füllgutes kann es bei der Abfüllung und bei der Entsorgung von Füllgutresten (Waschanlage des Abfüllers, Aufbereitungsanlage, MVA, Deponie) geben.

Die Auswirkungen der Einbeziehung des Füllgutes während der Distribution wird im Nachfolgenden geprüft (siehe Kap. 2.4, 3, 4).

Materialien , die unter die Abschneidekriterien fallen

Diskussion siehe Kap. 2.1.6

Allokation für Recycling

Durch das Allokationsverfahren werden Systemgrenzen festgelegt. Die Sensitivität der Gutsschriftmethode wird durch das Cut-Off Verfahren geprüft.

2.1.7.2 Funktionelle Einheit und Vergleichsgruppen

In der Vergleichsgruppe Wässer werden sowohl Verpackungen für kohlenensäurehaltige als auch für stille Wässer bilanziert. Während die Glasflaschen keine Gewichtsunterschiede in Abhängig-

keit vom Kohlensäuregehalt aufweisen, kann die PET-Flasche für stilles Wasser um rund 20% leichter gebaut werden als die PET-Flasche für kohlensäurehaltiges Wasser. Ökobilanziell resultiert daraus ein Vorsprung für PET-Flaschen für stilles Wasser. Es besteht die Gefahr, dass diese Wertung beim Verbraucher in Erinnerung bleibt und auch auf ökobilanziell ungünstigere PET-Flaschen für kohlensäurehaltiges Wasser übertragen wird.

Um der Verwechslungsgefahr vorzubeugen, und weil der Verbraucher zwei unterschiedliche Produkte erhält, sollte in der Auswertung daher zwischen PET für stille und für kohlensäurehaltige Wässer unterschieden werden. In Phase 1 des Projektes hat diese Unterscheidung noch keine Rolle gespielt, da Getränkekarton bei Wässern ausschließlich für stilles Wasser eingesetzt werden kann.

2.1.7.3 Festlegung der Szenarien und Systemparameter

Modellierung der Distribution

Die Distributionsparameter der Phase 1 für Mineralwässer u.a. Wässer werden übernommen. Sie gelten für den innerdeutschen Marktdurchschnitt in 1996. Allerdings wird ein Teil der 1,5 l PET-Einweg-/Rücklaufflaschen aus dem Ausland importiert. Um diese Flaschen ökobilanziell angemessen zu bewerten, wäre ein Sensitivitätsszenario mit höherer Distributionsentfernung und einer anderen Aufteilung auf Distributionsschienen und Fahrzeuge hilfreich (Szenario 2-4, 2-5, 2-7).

PET-Verwertung über DSD Stand 2000

Die Ökobilanzergebnisse für Einweg-PET mit Verwertung über DSD Status Quo 2000 (Szenario II-5, II-7, II-9) können sehr schnell überholt sein, da im Bereich der Kunststoff- und speziell PET-Sortierung derzeit ein schneller Wandel erfolgt. Um die Ökobilanzergebnisse für EW-PET für zukunftsgerichtete Entscheidungen abzusichern, wäre ein Sensitivitätsszenario „DSD 2003“ hilfreich.

2.1.7.4 Moduldaten

Kein generelles Daten-Update auf den Stand 2000/2001

Wie bereits im Untersuchungsrahmen Kap. 1.2.9 formuliert, war nicht intendiert für die neu aufgenommenen Verpackungssysteme ein generelles Daten-update insbesondere auch in den Bereichen Grundstoffherstellung, Energiebereitstellung und Transporte vorzunehmen.

Da der Wechsel der Technologien bezogen auf die Marktmittelwerte jedoch keinem schnellen Wechsel unterliegen und die neu aufgenommenen Verpackungssysteme den Stand 2000/2001 wiedergeben, wird diese Einschränkung als vertretbar angesehen.

Keine Einsicht in Originalunterlagen

Aufgrund der beschränkten Mittel in Ökobilanzprojekten wurde in Phase 2 des Projektes von Originaldatenerhebungen abgesehen. Nach Auffassung der Auftragnehmer stellt dies die Belastbarkeit der Ergebnisse nicht generell in Frage.

Distributionsentfernungen von PET-Flaschen

Da mehrheitlich nur große Abfüller auf PET umstellen, ist die mittlere Distributionsentfernung für PET-Flaschen für Wasser voraussichtlich höher als der bundesdeutsche Durchschnitt für Wasser. Wenn die mittlere Distributionsentfernung für große Brunnenbetrieb anstelle des Mittelwertes angesetzt würde, müssten für die 1,0 l PET-Rücklaufflaschen (Szenario II-3) im Mittel 18% höhere Entfernungen berücksichtigt werden. Ebenfalls betroffen sind die 0,5 l PET-Einwegflaschen (Szenario II-9).

Daten zur Abfüllung

Im Rahmen des Projektbudgets konnten keine neuen Daten erhoben werden. Für die Abfüllung der 1,5 l-PET-Flaschen lagen noch Daten aus Phase 1 vor. Die Daten für die Abfüllung

- der 0,5 l-Dose wurden auf Basis der vorliegenden packforce® Daten für die 0,33 l-Dose abgeschätzt;
- der 1,0 l Einweg-Leichtglasflasche erfolgte mit Daten für die 1,0 l Einweg-Glasflasche (Wasser, Szenario 1-3);
- der 1,0 l und 0,5 l-PET-Einwegflaschen sowie der 1,0 l Mehrweg-Leichtglasflasche wurden der PETCYCLE-Studie entnommen.

Während die Abschätzungen auf Basis der vorliegenden Daten von packforce® [UBA 2000] konsistent zu den bisherigen Abfülldaten sind, liegen die PETCYCLE-Daten tendenziell höher.

Die Problematik der Berechnung der Abwasserbelastung wurde bereits im Endbericht zu Phase 1 erörtert [UBA 2000, S. 131]. Da nur Konzentrationsdaten vorliegen, steigt die spezifische Abwasserbelastung pro 1000 l Füllgut mit der Wasserverbrauchsmenge.

Datensatz Epoxypolyester

Da kein Datensatz zur Bilanzierung des Epoxypolyester (Einweg-Leichtglas) vorlag, wurde als Beschichtungspulver hilfsweise PET-amorph in die Berechnungen eingesetzt.

Annahmen zu Umlaufzahlen

Für die Umlaufzahl der **1,0 l Leichtglasflasche** für Wasser (50 Umläufe) und der **0,5 l Glasflasche** für Erfrischungsgetränke (21 Umläufe) liegen keine Praxiserfahrungen vor. Die Umlaufzahlen wurden in Analogie zu Systemen aus Phase 1 festgelegt.

Annahmen zu Verwertungsquoten

Die Verwertungsquoten wurden einer Studie [AGVU 2001] entnommen, für die die GVM Verwertungsquoten speziell für Getränkeverpackungen abschätzte. Die Verwertungsquote einzelner Verpackungsgruppen (z.B. Getränkedosen, Aerosoldosen, Bajonettverschlüsse) wurde iterativ durch Expertenschätzungen für die einzelnen Packmittel festgelegt. Damit zeigen die Ausgangsdaten für die neu aufgenommenen, fortschrittlichen Systeme eine deutlich geringere Belastbarkeit, als bei Verwendung der Quoten der Recyclingbilanz. Während die Verwertungsquoten für Einweg-PET-Getränkeflaschen mit 74% und Einweg-Glasflaschen mit 85% nicht umstritten sind, wird vielfach die Auffassung vertreten, dass die Verwertungsquote der Aluminium-Getränkedose unter 86% und v.a. die der Weißblech- Getränkedose unter 90% liegt. Um die Ergebnisrelevanz der Verwertungsquote zu prüfen, sollte für die Getränkedosen die Verwertungsquote der Recyclingbilanz als sichere untere Grenze bilanziert werden.

2.1.7.5 Fehlerabschätzung

Es gibt eine Vielzahl von Arbeiten zur Methode der Fehlerabschätzung in Ökobilanzen. In der Ökobilanzpraxis konnte sich jedoch noch keine der Methode etablieren. Daher wird an dieser Stelle hinsichtlich weiterer Details nur allgemein auf die Dokumentationen im International Journal of LCA verwiesen. .

2.1.7.6 Schlussfolgerung

Zur weiteren Absicherung der Ergebnisse, wäre es hilfreich, die Relevanz folgender Änderungen per Sensitivitätsanalyse zu prüfen:

- Höhere Distributionsentfernungen für PET-Flaschen,
- PET-Verwertung über DSD „Stand 2003“ und
- Verwertungsquoten für Aluminium- und Weißblechdosen mit Daten aus GVM Recyclingbilanz.

Im Übrigen erscheint den Auftragnehmern die Datengrundlage trotz geringfügiger Einschränkungen als gut geeignet für die Zielstellung, fortschrittliche Verpackungssysteme zu vergleichen.

2.1.8 Sensitivitätsanalysen

Aufgrund der begrenzten Projektmittel wird im Rahmen der Sensitivitätsanalyse nur der Einfluss der Verwertungsquote bei Getränkedosen geprüft.

2.1.8.1 Senkung der Verwertungsquote für Aluminiumdosen auf 79%

Im Sensitivitätsszenario wird die Verwertungsquote der GVM-Recyclingbilanz für 1999, angepasst auf den Zuordnungsmodus¹⁹ von 1996, zugrunde gelegt. Die Verwertungsquote sinkt dann von 86% auf 79% [GVM 2001 b].

2.1.8.2 Senkung der Verwertungsquote für Weißblechdosen auf 84%

Im Sensitivitätsszenario wird die Verwertungsquote der GVM-Recyclingbilanz für 1999, angepasst auf den Zuordnungsmodus²⁰ von 1996, zugrunde gelegt. Die Verwertungsquote sinkt dann von 90% auf 84% [GVM 2001 b].

¹⁹ 1) Die Verbrauchsmengen sind im Basismodus ausgewiesen, d.h. Bestandteile untrennbarer Packmittelkombinationen werden ihrer Materialgruppe zugeordnet (z.B. Papieretiketten auf Weißblech zu Papier).

2) Als Verbrauch wird die im Bezugsjahr in Verkehr gebrachte Menge ausgewiesen, d.h. langlebige Verpackungen werden mit dem Zukauf berücksichtigt nicht mit der im Bezugsjahr entsorgten Menge (Abweichung nur noch geringfügig)

²⁰ 1) Die Verbrauchsmengen sind im Basismodus ausgewiesen, d.h. Bestandteile untrennbarer Packmittelkombinationen werden ihrer Materialgruppe zugeordnet (z.B. Papieretiketten auf Weißblech zu Papier).

2) Als Verbrauch wird die im Bezugsjahr in Verkehr gebrachte Menge ausgewiesen, d.h. langlebige Verpackungen werden mit dem Zukauf berücksichtigt nicht mit der im Bezugsjahr entsorgten Menge (Abweichung nur noch geringfügig)

2.2 Bilanzierung optimierter Verpackungssysteme

2.2.1 Übersicht über die untersuchten Optimierungsszenarien

Die zu optimierenden Verpackungssysteme wurden in Phase 1 für Marktmittelwerte von 1996 berechnet. Eine Ausnahme stellt die PET-Flasche dar, die als neu aufgenommenes Verpackungssystem den fortschrittlichen Stand des Jahres 2001 wiedergibt, aber nach Auffassung der Kunststoffindustrie in Zukunft noch weiteres Optimierungspotenzial bietet. Die Optimierungen betreffen sowohl Prozessdaten als auch Systemparameter und Behältergewichte, wie in der folgenden Übersicht aufgeführt.

Der Realisierungshorizont benennt für die meisten Szenarien den Zeitpunkt des Beginns der technischen Umsetzung. Die Gewichtsreduktion am Dosenbody von Aluminium- und Weißblechdosen ist bis 2003 für den gesamten Markt geplant.

Tabelle 2- 28: Übersicht über die Optimierungsszenarien

Getränkereich/ Verpackung	Basis Szen.	Nr. Ph 2	Optimierung	Realisierungs- horizont
Mineralwasser u.a.				
Glas	I-18	II-13	▪ Schmelzwannen des Typs „Oxy-Fuel“	▪ seit 1997
1,5 l PET-EW (Sixpack)	II-5	II-21	▪ 32 g Flaschengewicht und 50% Rezyklat-einsatz	▪ ab 2005
Erfrischungsgetränke mit Kohlensäure				
0,33 l Aluminiumdose	I-24	II-14	▪ Gewichtsreduktion Dosenbody	▪ 2003 (seit 1998) ^{b)} ▪ seit 2000 ^{c)} ▪ offen ^{a)}
		II-15	▪ Minderung des Strombedarfes der Elektrolyse auf 13 kWh/kg Primäralu	
		II-16	▪ Dosendeckel mit Sekundäraluminium ^{a)}	
0,33 l Weißblechdose	I-23	II-17	▪ Gewichtsreduktion Dosenbody	▪ 2003 (seit 1998) ^{b)} ▪ offen ^{a)}
		II-18	▪ Dosendeckel mit Sekundäraluminium	
Erfrischungsgetränke ohne Kohlensäure				
1,0 l Verbundkarton	I-16	II-19	▪ Gewichtsreduktion auf 26g/Stück	▪ 2000 ▪ ab 2001/02
		II-20	▪ PE/Al-Rejektverwertung mit sortenreiner Al-Rückgewinnung	

- a) technisch jederzeit umsetzbar; Realisierung von sortenreiner Aluminium-Getränkedosenerfassung abhängig
b) EntwicklungsPhase läuft seit 1998. Die leichten Dosen sind (vereinzelt) im Markt vertreten.
c) Marktanteil dieses Verfahrens unbekannt

Die Basisszenarien aus Phase 1 werden zunächst mit dem neuen 50/50-Allokationsverfahren neu berechnet. Im Anschluss werden alle Optimierungsszenarien einzeln berechnet. Der Einfluss einer speziellen Optimierung lässt sich so erkennen. Die Summe des Einflusses aller

Optimierungen eines Systems kann durch Addition der Einzeleffekte (Summe der Differenzen bzw. Summe der prozentualen Abweichungen zum Referenzszenario) erfolgen.

Im Nachfolgenden wird die jeweilige Optimierung beschrieben und Anmerkungen zum Realisierungshorizont gemacht. Eine Diskussion der technischen Machbarkeit erübrigt sich mit Ausnahme der Optimierung an der PET-Flasche, da alle Optimierungen zumindest an einzelnen Standorten bereits umgesetzt wurden.

Die Optimierungsszenarien werden mit Ausnahme der jeweiligen Optimierungsmaßnahme mit den Daten der Phase 1 berechnet (vgl. Kap. 1.2.9), das PET-System mit den Daten des Szenarios 5 aus Phase 2.

2.2.2 Beschreibung der Optimierungsmaßnahme, Machbarkeit und Realisierungshorizont

2.2.2.1 Schmelzwanne Typ „Oxy-Fuel“ (Szenario II-13)

Die Daten zur Glasherstellung für das optimierte Szenario wurden von der Fachvereinigung Behälterglas e.V. übermittelt und geben die technologische Situation des Jahres 1997 wieder [FVB 06/2001].

Bei den bisher in den Rechnungen verwendeten Daten zur Glashütte wurden Mittelwerte aus den verschiedenen zur Behälterglasherstellung eingesetzten Wannentypen gebildet. Dies waren:

- Optimierte Schmelzwannen Deep-Refiner,
- Low NOx-Melter-Wannen,
- Oxy-Fuel-Wannen,
- Herkömmliche U- und Querflammenwannen.

Der jetzt in die Rechnung einfließende Datensatz bezieht sich ausschließlich auf den neueren Wannentyp Oxy-Fuel. Als Brennstoff zur Wärmebereitstellung wird hier ausschliesslich Erdgas verwendet, während die Rechnungen zu allen anderen Glasszenarien 25 % schwerölbefeuerte Glaswannen berücksichtigten. Gleichzeitig wird zur Oxidation reiner Sauerstoff verwendet.

Durch die neue Technologie verringern sich der Energieeinsatz und die spezifischen Emissionen der Glaswannen. In dem von der FVB erhaltenen Datensatz wurde ein Scherbeneinsatz von 83 % (75% Fremdscherben und 8% Eigenscherben) spezifiziert. Die Vorkette zur Herstellung des benötigten Sauerstoffs über das Verfahren der fraktionierten Luftzerlegung (Linde-Verfahren) ist laut Aussage der Fachvereinigung Behälterglas im Datensatz für die Energieversorgung der Oxy-Fuel-Wannen enthalten. Es wird Energie und Abwärme aus dem betriebseigenen Kraftwerk eingesetzt. [FVB 12/2001].

Die von der Fachvereinigung Behälterglas zur Verfügung gestellten Daten beziehen sich auf Energieverbrauch, Altglaseinsatz (wie in Tabelle 2- 29 angegeben) sowie auf die Emission der Schadstoffe CO₂, SO₂, NO_x, F-, Cl- und Staub. Die spezifischen Emissionsfaktoren können aus Vertraulichkeitsgründen nicht dokumentiert werden. Originaldaten und Annahmen, die der Berechnung und Herleitung der zur Verfügung gestellten Daten zugrunde lagen, lagen nicht vor.

Die Daten wurden ohne weitere Veränderungen und Ergänzungen, wie von der Fachvereinigung Behälterglas angegeben, bilanziert.

Die übrigen Gemengerohstoffe Sand, Soda, Kalkstein, Dolomit und Feldspat wurden mit den in der Phase 1 verwendeten Datensätzen modelliert. Die zur Flaschenherstellung notwendige Schwabbelmasse wurde ebenfalls aus der Phase 1 übernommen.

Tabelle 2- 29: Vergleich der Datensätze Glashütte Mix Deutschland und Oxy-Fuel Schmelzwanne

Technologie	Mix-Deutschland	Oxy-Fuel
<u>Befeuerung</u>	75 % Erdgas 25 % Heizöl S	100 % Erdgas
<u>Energieverbrauch</u> thermisch elektrisch	3.846 MJ/Tonne 571 MJ/Tonne	3.250 MJ/Tonne 454 MJ/Tonne
<u>Altglaseinsatz, gesamt</u>	65 %	83 %
- Fremdscherben - Eigenscherben	59 % 6 %	75 % 8 %
Quelle [FVB 06/2001]		Ifeu Institut 2001

Dieser Wannentyp wird bereits an 3 Standorten großtechnisch betrieben. Die Bilanzdaten geben den Stand 1997 wieder.

Anmerkung zur Umsetzung des Szenarios

Grundlage für die Modellierung des Optimierungsszenarios 1,0 l Einweg-Glasflasche für Mineralwasser mit Oxy-Fuel-Schmelzwanne ist das Verpackungsszenario Phase 1 I-18: 1,0 l Einweg-Glasflasche für „Erfrischungsgetränke mit CO₂“. Das Szenario Phase 1 I-03 1,0 l Einweg-Glasflasche für „Mineralwasser und andere Wasser“ konnte nicht als Vergleichsszenario herangezogen werden, da es sich hierbei um eine Grünglas-Flasche handelt. Der Datensatz für die Oxy-Fuel-Schmelzwanne bezieht sich aber ausdrücklich auf Weißglas.

Das Weißglasszenario Phase 1 I-18 wurde daher zunächst als neues Basisszenario berechnet. Hierfür wurden die Ausgangswerte wie folgt verändert.

Szenario I-18 als Basisszenario zur Oxy-Fuel Technologie:

1. Die Abfüllung wurde vom Szenario 1-03 für Mineralwasser übernommen.
2. Die Distribution wurde ebenfalls vom Szenario I-03 übernommen.
3. Es wurde das neue Allokationsverfahren für Recycling eingefügt.

Als Optimierungsmaßnahme wurde bei diesem neuen Basisszenario die Behälterglashütte mit den oben beschriebenen Werten für den Oxy-Fuel-Wannentyp berechnet.

**2.2.2.2 1,5 l PET-Flasche für kohlenensäurehaltige Wässer im Sixpack mit 32 g
Flaschengewicht und 50% Rezyklateinsatz (Szenario II-21)**

Schon heute ist technisch eine Reduktion des Flaschengewichtes von 35 g (fortschrittlicher Stand 2001) um knapp 9% auf 32 g möglich. Eine Einführung im Markt wird bis 2004 erwartet.

Für einen gleichbleibenden Kohlensäuregehalt wird das reduzierte Flaschengewicht insbesondere aus einer verbesserten Boden- und Seitenwandkonstruktion zur Erhöhung der Stabilität abgeleitet. Zusätzlich wird eine weitere Optimierung der PET-Rohstoffqualität erwartet. Nach Einschätzung der Experten sind auch darüber hinausgehende Reduzierungen der Wandstärke in weiterer Zukunft möglich.

Eine weitere Verringerung der Wandstärke ist auch durch eine Reduzierung des Kohlensäuregehaltes möglich.

Der Rezyklateinsatz soll in den nächsten Jahren für die Mehrheit der PET-Flaschen auf 50% steigen. Derzeit erfolgt der Rezyklateinsatz nur bei den Stoffkreislaufflaschen, d.h. der Rücklaufflasche im Mehrwegkasten. Mit zunehmendem Recycling der PET-Flaschen und steigenden Verwertungskapazitäten steigt die zur Verfügung stehende Menge an hochwertigem Rezyklat. Hochwertiges PET-Rezyklat kann derzeit als ein limitierender Faktor für den großflächigen Rezyklateinsatz angesehen werden. Technisch gesehen ist ein 50-prozentiger Rezyklateinsatz bereits heute möglich, siehe Szenario 2-3 und 2-4 Rücklaufflaschen.

Das Rezyklat wird in dieser Optimierungsbetrachtung im Closed-Loop verwertet. Dabei wird vorausgesetzt, dass die benötigten Rezyklatqualitäten in Zukunft durch Verwendung entsprechender Technologien in den erforderlichen Mengen bereitgestellt werden können. Derzeit ist dies noch nicht möglich.

2.2.2.3 Gewichtsreduktion bei Aluminiumdosen (Szenario II-14)

Das Gewicht des Dosenbody soll gegenüber 1996 um 28% auf rund 9 g gesenkt werden. Der Aluminiumanteil im fertigen Dosenbody beträgt ca. 97%. Damit einher geht eine Verringerung

des Energiebedarfes und des absoluten Farb-/Lackauftrages. Der relative Anteil des Lackauftrages nimmt dabei zu. Die verwendeten Daten basieren auf den vertraulichen Angaben eines in Deutschland tätigen Herstellers und sind für die Gebindegröße 0,33 l auf das Jahr projiziert. Die Plausibilität der Daten wurde anhand der bereits vorliegenden Daten für Phase 1 geprüft (siehe Kap. 2.1.5.1). Originaldaten lagen nicht vor.

Die leichte Aluminiumdose ist bereits im Markt vertreten. Die flächendeckende Markteinführung ist für 2003 geplant.

2.2.2.4 Strombedarf der Elektrolyse von Aluminium (Szenario II-15)

In Abhängigkeit von der speziellen Technologie der PFPB-Elektrolyse und der Energieeffizienz der Anlage variiert der Strombedarf von 12,9 bis 18,3 kWh_{el}/1000 kg Aluminium. Während 1996 im Durchschnitt 15 kWh/kg Primäralu benötigt wurden, arbeiten fortschrittliche Elektrolyse-Anlagen mit 12,9 kWh_{el}/1000 kg Aluminium. Die untere Grenze wird voraussichtlich bei 12,5 kWh_{el}/1000 kg Aluminium liegen. [Briem et al 2000]

Im Optimierungsszenario wird ein Verbrauch von 13 kWh/kg Primäraluminium zugrunde gelegt. Derzeit können in Europa rund 900.000 t Aluminium (bzw. auf die Produktionskapazität) mit einem Energieeinsatz von unter 13,5 kWh/kg Al hergestellt werden. Davon arbeiten 2 Hütten mit einer Produktionskapazität von rund 200.000 t unter 13 kWh/kg Al. Die technische Machbarkeit ist damit sichergestellt. Bei Neuinvestitionen in Schmelzhütten wird die Technologie mit dem geringeren Energieeinsatz zum Einsatz kommen. Schätzungen bis wann dieses Verfahren den Marktmittelwert wieder spiegeln wird, liegen nicht vor.

2.2.2.5 Dosendeckel mit Sekundäraluminium (Szenarien II-16, II-18)

Aluminiumdosen (Szenario II-16)

Der Einsatz von Sekundäraluminium in Dosenblechen, insbesondere in den Deckelblechen stellt besondere Ansprüche an den Werkstoff. Das Vorhandensein ausreichender Mengen an für diesen Einsatz geeignetem Sekundärmaterial ist in erster Linie an die Verwertung gebrauchter Aluminiumdosen geknüpft. In gewissen Grenzen können auch Aluminiumschrotte aus anderen Post-Consumer-Abfällen durch Einstellung der Legierungsbestandteile entsprechend konditioniert werden. Dies wird hier aber nicht weiter betrachtet.

Derzeit werden Deckel für Getränkedosen in Deutschland noch überwiegend aus Primäraluminium hergestellt. Der Einsatz von Sekundäraluminium ist aber nach Auskunft des GDA grundsätzlich möglich. Da andererseits durch die Aluminiumindustrie jedoch keine dezidierte Einsatzquoten für Deckel angegeben werden konnten, wurde in der Modellierung so vorgegangen, dass alles rezyklierte Aluminium, das nicht zur Herstellung des Dosenbodys (Einsatzquote Sekundäraluminium in Phase 1: 90%) benötigt wird, in die Deckelherstellung geschleust wird.

Damit modelltechnisch im Stoffstrommodell ausreichende Sekundäraluminium-Mengen für den Einsatz im Deckel zur Verfügung stehen, muss gleichzeitig die Verwertungsquote erhöht werden. Es wurde die Verwertungsquote für Aluminium-Getränkedosen des Jahres 1999 von 86% [AGVU 2001] angesetzt. Für die Sekundäraluminium-Einsatzquote im Deckel berechnen sich dann 23,5%.

Weißblechdose (Szenario II-18)

Für den Aluminiumdeckel der Weißblechdose wurde mangels anderer Daten hilfsweise die im Aluminiumszenario errechnete Sekundäraluminium-Einsatzquote von 23,5% angesetzt. Unter technischen Gesichtspunkten ist dies gerechtfertigt, da bei Weißblech- und Aluminiumdosen die gleichen Deckel zum Einsatz kommen. Ob das Sekundäraluminium in den benötigten Mengen für beide Verpackungssysteme überhaupt in ausreichenden Mengen bereitgestellt werden kann, hängt u.a. von den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ab. Diese Fragestellung wurde hier nicht untersucht.

Realisierungshorizont und Machbarkeit

Die Realisierung des Einsatzes von Sekundäraluminium im Dosendeckel ist an ein ausreichend hohes Aufkommen von sortenreinen gebrauchten Aluminium-Getränkedosen gekoppelt. In Schweden wurde dieses Recycling bereits durchgeführt. In Deutschland müsste erst ein geeignetes Erfassungssystem aufgebaut werden, was jedoch ökonomisch nicht interessant ist. Bei sortenreiner Erfassung von Aluminiumdosen gibt es voraussichtlich keine relevanten Probleme mit der Zusammensetzung der Legierungsbestandteile. Damit ist die technische Machbarkeit gegeben, die Umsetzung für Deutschland jedoch fraglich.

2.2.2.6 Gewichtsreduktion bei Weißblechdosen (Szenario II-17)

Das Gewicht des Dosenbody sinkt gegenüber dem Mittelwert 1996 um 28% auf knapp unter 20 g. Der Weißblechanteil beträgt ca. 97%. Damit einher geht eine Verringerung des Energiebedarfes und des absoluten Farb-/Lackauftrages. Der relative Anteil des Lackauftrages nimmt dabei zu. Die verwendeten Daten basieren auf den vertraulichen Angaben eines in Deutschland tätigen Herstellers. Die Daten zur Dosenherstellung wurden von einem großen deutschen Hersteller für das Bezugsjahr 2003 für die Gebindegröße 0,33 l zur Verfügung gestellt und auf Plausibilität geprüft (siehe Kap. 2.1.5.1). Originaldaten lagen nicht vor.

Die sehr leichte Getränkedose wurde zuerst 1998 großtechnisch produziert und in einem Feldversuch mit positiven Ergebnis getestet. Die großflächige Einführung im Markt ist für 2003 geplant. [Schmalbach 1998]

2.2.2.7 Gewichtsreduktion beim 1 l Getränkekarton (Szenario II-19)

Bei einem Gewicht von 26 g pro 1 l Getränkekarton beläuft sich die Reduktion im Vergleich zu den Festlegungen in Phase 1 auf rund 10%.

Die Gewichtsreduktion von 29,3 g/Karton (Phase 1) auf 26 g erfolgt linear, d.h. es wird davon ausgegangen, dass sich die Zusammensetzung der Verbundmaterialien im Karton nicht ändert²¹.

Getränkekartons mit einem Gewicht von 26 g und geringer sind schon seit der Zeit der Durchführung von Phase 1 im Umlauf.

2.2.2.8 PE/Al-Rejektverwertung (Szenario II-20)

Derzeit werden die beim DSD lizenzierten Getränkekartons nach Angaben des DSD-Garantiegebers ReCarton an zwei deutschen und einem finnischen Standort rezykliert. Im Zentrum des Recyclingprozesses stand bislang die Faserrückgewinnung. Die dabei anfallenden Rejekte aus einem Gemisch von Aluminium und Polyethylen werden derzeit überwiegend in der Zementindustrie verwertet²².

Am finnischen Standort ging Anfang 2001 zusätzlich ein Verfahren zur Vergasung der Rejekte in Betrieb²³. Dabei werden das Polyethylen und anhaftende Faserreste durch Umsetzung mit Sauerstoff zunächst in brennbare Gase überführt. Anschließend wird das Aluminium separiert und das Gas in einem Heizwerk verbrannt. Der Verbrennungsdampf wird am Standort als Prozesswärme für das Faserrecycling bzw. für die Produktion von Rollenkernen aus den rezyklierten Fasern verwendet.

Da das Verfahren zum Zeitpunkt der Datenaufnahme erst seit kurzer Zeit im Regelbetrieb läuft, sind noch keine Verwertungswege für das rezyklierte Aluminium etabliert. Für die Bilanzierung wurde davon ausgegangen, dass das aus den Verbundkartons gewonnene Aluminium analog zu Primärmaterial im Rahmen eines Schmelz- und Formgebungsprozesses marktgängige Aluminiumprodukte bzw. -zwischenprodukte erzeugt werden können.

Zur Berechnung der Luftemissionen aus dem Vergasungsverfahren wurden die angegebenen Genehmigungsgrenzwerte angesetzt. Die fossilen Kohlendioxidemissionen wurden rechnerisch ermittelt. Abwasseremissionswerte lagen für die Parameter BSB, CSB und Phosphor vor. Die verfügbaren Daten waren aufgeteilt in die Prozesse Faserrückgewinnung und Vergasung und jeweils normiert auf 1000 kg Input. Originaldokumente wie Messprotokolle oder Genehmigungsunterlagen lagen nicht vor.

²¹ Die lineare Reduktion aller Komponenten ist eine Näherung, da die Materialzusammensetzung nicht direkt mit dem Verpackungsgewicht korreliert. Die lineare Reduktion aller Komponenten stellt jedoch nach Auffassung der Auftragnehmer und der Hersteller eine gute Schätzung für den Mittelwert der Materialzusammensetzung dar.

²² Die Rejektverwertung in der Zementindustrie war in Phase 1 nicht berücksichtigt worden, da dieser Verwertungsweg zu Beginn der Studie noch nicht etabliert war.

²³ Die Anlage läuft seit Herbst 2001 im Reglebetrieb. Bis einschließlich Januar 2002 wurden knapp 37.000 t Rejekte der Vergasung zugeführt. [FKN 02/2002]

Das Vergasungsverfahren wird in diesem Optimierungsszenario als alleiniger Verwertungsweg modelliert.

2.2.3 Datenvalidierung – Repräsentativität für die Zielstellung

Die Zielstellung für dieses Teilziel lautet, ökologische Wirkungspotenziale gegenüber dem Stand 1996 (Phase 1) optimierter Verpackungen zu ermitteln. Dies ist mit den obigen Szenarien für den überschaubaren Zeitraum der nächsten Jahre erfolgt. Damit wird jedoch nicht impliziert, dass das Entwicklungspotenzial der Verpackungssysteme ausgeschöpft ist. Dies gilt sowohl für die Grundstoffherstellung, wo z.B. für PET mit dem europäischen Durchschnitt von 1991 gerechnet wurde, als auch für die Verpackungsherstellung (z.B. Dosen) und die Verwertung (z.B. PET-Flaschen).

Die bilanzierten Optimierungsmaßnahmen betreffen Gewichtsreduktionen und technologische Neuerungen, die bereits umgesetzt wurden, noch nicht flächendeckend eingeführt sind. Die Wahrscheinlichkeit, dass die beschriebenen Optimierungen, sofern die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ebenfalls gegeben sind, damit in absehbarer Zeit den Stand der Technik darstellen werden, ist hoch. Dies gilt insbesondere für die Gewichtsreduktion bei den Dosen, für die es konkrete Einführungspläne bis 2003 gibt.

Da schon Erfahrungen für den großtechnischen Einsatz vorliegen, kann die Datenvalidität als gut eingestuft werden. Eine Recherche von Originaldaten wie z.B. Messprotokolle, Genehmigungswerte usw. erfolgte gemäß der Rahmenvorgabe der Studie nicht.

Transparenz und Nachvollziehbarkeit

In drei Szenarien wurden neue Moduldatensätze verwendet. In allen Fällen handelt es sich um aggregierte Daten, deren Nachvollziehbarkeit eingeschränkt ist. Dies wird in der Tabelle 2- 30 durch ein Sternchen gekennzeichnet.

Die Daten beziehen sich zumeist auf einen Standort. Soweit bekannt war, welche Prozessschritte im Einzelnen enthalten sind, wurde in den entsprechenden Sachbilanzkapiteln darauf hingewiesen.

Die anderen Optimierungsszenarien beruhen auf neuen Systemparametern bzw. Einzeldaten. Die Belastbarkeit und Nachvollziehbarkeit dieser Parameter/Daten wurde in den jeweiligen Sachbilanzkapiteln diskutiert und wird in der Tabelle 2- 30 im Überblick dargestellt.

Repräsentativität

Die folgende Tabelle zeigt die Datenbasis und Repräsentativität der Optimierungsmaßnahmen im Überblick.

Tabelle 2- 30: Datenbasis und Repräsentativität der Optimierungsmaßnahmen im Überblick

Sz.-Nr.	Datensatz	Herkunft der Daten und Annahmen	technische Umsetzung	Repräsentativität
II-13	Schmelzwanne Typ „Oxy-Fuel“ *	FV Behälterglasind. e.V.	1997	3 Anlagen
II-21	32 g PET-Flaschengewicht für 1,5 l und 50% Rezyklateinsatz	IK	ca. 2005	Projektion
II-14	<u>Aluminiumdose 0,33 l</u> Gewichtsreduktion Dosenbody *	1 Hersteller	ca. 2003	Planungsunterlagen
II-15	Minderung des Strombedarfes der Elektrolyse auf 13 kWh/kg Primäralu.	Literatur	2000	3 Hütten in Europa
II-16	Dosendeckel mit Sekundäraluminium	szenarische Annahme der Aluminiumindustrie	offen	kein konkretes Planvorhaben
II-17	<u>Weißblechdose 0,33 l</u> Gewichtsreduktion Dosenbody *	1 Hersteller	ca. 2003	Planungsunterlagen
II-18	Dosendeckel mit Sekundäraluminium	szenarische Annahme der Aluminiumindustrie	offen	kein konkretes Planvorhaben
II-19	<u>Getränkekarton 1,0 l Saft</u> Gewichtsreduktion auf 26g/Stück	FKN	seit 1997	3% Marktanteil in 2001
II-20	PE/Al-Rejektverwertung mit sortenreiner Al-Rückgewinnung *	1 Anlagenbetreiber	2001	ca. 35% Marktanteil in 2001

* Datensätze, die nur teilweise nachvollziehbar sind. Das Sternchen weist darauf hin, dass Datensätze vorliegen, die mehrere Parameter umfassen und auf die Masse eines Zwischenprodukts bzw. eines Abfallinputs normiert sind. Die Daten beziehen sich zumeist auf einen Standort. Soweit bekannt war, welche Prozessschritte im Einzelnen enthalten sind, wurde in den entsprechenden Sachbilanzkapiteln darauf hingewiesen.

2.2.4 Einschränkungen der Sachbilanz hinsichtlich der Optimierungsmaßnahmen

Optimierung ist auf einzelne Aspekte beschränkt

Wie bereits in der Zielstellung formuliert ist, werden keine gänzlich optimierten Verpackungssysteme berechnet. Berechnet wird der Einfluss einer einzelnen Optimierungsmaßnahme auf das in Phase 1 gerechnete Verpackungssystem.

Prüfung der Optimierungsmaßnahmen auf technische Machbarkeit begrenzt

Bei den Optimierungsszenarien wurde die technische Machbarkeit geprüft. Die wirtschaftliche Machbarkeit und der Zeitrahmen bis zur vollständigen Marktdurchdringung hängt von Investitionszyklen, aber auch von politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ab, deren Prognose im Rahmen dieses Projektes nicht vorgesehen war.

Keine Einsicht in Originalunterlagen

In Phase 2 sollten vorrangig Vorschläge aus der Industrie umgesetzt werden. Soweit neue Datensätze für Prozesse erforderlich waren (Schmelzwanne Oxy-Fuel, Herstellung Dosenbody, PE/Al-Rejektverwertung) wurden komplette Datensätze übermittelt. Dies war in der Rahmenvorgabe der Studie auch so angelegt. Die Daten wurden auf offensichtliche Plausibilitäten geprüft. Im Text wird darauf hingewiesen, dass Originalunterlagen nicht vorliegen. Die Belastbarkeit der Ergebnisse ist insofern eingeschränkt. Da jedoch zukünftige Entwicklungen bilanziert werden, kann eine hohe Belastbarkeit Natur gemäß nicht erreicht werden, so dass die vorliegenden Daten zum Erreichen der Zielstellung als gut geeignet eingestuft werden.

2.3 Änderung von Rahmenbedingungen

2.3.1 Energiebereitstellung für die Herstellung von Aluminium (Szenario II-22, II-23)

In Phase 1 wurde ein Energiemodell für die Herstellung von Aluminium zugrunde gelegt, das die reale Marktversorgung in Europa widerspiegelt. Danach werden 60% des Aluminiums in Europa erzeugt und 40% importiert [EAA 1996]. Importe aus Russland sind in diesem Energiemix nicht enthalten.

In einem neuen Ökopprofil der Aluminiumindustrie werden auch russische Importe berücksichtigt. Entsprechend der Energiemixtabelle [EAA 2000, S. 12] stammt ca. 20% des nach Westeuropa importierten Aluminiums aus Russland.

Da laut Aussagen der Aluminiumindustrie die Energieträgerstruktur für "European Smelters" und "Imports Western World" mit Ausnahme der russischen Importe überprüft wurde und belegbar ist, verbleibt als Ansatzpunkt für Variationen des Energiemixes der russische Anteil.

Im Szenario II-22 „Erhöhung des Wasserkraftanteiles“ wird so bilanziert, als würden die 20% Aluminium aus russischer Produktion komplett mit Hilfe von Wasserkraft basiertem Strom hergestellt.

Im Szenario II-23 „Verminderung des Wasserkraftanteiles“ wird so bilanziert, als würden die 20% Aluminium aus russischer Produktion ohne den Einsatz von Wasserkraft hergestellt. Anstelle des russischen Wasserkraftanteiles wird im Bilanzmodell Steinkohle verwendet.

Der Stromsplit für die Szenarien wird in der folgenden Tabelle dokumentiert.

Tabelle 2- 31: Energieträgereinsatz für die Herstellung von Primäraluminium

	Wasser- kraft	Kernkraft	Steinkohle	Braun- kohle	Erdgas	Erdöl
Referenzszenario Phase 1 [EAA 1996]	50,8%	15,0%	25,6% *)	-	6,4%	2,2%
Referenzszenario mit Importen aus Russland [EAA 2000]	52,5%	14,9%	19,9%	4,7%	4,8%	3,3%
Szenario II-22: höherer Anteil Wasserkraft	55,9%	14,5%	16,9%	4,7%	4,8%	3,3%
Szenario II-23: geringerer Anteil Wasserkraft	36,9%	14,5%	35,9%	4,7%	4,8%	3,3%

*) nur als Kohle (unspez.) angegeben

2.3.2 Steigerung von Verwertungsquoten

Verwertungsquote des Getränkekartons (Szenario II-24)

1999 lag nach Berechnungen der GVM [GVM 2001] die Verwertungsquote des Getränkekartons bei 62,1%. Dagegen lag die Quote im Jahr 1996 noch bei 58,0%. Laut Mengenstromnachweis des DSD lag die Verwertungsquote im Jahr 2000 bei 65,48%. Die Quote von 64% im Optimierungsszenario erscheint daher plausibel. [DSD 01/2002].

2.3.3 Einfluss der TASI

Im Zuge der Umsetzung der TASI dürfen nurmehr inerte Materialien auf Deponien abgelagert werden. Dies bedeutet in den meisten Fällen, dass die Abfälle zuerst thermisch behandelt werden. In den hier zu modellierenden TASI-Szenarien werden zu beseitigende Abfälle zunächst in die Müllverbrennung gegeben und die inerten Reste dann abgelagert.

Zur Modellierung der Müllverbrennung und Deponierung wird auf Kap. 2.5.7 im Endbericht zu Phase 1 verwiesen [UBA 2000]

2.3.3.1 Verpackungssystem Getränkekarton (Szenario II-25)

Bei der Ablagerung des Getränkekartons kommt es zu Umweltbelastungen, da der Faseranteil im Laufe der Zeit abgebaut wird. Im Basisszenario werden 64% des zur Beseitigung anfallenden Materials direkt deponiert. Im TASI-Szenario entfallen die Umweltbelastungen der Deponierung von Papier.

2.3.3.2 Verpackungssystem PET-Einweg via DSD (Szenario II-26)

Im TASI-Szenario werden alle zu beseitigenden Abfälle verbrannt. Für PET-Flaschen bedeutet dies eine thermische Verwertung, bei der der Energiegehalt im Feedstock energetisch genutzt wird.

2.3.3.3 Verpackungssystem Weißblechdose (Szenario II-27)

Im Basisszenario wird ein Teil der Dosenschrotte, die über die kommunale Entsorgung in die Müllverbrennung gelangen, im Zuge der Schlackeaufbereitung zurückgewonnen und in der Stahlschmelze verwertet. Im Gegensatz dazu verbleiben die Stahlschrotte bei der Deponierung im Basisszenario ohne Rückgewinnung und Verwertung im Deponiegut. Zur Bilanzierung des Recyclings der Weißblechdosen im TASI-Szenario wurden Daten des IZW zum Mengenstrom der Weißblech-Recyclingwege im Jahr 2000 [TÜV 2000] zugrunde gelegt, da geschlossene Input-/Output-Analysen nicht vorliegen.

Die Daten des IZW beruhen einerseits auf den Daten zu den angenommenen Mengen von Hausmüll, Sperrmüll und Gewerbemüll sowie zu Rohschlackemengen und der daraus gewonnenen Schrottmenge, die vom TÜV bei den deutschen MVAs sowie den jeweiligen Aufbereitern erfragt wurden. Andererseits wurden anhand von Literaturdaten die Weißblechabfälle im Restmüll jeder Gebietskörperschaft abgeschätzt und über die Zuordnung der Einzugsgebiete der einzelnen MVAs der jährliche Weißblechmassenstrom in die MVA bestimmt [TÜV 2000].

Aus dem Verhältnis von MVA-Input zu MVA-Output (s.a. Broschüre „Daten und Fakten“ www.weissblech.de) ergibt sich dann eine Verwertungsquote von 65%, die im TASI-Szenario der Weißblechdose angesetzt wurde.

2.3.4 Euro-Normen für Lkw (Szenarien II-28, II-29)

Mit in Kraft treten der sogenannten EURO-Normen, der gesetzlichen Vorgaben für Emissionsgrenzwerte von Neufahrzeugen, sind in Zukunft deutliche Reduktionen der spezifischen Emissionen (z.B. in g/km) zu erwarten. Die Anforderungen an die Verminderung von Stickoxiden (NO_x) und Partikeln sind besonders hoch und werden zu deutlichen Reduktionen dieser Emissionen führen. Die Umsetzung der EURO-Normen wird voraussichtlich nur mit dem Einsatz von DeNO_x-Anlagen und Partikelfiltern zu realisieren sein [Borken 1999]. Neben den NO_x- und Partikel-Grenzwerten sind in den Euro-Normen Vorgaben für Kohlenwasserstoffe (HC, VOC) und Kohlenmonoxid (CO) enthalten, so dass diese Emissionen sich zukünftig ebenfalls spezifisch reduzieren werden. Über einen zukünftig weiter verringerten Schwefelgehalt des Dieselmotors werden auch bei Schwefeldioxid die spezifischen Emissionen vermindern.

Gleichzeitig werden aufgrund ökonomischer Anforderungen technische Entwicklungen erwartet, die zu einem verminderten Kraftstoffbedarf führen. Diese Einsparungen werden voraussichtlich nicht so hoch wie die Reduktionen bei den Emissionen ausfallen, da zum einen das Optimierungspotential schon zu einem Großteil ausgeschöpft wurde und zum anderen die o.g. Emissionsreduktions-Maßnahmen z.T. zu höheren Kraftstoffverbräuchen führen und die Einsparung teilweise wieder kompensieren.

In einer Sensitivitätsbetrachtung sollte der Einfluß einer veränderten Lkw-Transportflotte auf die Ökobilanzergebnisse untersucht werden. Die Abschätzungen der zukünftigen Lkw-Emissionen

basieren als wesentlicher Datenquelle auf dem „Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA)“ [Infras 1999]. In dem Handbuch wird die Version 1.1 von 1995, die in Form einer Software die Emissionen und den Kraftstoffverbrauch für den Straßenverkehr sehr differenziert darstellt, aktualisiert. Dabei wird nicht nur der aktuelle Stand abgebildet, sondern unter Berücksichtigung vielschichtiger Einflussfaktoren (z.B. EURO-Normen und Altersverteilung des Fahrzeugbestands) die Entwicklung von 1980 bis 2020 prognostiziert. Der Emissionsberechnung im HBEFA liegen, wie auch den vom ifeu in der Phase 1 dieser Ökobilanz verwendeten Transportmodulen, das vom ifeu-Institut entwickelte Modell „TREMOT“. ²⁴ zugrunde.

Dem Modell zufolge kommt es zu einer schwerpunktmäßigen Lkw-Bestandsverschiebung von Fahrzeugen der `80er Jahre (1996) hin zu Nutzfahrzeugen, die die Grenzwerte der EURO 3-Norm einhalten. Aus der folgenden Tabelle 2- 32 sind die durchschnittlichen Anteile der einzelnen Emissionsstufen der bisherigen und künftigen Lkw-Flotte ersichtlich.

Tabelle 2- 32: Fahrzeugbestandveränderung von 1996 bis 2005, dargestellt nach Emissionsstufen

Fahrzeugbestandsveränderung		
	1996	2005
`70er-Jahre-Lkw	5%	0%
`80er-Jahre-Lkw	55%	9%
EURO 1	27%	7%
EURO 2	13%	28%
EURO 3	0%	40%
EURO 4	0%	16%

Mithilfe des Handbuches (HBEFA) wurden für alle Lkw-Typen, die in der Getränkedistribution zum Einsatz kommen, die Emissionsfaktoren und Kraftstoffverbräuche für das Jahr 2005 ermittelt und in das Distributionsmodell verschiedener Verpackungssysteme eingefügt. Da dieser Vorgang relativ aufwändig ist, da bei jeder Distribution mindestens 60 Transportvorgänge ersetzt werden müssen, erfolgte eine Auswahl von drei Verpackungssystemen aus dem Mineralwassersektor, an denen die Sensitivität der Ergebnisse exemplarisch dargestellt wird:

- 0,7 l Glas-Mehrwegsystem (Szenario II-28)
- 1,5 l PET-Rücklaufflasche im Mehrwegkasten (Stoffkreislaufsystem) (Szenario II-29a)
- 1,5 l PET-Einwegflasche im Sixpack via DSD (Szenario II-29b)

²⁴ In dem Endbericht zu der Ökobilanz, Phase 1 findet sich auch eine ausführliche Beschreibung der Vorgehensweise bei der Transportmodellierung im Kap. 2.5.9 „Transporte“.

Das HBEFA weist Emissionsfaktoren aus, die sich auf Transporte auf ebener Strecke beziehen. Daher fallen die direkt berechneten Faktoren für die durchschnittlichen Lkw-Transporte eher etwas zu niedrig aus. In dem zugrunde liegenden Emissionsmodell „TREMOT“ können aber Steigung und Gefälle, bedingt durch die Topographie Deutschlands, berücksichtigt werden. Im Rahmen einer anderen Ökobilanzstudie wurde mit diesem Programm ermittelt, dass die Abweichungen für durchschnittliche Transportsituationen in Deutschland gegenüber 100% ebener Strecke bei ca. plus 10% für NO_x und den Kraftstoffverbrauch, bezogen auf die HBEFA-Werte, liegen. Die anderen Emissionsfaktoren bleiben hierdurch beinahe unbeeinflusst, so dass für diese Untersuchung ein Korrekturfaktor für NO_x und Kraftstoff von 1,1 verwendet wird. Da es sich bei dieser Sensitivitätsbetrachtung um eine Prognose für 2005 handelt mit Emissionsfaktoren, die zwangsläufig einer größeren Unsicherheit unterworfen sind, sollte diese Vorgehensweise hinreichend genau sein.

Für die Distribution von Mineralwasser (und dem in Phase 1 dokumentierten Distributionssplit) ergeben sich für die neuen Berechnungen des Lkw-Transports folgende durchschnittliche Veränderungen in den für die Wirkungsabschätzung relevanten Stoffen:

Tabelle 2- 33: Veränderungen im Kraftstoffverbrauch und in den Emissionen einer Lkw-Flotte 2005 gegenüber dem Durchschnitt 1996

Stoff	Veränderung gegenüber dem Durchschnitt 1996
Dieselvebrauch	- 12%
Schwefeldioxid	- 36%
Stickoxide	- 46%
NMVOC	- 49%

2.3.5 Datenvalidierung – Repräsentativität für die Zielstellung

Die Zielstellung für dieses Teilziel lautet, den Einfluss gegenüber dem Stand 1996 (Phase 1) geänderter Rahmenbedingungen zu ermitteln. Die bilanzierten Änderungen betreffen den Energiemix bei der Aluminum-Elektrolyse, Verwertungsquoten, die Umsetzung der TASI und die Einführung schärferer Abgasnormen für Lkws (Euronormen). Mit Ausnahme der Änderungen des Energiemixes bei der Aluminum-Elektrolyse werden alle Szenarien ab ca. 2005 umgesetzt werden.

Transparenz und Nachvollziehbarkeit

In allen Fällen wurden die Änderungen entweder anhand von Originalunterlagen geprüft oder von den selbst Auftragnehmern recherchiert. Transparenz und Nachvollziehbarkeit sind damit gegeben.

Repräsentativität

Die folgende Tabelle zeigt die Datenbasis und Repräsentativität der Optimierungsmaßnahmen im Überblick.

Tabelle 2- 34: Datenbasis und Repräsentativität geänderter Rahmenbedingungen im Überblick

Sz.-Nr.	Datensatz	Herkunft der Daten und Annahmen	Bezugs-jahr	Repräsentativität
II-22, II-23	Energiebereitstellung für die Herstellung von Aluminium	GDA	ohne	Projektion
II-24	Verwertungsquote Getränkekarton	FKN	2000	Deutschland
II-25 II-26 II-27	<u>Einfluss der TASi</u> Verpackungssystem Getränkekarton, Weißblechdose, PET-Einweg via DSD	TASi	ab 2005	Modellierung für Deutschland
II-28 II-29	<u>Euro-Normen für Lkw</u> Glas-Mehrweg, PET-Einweg	[Infras 1999] TREMOD-Modell	2005	Modellierung für Deutschland

2.3.6 Einschränkungen der Sachbilanz hinsichtlich geänderter Rahmenbedingungen

Die Änderung der Energiebereitstellung für die Herstellung von Aluminium kann nicht auf einen bestimmten Zeitpunkt terminiert werden. Es handelt sich eher um eine Sensitivitätsanalyse.

Die Szenarien zur Umsetzung der Euronormen für Lkw in 2005 basieren auf Annahmen zur Fahrzeugbestandsveränderung hinsichtlich der Anteile von Fahrzeugen, die die Euronormen 3 und 4 einhalten, sowie einer Modellierung von Emissionen nach [Infras 1999]. Die Ergebnisse sind entsprechend ihrer Natur als Zukunftsszenario mit Unsicherheiten behaftet, zeigen jedoch die Entwicklungsrichtung zuverlässig an.

2.4 Einbeziehung des Füllgutes bei der Distribution (Szenarien II-30, II-31, II-32)

Ziel der Einbeziehung des Füllgutes bei der Distribution ist ein allokatonsfreier Vergleich unterschiedlicher Distributionsstrukturen. Ferner kann der Einfluss des Füllguttransportes auf die Ergebnisse geprüft werden.

Beim Vergleich der Verpackungssysteme wurde mit Ausnahme dieses Teilzieles stets für alle Verpackungssysteme einer Vergleichsgruppe die gleiche Transportentfernung zugrunde gelegt. Sollen unterschiedliche Transportentfernungen für die zu vergleichenden Verpackungssysteme angesetzt werden, könnte das Ergebnis stärker als bei gleichen Entfernungen von der Allokationsregel Verpackung-Füllgut für Transporte abhängen. Deshalb ist die Bilanzraumerweiterung, nämlich der Einbezug des Füllgutes zu bevorzugen (ISO 14040).

Die Einbeziehung des Füllguts beschränkt sich auf die Distribution, da davon auszugehen ist, dass die übrigen füllgutspezifischen Prozesse für den Vergleich von Verpackungen für das gleiche Füllgut mindestens näherungsweise identisch sind.²⁵

Als Ergebnis erhält man eine Aussage über die Größe des Anteiles der Distribution an den gesamten Umweltwirkungen eines Verpackungssystems in Abhängigkeit von der Transportentfernung mit und ohne Füllgut.

Interessant ist dies für Vergleiche von Verpackungssystemen, bei denen eine unterschiedliche Distributionsstruktur vermutet wird und/oder bei denen der Distributionsaufwand pro 1000 l Füllgut unterschiedlich ist. So liegt z.B. der Anteil des Füllgutes im Lkw beim Getränkarton und PET-Einwegflaschen (Sixpack) bei ca. 95%, bei Getränkedosen bei 90% bis 95% (je nach Größe und Material), bei PET-Rücklaufflaschen im Mehrwegkasten SK bei ca. 85%, bei der PET- Mehrwegflasche bei ca. 80%, bei Glas-Einwegflaschen bei ca. 67% und bei 0,7 l Glas-Mehrwegflaschen bei ca. 50%.

Folgende Systeme werden im Segment Mineralwasser Vorratskauf betrachtet:

- Szenario II-30: für Basisszenario I-1: 0,7 l Glas-MW,
- Szenario II-31: für Basisszenario II-4: 1,5 l PET-EW mit Mehrwegkasten (35 g SK) und
- Szenario II-32: für Basisszenario II-5: 1,5 l PET-EW (Sixpack) (35g DSD).

Die Ökobilanzergebnisse der Systeme werden für verschiedene Entfernungen jeweils unter Einbezug des Füllgutes berechnet. Ausgangspunkt der Variation der Distributionsentfernungen

²⁵ Unterschiede können nur im Zusammenhang mit den Abfüllanlagen auftreten. unterschiedlich Abfülltechnik je nach Verpackung; Größe der Abfüllanlage in Abhängigkeit von der Verpackung - große Abfüllanlagen: überregionaler Vertrieb, bessere Energienutzung bei Spülen und evtl. bessere Abwasserreinigung

ist das Basisszenario der Phase 1 für die erste Handelsstufe, das in der folgenden Tabelle noch mal dargestellt ist:

**Tabelle 2- 35: Transportparameter der Distribution im Hauptszenario Mineralwasser
Vorratskauf aus Phase 1**

Distributionswege	Verteilung (%)		Transportentfernung (km)					
	Mehrweg	Einweg	Mehrweg			Einweg		
			Last	Leer	Gesamt	Last	Leer	Gesamt
a) 1. Distributionsstufe								
Direktvertrieb*	30%	15%	110	110	220	110	90	200
an GFGH*	62%	28%	170	170	340	170	140	310
an Zentralläger*	8%	57%	210	210	420	210	170	380
b) 2. Distributionsstufe								
von GFGH**	62%	28%	50	30	80	50	30	80
von Zentrallägern***	8%	57%	90	60	150	90	60	150
Transportanteile (Vol-% Getränkemenge) nach Fahrzeugen								
Distributionswege	Sattelzug 40t	Sattelzug 28-32 t	Lkw+Hän- ger 40 t	LKW bis 23 t	LKW bis 16,5 t	Liefer- wagen		
a) 1. Distributionsstufe								
Direktvertrieb*	8%	3%	58%	27%	4%	-		
an GFGH*	27%	2%	61%	9%	1%	-		
an Zentralläger*	44%	2%	50%	4%	0%	-		
b) 2. Distributionsstufe								
von GFGH**	5%	1%	30%	35%	25%	4%		
von Zentrallägern***	34%	5%	43%	17%	1%	0%		

*) inkl. Selbstabholer

**) inkl. interne Verteilung

***) inkl. Anteil von GFGH

Um die Abhängigkeit der Ergebnisse von der Distributionsentfernung zu ermitteln, werden die Entfernungen entsprechend zweier in Phase 1 beschriebener Sensitivitätsszenarien verändert:

- regionale Distribution laut Sensitivitätsszenario 1 in Phase 1 [UBA 2000, Tab 2-40],
- überregionale Distribution laut Sensitivitätsszenario 2 in Phase 1 [UBA 2000, Tab 2-41].

Die erste Variante zeigt die Distribution kleiner Mineralbrunnen unter 50 Mio. l Jahresfüllungsleistung für die 0,7 l Glas-Mehrwegflasche. Die zweite Variante zeigt die Distribution der größten Mitgliedsunternehmen der Genossenschaft Deutscher Brunnen für Mineralwasser Vorratskauf.

Geändert wird nur die Entfernung. Die Distributionsstruktur wird sowohl in Bezug auf die Distributionsschienen (Anteile GFGH, Zentralläger und Direktvertrieb) als auch auf die Verteilung auf die jeweiligen LKW-Klassen und die Auslastung der Fahrzeuge konstant gehalten.

Die durchschnittlichen mittleren Transportentfernungen der drei betrachteten Systeme zeigt die folgende Tabelle:

Tabelle 2- 36: Mittlere Distributionsentfernung der Szenarien aus Phase 1 für Mineralwasser Vorratskauf, unterschieden nach Mehrweg- und Einwegsystemen

Distributionstyp	Mittlere Distributionsentfernung, einfache Fahrt für erste und zweite Handelsstufe	
	Mehrweg/SK	Einweg (Sixpack)
Hauptszenario	193 km	249 km
Sensitivitätsszenario 1 „regionale Distribution“	114 km	167 km
Sensitivitätsszenario 2 „überregionale Distribution“	241 km	256 km

3 Ergebnisse

3.1 Erläuterung zu den Ergebnissen

3.1.1 Erläuterung zu den Ergebnissen der Sachbilanz

Die Ergebnisse der Sachbilanzen sind verzeichnet im Ordner „Tab Inventory UBA II-2“ unter ihrer Szenarionummer und der Kurzbezeichnung, z.B. II-1 INV Leichtglas MW 1,0l.xls:

Die Ergebnisse der Sachbilanzen liegen auf Datenträger vor und können beim UBA abgerufen werden. In den Sachbilanzen sind die aufsummierten Werte für den Kernlebensweg des Verpackungssystems, also das Cut-Off-Szenario, unter der Bezeichnung [System] enthalten. [GS] steht für Recyclinggutschrift und [LS] für Recyclinglastschrift (siehe Anhang).

Alle Sachbilanzen enthalten die über den Lebensweg aufsummierten Werte jeder einzelnen Bilanzgröße. Die Bilanzgrößen sind entsprechend den in Tabelle 1-5 genannten Oberkategorien gruppiert (siehe Kap. 1.2.7).

Tabelle 3-1: Datenkategorien bei der Bilanzierung der Module (Oberkategorien)

	Input		Output
A	Elementarflüsse Rohstoffe in Lagerstätten fossile Energieträger Nichtenergieträger Wasser (Kühl~, Quell~, sonst.)	A	Elementarflüsse Emissionen (Luft) Emissionen (Wasser) Kühl~, Abwasser unspez., Sicker~ Parameter und einzelne Stoffe
B	Nicht-Elementarflüsse Chemische Grundstoffe Energieträger, sekundär * Mineralien Stoffe diverse (v.a. nicht zurückverfolgte Einsatzstoffe wie Hilfs- und Betriebs~)	B	Nicht-Elementarflüsse Abfälle Abfälle zur Beseitigung Abfälle zur Verwertung Abfälle, unspezifiziert Chemische Grundstoffe Energieträger, sekundär Mineralien Stoffe, sonstige
C	Bilanzierungsgrößen** Kumulierter Energieaufwand (gesondert ausgewiesen: Kernenergie, Wasserkraft, fossil gesamt Naturraumbeanspruchung, Forst Deponievolumen	C	-
D	Abfälle zur Verwertung***	D	Abfälle zur Verwertung***

* Energieträger, sekundär als Output stellen z.B. die erzeugten Energiemengen (thermisch oder/und elektrisch) aus dem Prozess der Müllverbrennung dar.

** Bilanzierungsgrößen sind hier Informationen, die keine Massenflüsse sind (allerdings direkt mit den Massenflüssen gekoppelt sind).

*** Unter dieser Rubrik sind diejenigen Abfälle aufgeführt, die als Abfall zur Verwertung das System betreten oder verlassen und denen Gut- bzw. Lastschriften zugeordnet werden

3.1.2 Erläuterung zu den Ergebnissen der Wirkungsabschätzung

Folgende Dateien enthalten die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung:

- a) TABELLE VAL Neue Systeme 2001 UBA II-2,
- b) TABELLE VAL Optimierungen UBA II-2 (incl. Änderung der Randbedingungen),
- c) TABELLE VAL Füllgut UBA II-2.

Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung liegen auf Datenträger vor und können beim UBA abgerufen werden. Die Ergebnisse werden für das System (Cut-Off), für die Recyclinggutschriften (Ausgleich für das zur Verfügung stellen von Sekundärrohstoffen) und Recyclinglastschriften (Ausgleich für den Einsatz von Sekundärrohstoffen) gesondert ausgewiesen. Der Summenwert des Szenarios, nämlich Systemwert plus Lastschrift abzüglich Gutschrift ergibt den **Nettowert**.

Bei den neu aufgenommenen Verpackungssystemen a) wurde für jede Vergleichsgruppe ein Excel-Blatt angelegt. Bei den Optimierungsszenarien wurde für jedes optimierte bzw. unter veränderten Rahmenbedingungen gerechnete Verpackungssystem ein Excel-Blatt angelegt.

In der Dokumentation der Wirkungsabschätzungsergebnisse auf Datenträger werden die Teilergebnisse der Arbeitsschritte Klassifizierung, Charakterisierung und Normierung dargestellt (siehe auch Endbericht zu Phase 1, Kap. 3 [UBA 2000]).

Bei der Klassifizierung werden die einzelne Stoffe und Parameter der Sachbilanz den Wirkungskategorien zugeordnet (Abschnitt 1, Zeilen 9 – 595).

1.1 Ressourcenverbrauch

- fossile Energieträger
- fossile Sekundärenergieträger
- Uranerz
- Energie als KEA (kumulierter Energieaufwand)
- Wasser
- nachwachsende Rohstoffe

1.2 Treibhauseffekt

1.3 Ozonabbau

1.4 Photooxidantienbildung (Sommersmog)

1.5 Versauerung

1.6 Nährstoffeintrag (Eutrophierung)

Kürzel L für terrestrische Eutrophierung, Kürzel W für aquatische Eutrophierung

1.7 Krebsrisiko

1.8 Lärmbelästigung

1.9 Naturraumbedarf

1.10 Gesundheitliche Wirkungen

1.11 Ökotoxische Wirkung

1.12 Abfallentstehung (Deponievolumen).

Bei der Charakterisierung werden die den Wirkungskategorien zugeordneten Stoffe mit ihrem

Charakterisierungsfaktor multipliziert und zum Wirkungsindikatorergebnis (z.B. Beitrag zum Treibhauseffekt in kg CO₂-Äquivalente) aufsummiert (Abschnitt 2.1 bis 2.12: Zeilen 596 - 1179).

Bei der Normierung werden die Wirkungsindikatorergebnisse in Einwohnerdurchschnittswerte EDW umgerechnet (Abschnitt 3.1 bis 3.12: Zeilen 1180 - 1319).

Graphisch werden folgende Wirkungskategorien ausgewertet:

- Aquatische Eutrophierung, Zeile 964 ff
- Terrestrische Eutrophierung, Zeile 960 ff
- Naturraumbeanspruchung Forst, Zeile 1059 ff
- Naturraumbeanspruchung Deponie, Zeile 1055 ff
- NO_x-korrigierter Sommersmog, Zeile 878 ff
- Rohöläquivalente, Zeile 615 ff
- Treibhauseffekt, Zeile 760 ff
- Versauerung, Zeile 911 ff

Für die Auswertung (Kap. 4) werden weitere Sachbilanz- und Wirkungsindikatorergebnisse herangezogen.

3.1.3 Graphische Auswertung ausgewählter Wirkungskategorien

Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Charakterisierung) werden anhand einer Auswahl von 8 Wirkungskategorien zur Veranschaulichung graphisch dargestellt und kommentiert. Der Leser sollte beachten, dass für eine umfassende vergleichende Betrachtung weitere Größen der Wirkungsabschätzung und Sachbilanz zu berücksichtigen sind. Sie sind in den Ergebnistabellen, die als Datenträger verfügbar sind, enthalten. Auch soll an dieser Stelle der Auswertung des Umweltbundesamtes in Kap. 4 nicht vorgegriffen werden.

Die Ergebnisse werden für das System (Cut-Off), für die Recyclinggutschriften (Ausgleich für das zur Verfügung stellen von Sekundärrohstoffen) und Recyclinglastschriften (Ausgleich für den Einsatz von Sekundärrohstoffen) gesondert ausgewiesen. Der Summenwert des Szenarios, nämlich Systemwert plus Lastschrift abzüglich Gutschrift ergibt den **Nettowert**. Der Nettowert fließt in die Auswertung ein.

Die **Ergebnisse für die neu aufgenommenen Verpackungssysteme** (Kap. 3.2) werden entsprechend dem Vorgehen in Phase 1 getrennt nach Füllgütern und unterschieden nach Packungsgrößen in den Gruppen Vorratskauf/Sofortverzehr dargestellt. In der Kommentierung der Grafiken werden zuerst die Quellmodule der Umweltbelastungen genannt. Unter Voraussetzung dieses Wissens werden die Systeme einer Vergleichsgruppe für jede dargestellte Wirkungskategorie miteinander verglichen. Der Vergleich erfolgt zuerst für die Nettowerte und dann für die Cut-Off-Werte. Als letzter Punkt wird die Sensitivität des Gutschriftverfahrens gezeigt, indem der Einfluss der Recyclinggut- und -lastschriften auf die Ergebnisse dargestellt wird.

Die **Ergebnisse der verschiedenen Optimierungen eines Verpackungssystems und der Änderung von Rahmenbedingungen** (Kap. 3.3) werden gemeinsam mit dem Basissystem aus Phase 1 bzw. zu einem der neu aufgenommenen Verpackungssysteme jeweils in einer Grafik dargestellt. In der Kommentierung wird zunächst erläutert, an welchen Stellen des Systems sich die Optimierung/ Änderung einer Rahmenbedingung auswirkt. Anschließend folgt eine Quantifizierung im Vergleich zum Basissystem.

Die Ergebnisse der **Bilanzierungen mit und ohne Einbezug des Füllgutes** (Kap. 3.4) bestehen aus jeweils zwei Entfernungspunkten. Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung werden in Abhängigkeit von der Entfernung dargestellt. Kommentiert werden die Unterschiede zwischen den beiden Geraden.

Die Reihenfolge der Wirkungskategorien entspricht deren Anordnung in der Bewertungsmethode des Umweltbundesamtes [UBA 1999]. Sie gibt keinen Hinweis auf die Gewichtung der einzelnen Kategorien.

Einschränkungen, die sich aus der Methodik der Wirkungsabschätzung ergeben

Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung beschreiben ein Umweltwirkungspotenzial. Aus ihnen lässt sich keine direkte Aussagen über real auftretende Umweltbelastungen ziehen.

Für eine umfassende vergleichende Betrachtung der Verpackungssysteme sind weitere Größen der Wirkungsabschätzung und Sachbilanz zu berücksichtigen. Diese erfolgt im Rahmen der Auswertung.

Ferner ist zu berücksichtigen, dass Stickoxidemissionen dreifach, nämlich sowohl beim Sommersmog, bei der terrestrischen Eutrophierung und der Versauerung, in die Ergebnisse Eingang finden. Besonders wirkt sich diese Dreifachberücksichtigung bei Verpackungssystemen aus, in denen ein Großteil der potenziellen Umweltwirkungen aus der Distribution stammt.

3.2 Neu aufgenommene Verpackungssysteme

3.2.1 Neu aufgenommene Verpackungssysteme, Vergleichsgruppe Mineralwasser und andere Wässer, - Vorratskauf/Gebindegrößen ≥ 1 l (Abbildung 3-1)

Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung sollten unter Berücksichtigung folgender Punkte betrachtet werden:

- Die Ergebnisse gelten nur für inländische Abfüller und ihre Distributionsstrukturen.
- Die Ergebnisse gelten für folgende PET-Flaschengewichte:

II-3	1,0 l PET-Einwegflasche im Mehrwegkasten (SK) (Wasser mit CO ₂):	32 g
II-4	1,5 l PET- Einwegflasche im Mehrwegkasten (SK) (Wasser mit CO ₂):	35 g
II-5/6	1,5 l PET-Einwegflasche im Sixpack (via DSD bzw. bepfandet) (Wasser mit CO ₂):	35 g
II-7	1,5 l PET-Einwegflasche im Sixpack (stilles Wasser):	28 g

Das System II-7 ist nur für stilles Wasser geeignet. Die Flasche ist 20% leichter als die entsprechende Flasche für kohlensäurehaltiges Wasser.

- Die Verwertung über DSD erfolgt für den Stand 2000, d.h. mit hohem Anteil rohstofflicher Verwertung.

Aquatische Eutrophierung

Wesentliche Quellmodule der aquatischen Eutrophierung sind der Abfüll-/Waschprozess für Mehrwegflaschen/-kästen (Mehrweg- und Rücklaufsysteme: Einwegflasche im Mehrwegkasten) und die Herstellung von Karton-Trays bei Einwegsyste men. Weitere Belastungen resultieren aus der Herstellung von PET.

Aufgrund der Umweltbelastungen bei der PET-Herstellung sind die Nettowerte der PET-Einwegsysteme (Sixpack II-5/6/7) und des 1,0 l PET-Einwegsystems im Mehrwegkasten (II-3) um 20% bis 45% höher als die des 1,0 l Leichtglas-Mehrwegsystems (II-1). Beim 1,5 l PET-system (II-4) ist die Umweltbelastung bei der PET-Herstellung bezogen auf 1000 l Füllgut geringer als beim 1,0 l Rücklaufsystem (II-3). Die Nettowerte des Leichtglas-Mehrwegsystems und die des 1,5 l PET-Rücklaufsystems liegen daher in gleicher Größenordnung.

Beim Cut-Off-Szenario liegen alle Systeme, mit Ausnahme des Leichtglas-Einwegsystems, mit minus 2% bis plus 25% im Vergleich zum 1,0 l Leichtglas-Mehrwegsystem noch dichter beieinander als für die Nettowerte.

Die Werte des Leichtglas-Einwegsystems sind bei Cut-Off rund doppelt so hoch und unter Be-

rücksichtigung der Recyclinggut-/lastschriften dreimal so hoch wie die des 1,0 l Leichtglas-Mehrwegsystems. Die Ursache dieses Effektes liegt in den Wellpappe-Trays, die sowohl bei der Herstellung aus Fasermaterial (Umweltbelastung im Cut-Off Szenario enthalten) als auch bei der Herstellung von Zellstoff aus Holz (als Recyclinglastschrift im Netto-Szenario für den Einsatz von Altpapier) zur aquatischen Eutrophierung beitragen.

Die Ergebnisse mit Recyclinggut-/lastschriften bringen beim Glas-Mehrwegsystem (II-1) und bei den Systemen mit hochwertiger PET-Verwertung (Fasermarkt oder Flasche zu Flasche, II-3/4/6) Verbesserungen der Ergebnisse um bis zu 15%. Beim Leichtglas-Einwegsystem verschlechtert sich das Ergebnis um knapp 30%, da der Altpapierbedarf zur Herstellung der Wellpappe-Trays höher ist als die Menge, die im Closed-Loop im System wiederverwertet wird. Aufgrund von Materialverlusten bei der Erfassung und Aufbereitung muss dem System Altpapier zugeführt werden, wofür eine Lastschrift erteilt wird (siehe auch die Altpapierstoffströme der Glas-Einwegsysteme in Phase 1, z.B. in Endbericht Phase 1 [UBA 2000] Abbildung 2-3).

Terrestrische Eutrophierung

Die terrestrische Eutrophierung wird v.a. über den Sachbilanzparameter NO_x-Emissionen berechnet. Wesentliche Quellmodule der terrestrischen Eutrophierung sind die Distribution, und bei den Einwegsystemen energieintensive Prozesse wie die Glasherstellung und die PET (bottle grade)-Herstellung.

Für die terrestrische Eutrophierung zeigt das Leichtglas-Mehrwegsystem die niedrigsten Nettowerte. Es folgt das 1,5 l PET-Rücklaufsystem (II-4) mit plus 25%. Für die Ergebnisse mit Recyclinggut-/lastschrift hat das bepfandete 1,5 l PET-System aufgrund der hochwertigen Verwertung (d.h. des mengenmäßig größeren im Open-Loop werkstofflich verwerteten PET-Stoffstroms) einen geringeren Nettowert als das 1,0 l PET-Rücklaufsystem und das 1,5 l PET-Einwegsystem (Sixpack) für stilles Wasser (II-7). Die höchsten Werte haben das 1,5 l PET-Einwegsystem via DSD (35 g pro Flasche II-5) und das Leichtglas-Einwegsystem.

Im Vergleich zum 1,5 l PET-Rücklaufsystem (II-4) liegen die Nettowerte der anderen PET-Systemen um 25% bis 60% höher. Der relativ niedrige Wert des 1,5 l PET-Rücklaufsystems resultiert aus dem 50%-igen Rezyklateinsatz, wobei das Rezyklat im Closed-Loop verwertet wird. D.h. die Einsparungen zeigen sich bereits im Ergebnis für das Cut-Off. Da aufgrund der hohen Rücklaufquote mehr PET zurückgewonnen werden kann, als wieder für die Flaschenproduktion im Closed-Loop benötigt wird, wird zusätzlich PET extern verwertet und fließt mit einer Recyclinggutschrift positiv in die Bilanz ein. Das 1,0 l PET-Rücklaufsystem (II-3) zeigt aufgrund seines im Vergleich zum 1,5 l PET-Rücklaufsystem ungünstigeren Verhältnisses von Verpackungs- zu Füllgutmenge und eines höheren Aufwandes bei der Distribution ein ähnlich hohes terrestrisches Eutrophierungspotenzial wie die PET-Einweg-Sixpacksysteme (II-5/6/7).

Die Recyclinggutschrift bewirkt bei den PET-Systemen Verbesserungen der Ergebnisse um

- 10% bei der Entsorgung via DSD (Szenarien II-5, II-7),

- 20% bei den Rücklaufsystemen (Szenarien II-3, II-4) und
- knapp 30% bei dem bepfandeten Einwegsystem (Szenario II-6).

Entscheidend ist hier die Rücklaufquote und die Hochwertigkeit der PET-Verwertung, die derzeit bei den Rücklaufflaschen und der bepfandeten Flasche wesentlich besser ist als bei der Verwertung über DSD. Bei den bepfandeten Einwegflaschen wird weniger Rezyklat im Closed-Loop geführt (Einsatzquote Sekundär-PET 5%) als bei den Rücklaufflaschen und damit im Vergleich mehr Sekundärmaterial in der Gutschrift für externes Recycling verrechnet.

Naturraumbeanspruchung Forst

Die Naturraumbeanspruchung Forst gibt Auskunft über das Ausmaß der Nutzung von Holz, z.B. für Papieretiketten, Trays oder Paletten. Da Trays in der Regel aus Altpapier hergestellt werden, zeigt sich die Umweltbeanspruchung erst im Wert mit Recyclinglastschrift.

Die Naturraumbeanspruchung Forst ist daher bei den 1,5 l PET-Einwegsystemen (Sixpack II-5/6/7), die mit Kunststoffetiketten versehen sind und nur 2,8 kg Kartonzwischenlagen pro 1000 l Füllgut benötigen am geringsten. Für das Ergebnis mit Recyclinggutschrift ist die Naturraumbeanspruchung Forst auch beim Leichtglas-Mehrwegsystem vergleichsweise niedrig, da bei Glas-Mehrwegflaschen die Papieretiketten einer Verwertung zugeführt werden.

Die PET-Rücklaufsysteme (II-3/4) zeigen durch die Verwendung von Papieretiketten mindestens doppelt so hohe Nettowerte wie die PET-Sixpacksysteme (II-5/6/7), bei denen Kunststoffetiketten eingesetzt werden.

Beim Cut-Off ist die Naturraumbeanspruchung auch für das Leichtglas-Einwegsystem vergleichsweise niedrig, da die Flasche mit einem Kunststoffetikett versehen ist und daher kaum Primärfasern eingesetzt werden. Unter Berücksichtigung der Recyclinglastschrift für den Einsatz von Altpapier für die Trays steigt die Naturraumbeanspruchung Forst auf den höchsten Wert unter den verglichenen Systemen.

Naturraumbeanspruchung Deponie

Die Inanspruchnahme von Deponiekapazität hängt vom Verpackungsgewicht, den Verwertungsquoten bzw. der Umlaufzahl ab. Sie ist für alle Systeme relativ gering. Aufgrund des hohen Flaschengewichtes liegt die Deponierauminanspruchnahme für die Leichtglas-Einwegsysteme am höchsten.

Recyclinggut-/lastschriften gibt es bei diesem Parameter methodengemäß nicht.

NO_x-korrigierter Sommersmog

Wichtige Quellmodule für die Wirkungskategorie Sommersmog sind die Glas- und PET-Herstellung aber auch die Distribution. Maßgebliche Sachbilanzparameter sind NO_x, Methan und NMVOC.

Den im Vergleich niedrigsten Wert zeigt das Leichtglas-Mehrwegsystem. Aufgrund der hohen Umlaufzahl muss hier pro 1000 l Füllgut nur wenig Verpackungsmaterial neu hergestellt werden. Mit rund vier Mal so hohen Werten folgen das Leichtglas-Einwegsystem und das 1,5 l PET-Rücklaufsystem (II-4). Werte die vier bis sechs Mal so hoch sind wie die des Leichtglas-Mehrwegsystems zeigen das 1,0 l PET-Rücklaufsystem (II-3), die PET-Einwegsysteme via DSD (II-5/7) und das bepfandete Einwegsystem (II-6).

Beim Wert für Cut-Off zeigt die 1,5l-PET-Rücklaufflasche (35g SK) rund 50% geringere Werte als die gleiche Flasche via DSD (II-5) oder im Pfandsystem (II-6), da bei Rücklaufflaschen der Anteil an Sekundär-PET höher ist. Durch das Closed-Loop-Recycling wird die verminderte Primärherstellung von PET bereits bei den Cut-Off-Werten sichtbar.

Die Recyclinggutschrift bewirkt bei den PET-Einwegsystemen via DSD (II-5/7) eine Verbesserung der Werte um rund 10%, bei den PET-Rücklaufsystemen (II-3/4) um rund 25% und bei dem bepfandeten PET-Einwegsystem (II-6) um 30%. Bei letzterem wirkt sich zusätzlich wieder die höhere werkstoffliche PET-Verwertung im Open-Loop aus. Das Glassystem zeigt keine Veränderung, da das Glasrecycling im Wesentlichen als Closed-Loop erfolgt, d.h. schon im Wert des Cut-Off berücksichtigt ist.

Ressourcenbeanspruchung (knappe fossile Ressourcen)

Fossile Ressourcen werden v.a. für die Glas- und Kunststoffherstellung sowie bei Mehrwegsystemen für die Distribution und die Vorgänge beim Abfüller eingesetzt.

Der Einsatz knapper fossiler Ressourcen ist beim Leichtglas-Mehrwegsystem am geringsten, da bei einer hohen Umlaufzahl nur wenig Glas neu hergestellt werden muss. Der Ressourceneinsatz erfolgt v.a. für den Wasch- und Abfüllprozess und für die Distribution.

Unter Berücksichtigung der Recyclinggutschrift liegt die Ressourcenbeanspruchung des 1,5 l PET-Rücklaufsystems (II-4) um 45% höher als die des Leichtglas-Mehrwegsystems. Die Werte des 1,0 l PET-Rücklaufsystems (II-3) und die der 1,5 l PET-Einwegsystemen im Sixpack (II-5/6/7) sind wiederum rund 50% höher als die des 1,5 l PET-Rücklaufsystems (II-4). Die günstigeren Werte des 1,5 l PET-Rücklaufsystems gegenüber dem des 1,0 l PET-Rücklaufsystems basieren auf dem um 30% geringeren PET-Einsatz pro 1000 l Füllgut und der um rund 20% geringeren Tourenzahl bei der Distribution.

Am höchsten ist der Ressourcenbedarf beim Leichtglas-Einwegsystem.

Die Ergebnisse mit Recyclinggutschrift verbessern die Werte des 1,0 l PET-Rücklaufsystems (II-3) und der anderen 1,5 l PET-Einwegsysteme (II-4/5/6/7) um bis zu 30%. Der Einfluss der Gutschrift ist bei der Beanspruchung fossiler Ressourcen am höchsten, da kaum ein Unterschied in Abhängigkeit vom Recyclingweg (rohstofflich oder werkstofflich) besteht. Bei jeder Verwertung kann der Rohstoff (Rohöl) erneut genutzt werden.

Bei den Glassystemen ändert sich der Belastungswert kaum in Abhängigkeit von der Recyclingut-/lastschrift, da die Menge an im Open-Loop verwerteten fossilen Rohstoffen gering ist.

Treibhauseffekt

Die Höhe des Treibhauseffektes wird ähnlich wie bei der Beanspruchung knapper fossiler Ressourcen durch die Module Glas- und Kunststoffherstellung sowie bei Mehrwegsystemen durch die Distribution und die Vorgänge beim Abfüller bestimmt. Bei PET-Einwegsystemen ist zusätzlich die Preform- und Flaschenherstellung relevant.

Die Nettowerte des 1,5 l PET-Rücklaufsystems (II-4), des 1,5 l PET-Sixpacksystems für stilles Wasser (II-7) und des bepfandeten 1,5 l PET-Sixpacksystems mit 35 g (II-6) liegen in annähernd gleicher Größenordnung. Die Nettowerte des 1,0 l PET-Rücklaufsystems (II-3) und des 1,5 l PET-Sixpacksystems via DSD (II-5) liegen rund 30% höher, der Wert des 1,0 l Leichtglas-Mehrwegsystems liegt knapp 35% darunter. Einen wesentlich höheren Wert verbucht das Leichtglas-Einwegsystem.

Die Cut-Off-Werte zeigen das gleiche Profil wie die Nettowerte.

Der Effekt der Recyclinggutschrift ist beim Treibhauseffekt mit 5% bis 10% relativ gering. Die höchste Reduktion wird beim bepfandeten 1,5 l PET-Einwegsystem (II-6) mit rund 17% erreicht. Ursache hierfür ist der hohe Anteil werkstofflicher Verwertung im Open-Loop.

Versauerung

Beim Glas-Mehrwegsystem rührt die Versauerung v.a. aus der Distribution und dem Abfüll-/Waschprozess, bei PET-Systemen v.a. aus der PET- und Flaschenherstellung und in geringerem Maße durch die Distribution.

Bei dieser Wirkungskategorie zeigt das Leichtglas-Mehrwegsystem den niedrigsten Wert. Der Nettowert des 1,5 l PET-Rücklaufsystems (II-4) ist doppelt so hoch, die der anderen Systeme drei bis vier Mal so hoch. Im Vergleich zum 1,5 l PET-Rücklaufsystem liegen die Nettowerte der anderen PET-Systeme (II-3/6/7) rund 40% höher bzw. das 1,5 l PET-Einwegsystem via DSD (II-5) 70% höher.

Die Cut-Off-Werte zeigen mit Ausnahme des bepfandeten PET-Einwegsystems (II-6) das gleiche Profil wie die Nettowerte. Der Cut-Off-Wert des bepfandeten PET-Einwegsystems entspricht dem des vergleichsweise ungünstigen 1,5 l PET-Einwegsystem via DSD (II-5). Für beide Systeme liegt der Cut-Off-Wert 50% über dem des 1,5 l PET-Rücklaufsystems.

Recyclinggut-/lastschriften wirken sich bei den Glassystemen nur geringfügig aus. Bei PET-Systemen werden Verbesserungen bis 25% erreicht.

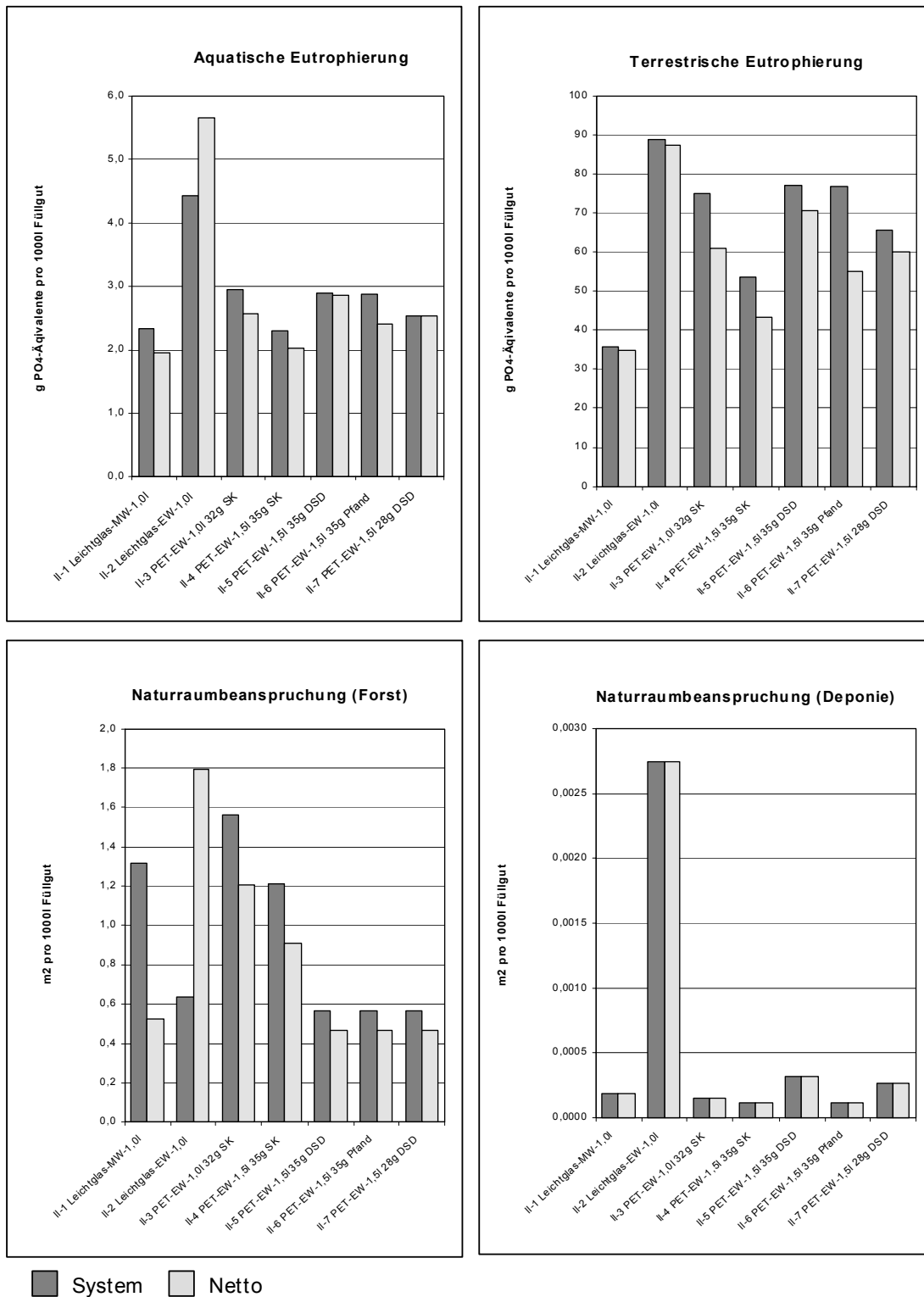


Abbildung 3-1: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Mineralwasser und andere Wässer, - Vorratskauf/ Gebindegrößen ≥ 1 l (I)

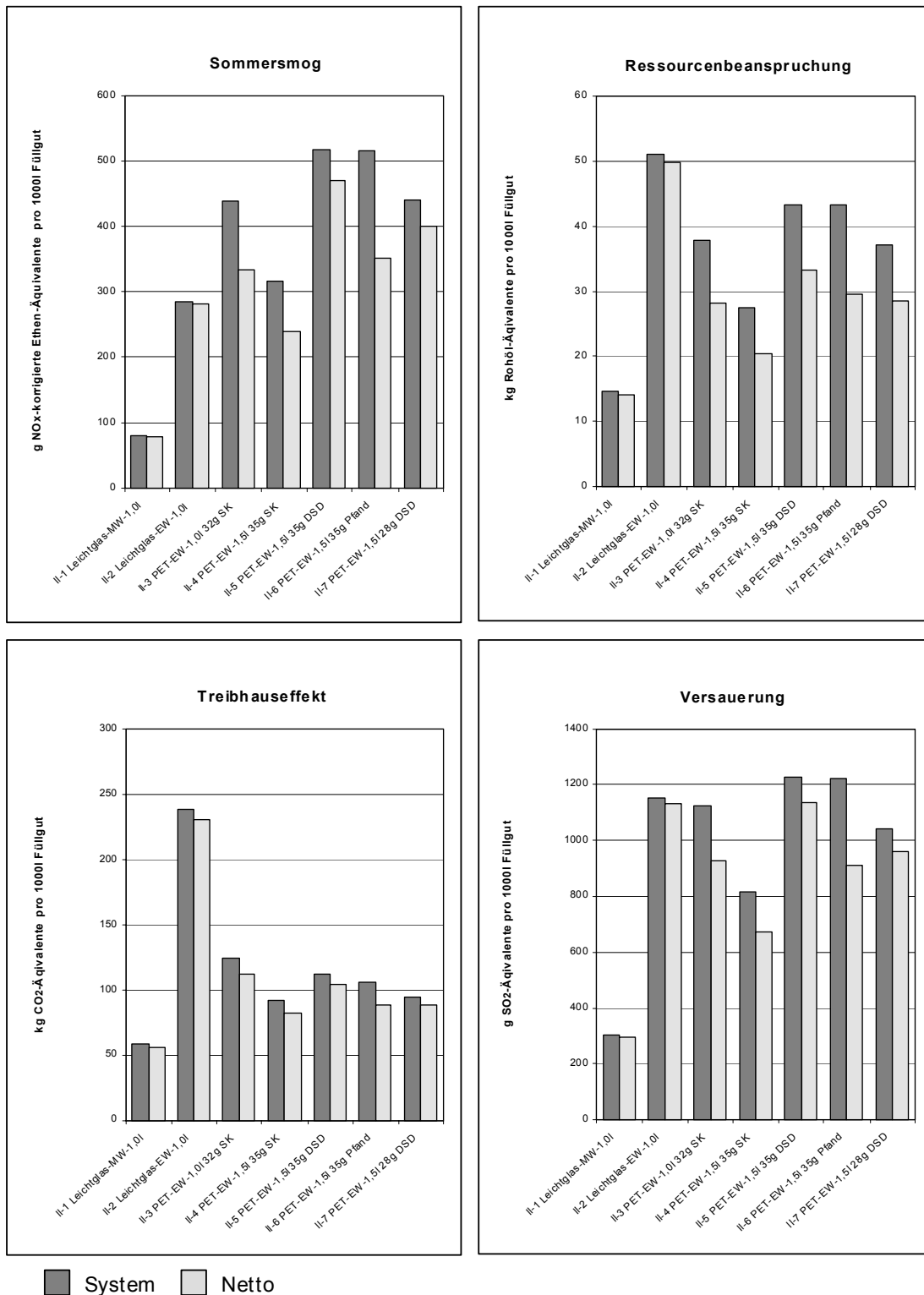


Abbildung 3-1: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Mineralwasser und andere Wässer, - Vorratskauf/ Gebindegrößen ≥ 1 l (II)

3.2.2 Neu aufgenommene Verpackungssysteme, Vergleichsgruppe Mineralwasser und andere Wässer, - Sofortverzehr/Gebindegröße 0,5 l (Abbildung 3-2)

Aquatische Eutrophierung

Wesentliche Quellmodule der aquatischen Eutrophierung sind beim Mehrwegsystem der Abfüll-/Waschprozess für Flaschen und Kästen und beim Einwegsystem die Herstellung von Trays.

Der Nettowert des 0,5 l PET-Einwegsystems liegt vier Mal so hoch wie der des 0,5 l PET-Mehrwegsystems mit 15 Umläufen, da sowohl die Zellstoffherstellung als auch die Trayherstellung aus Zellstoff hier zum Ergebniswert beiträgt.

Die Recyclinggutschrift bewirkt beim PET-Mehrwegsystem v.a. aufgrund der PET-Verwertung, dass der Nettowert 10% niedriger ist als der Cut-Off-Wert. Beim PET-Einwegsystem ist der Nettowert aufgrund der Lastschrift für den Altpapierbedarf (Zellstoff) für die Trayherstellung um 10% höher als der Cut-Off-Wert. Der Unterschied zwischen den Systemen reduziert sich durch die Gut-/Lastschriftregel. Der Cut-Off-Wert des PET-Einwegsystems ist nur drei Mal so hoch wie der des PET-Mehrwegsystems.

Terrestrische Eutrophierung

Emissionen, die zur terrestrischen Eutrophierung beitragen, entstehen v.a. bei der PET (bottle grade)-, sowie Preform- und Flaschenherstellung und bei Mehrwegsystemen bei der Distribution.

Für die terrestrische Eutrophierung liegt der Nettowert des 0,5 l PET-Einwegsystems um 75% über dem des 0,5 l PET-Mehrwegsystems, da beim Mehrwegsystem pro Füllung nur 7% der PET-Flaschen neu hergestellt werden müssen. Geschmälert wird dieser Vorteil durch einen im Durchschnitt 40% höheren Aufwand bei der Distribution.

Bei beiden PET-Systemen vermindert die Recyclinggutschrift das Umweltwirkungspotenzial um 10% gegenüber dem Cut-Off-Wert. Der Unterschied zwischen den Systemen ändert sich jedoch nicht in Abhängigkeit vom Allokationsverfahren.

Naturraumbeanspruchung Forst

Die Wirkungskategorie Naturraumbeanspruchung Forst spiegelt den Einsatz von Holz und Papier/Karton/Pappe aus Primärressourcen wieder, d.h. den Einsatz von neuen Paletten, Trays und Papieretiketten.

Entsprechend der Definition des Verpackungssystems werden beim PET-Einwegsystem je zur Hälfte Papier- und Kunststoffetiketten und beim PET-Mehrwegsystem ausschließlich

Kunststoffetiketten eingesetzt. Letzteres zeigt somit den geringsten Verbrauch an Holz, nämlich nur für Paletten. Der Nettowert des Einwegsystems liegt mehr als sechs Mal so hoch, da hier zusätzlich zu Palettenholz, 7,5 kg Wellpappe für Trays und 1,1 kg Papieretiketten eingesetzt werden.

Unter Berücksichtigung der Recyclinggut-/lastschriften ist der Nettowert des Mehrwegsystems infolge der externen Verwertung von Palettenholz um fast 50% niedriger als der Cut-Off-Wert. Beim PET-Einwegsystem überwiegt die Lastschrift für den Altpapiereinsatz im Tray. Der Nettowert ist doppelt so hoch wie der Cut-Off-Wert. Der Unterschied zwischen den Systemen ist beim Cut-Off wesentlich geringer als beim Gut-/Lastschriftverfahren.

Naturraumbeanspruchung Deponie

Das PET-Mehrwegsystem benötigt ein Fünftel der Deponiekapazität des PET-Einwegsystems, da beim hiesigen Mehrwegsystem pro Umlauf 7% der Flaschen ausscheiden, wovon noch die Hälfte über den Abfüller einer Verwertung zugeführt wird. Demgegenüber werden die Einwegflaschen inkl. Deckel und Etikett über das DSD zu 74% einer Verwertung zugeführt.

Recyclinggutschriften gibt es bei diesem Parameter methodengemäß nicht.

NOx-korrigierter Sommersmog

Bei beiden Systemen liefert hier die PET-Herstellung den größten Beitrag zum Sommersmog. Das PET-Mehrwegsystem zeigt gegenüber dem PET-Einwegsystem den dreifachen Wert. Der geringere PET-Bedarf des Mehrwegsystems pro Füllung wird durch den im Durchschnitt 40% höheren Aufwand der Distribution etwas reduziert.

Die Recyclinggutschrift v.a. für PET bewirkt beim PET-Mehrwegsystem eine Verringerung des Cut-Off-Wertes um 15%, beim PET-Einwegsystem um 10%.

Ressourcenbeanspruchung (knappe fossile Ressourcen)

Fossile Ressourcen werden v.a. für die PET-Granulat und -Flaschenherstellung und beim Mehrwegsystem zusätzlich für die Distribution und die Vorgänge beim Abfüller eingesetzt.

Die Ressourcenbeanspruchung des PET-Einwegsystems ist doppelt so hoch wie die des PET-Mehrwegsystems, da für das Mehrwegsystem, hier mit 15 Umläufen, trotz seines doppelt so hohen Flaschengewichtes pro Umlauf nur 2,8 g PET hergestellt und zu Flaschen verarbeitet werden braucht. Für die Einwegflasche muss die 7,5-fache Menge PET hergestellt und verarbeitet werden. Belastend wirken beim Mehrwegsystem allerdings der pro Flasche bzw. pro 1000 l Füllgut höhere Energieverbrauch bei der Distribution und beim Abfüller.

Die Recyclinggutschrift beträgt beim Einwegsystem knapp 25% beim Mehrwegsystem gut 20% des Cut-Off-Wertes. Die Gutschrift wird beim PET-Mehrwegsystem v.a. für die externe Verwertung von PET und PP-Verschlüssen erteilt, die beim Abfüller sortenrein anfallen (s.a.

Phase 1 [UBA 2000] Abb. 2-4 und 4-1). Beim PET-Einwegsystem wird die Flasche nach Gebrauch mit einer Verwertungsquote von 74% v.a. rohstofflich über das DSD verwertet. Weitere Gutschriften erfolgen für die Verwertung von Schrumpf- und Stretchfolie.

Die Gutschrift ist in der Kategorie Beanspruchung knapper fossiler Ressourcen höher als z.B. beim Sommersmog oder dem Treibhauseffekt, da in dieser Kategorie der Rohölanteil im Feedstock angerechnet wird.

Treibhauseffekt

Die Höhe des Treibhauseffektes wird ähnlich wie bei der Beanspruchung knapper fossiler Ressourcen durch die PET-Herstellung sowie bei Mehrwegsystemen die Distribution und die potenziellen Umweltwirkungen beim Abfüllmodul bestimmt. Bei PET-Einwegsystemen ist zusätzlich die Preform- und Flaschenherstellung relevant. Der Wert des 0,5 l PET-Einwegsystems ist fast doppelt so hoch wie der des 0,5 l PET-Mehrwegsystems.

Durch die Recyclinggutschrift liegt der Nettowert für beide Systeme knapp 7% unter dem Cut-Off-Wert.

Versauerung

Beim PET-Mehrwegsystem trägt die PET-Granulatherstellung einen großen Anteil zur Versauerung bei, kleinere Anteile stammen aus dem Abfüllmodul, der Distribution und der Kunststoffherstellung für Deckel. Beim PET-Einwegsystem stammen die potenziellen Umweltwirkungen ganz überwiegend aus der PET-Granulat- und Flaschenherstellung.

Der Nettowert des 0,5 l PET-Einwegsystems liegt gut 2,5 Mal so hoch wie das 0,5 l PET-Mehrwegsystem.

Die Recyclinggutschrift v.a. für Flasche und Deckel beim Mehrwegsystem und für Flaschen und vermischte Kunststoffe beim Einwegsystem vermindert die potenziellen Umweltwirkungen der PET-Systeme um ca. 10% gegenüber dem Cut-Off-Wert.

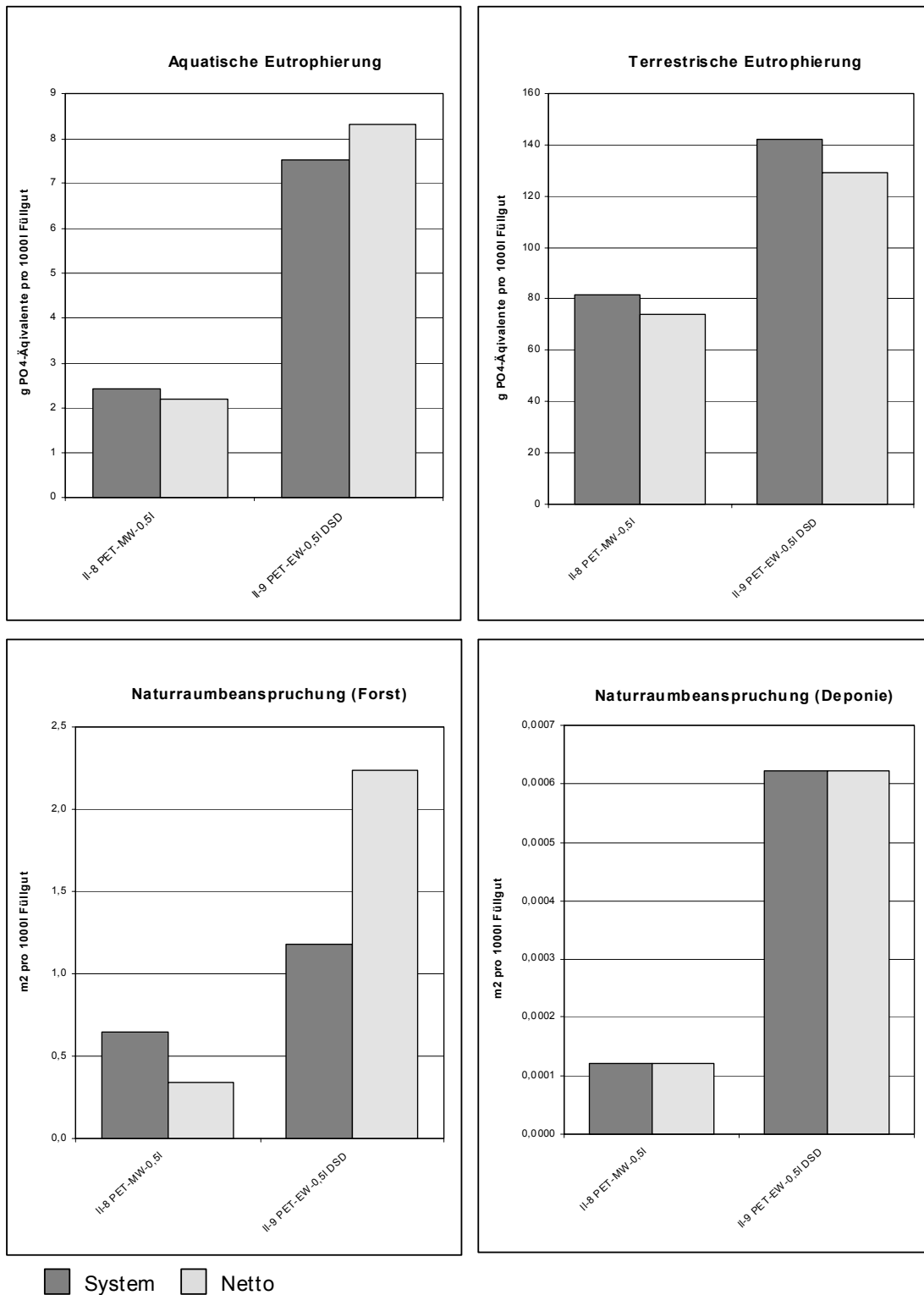


Abbildung 3-2: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Mineralwasser und andere Wässer, - Sofortverzehr/Gebindegröße 0,5 l (l)

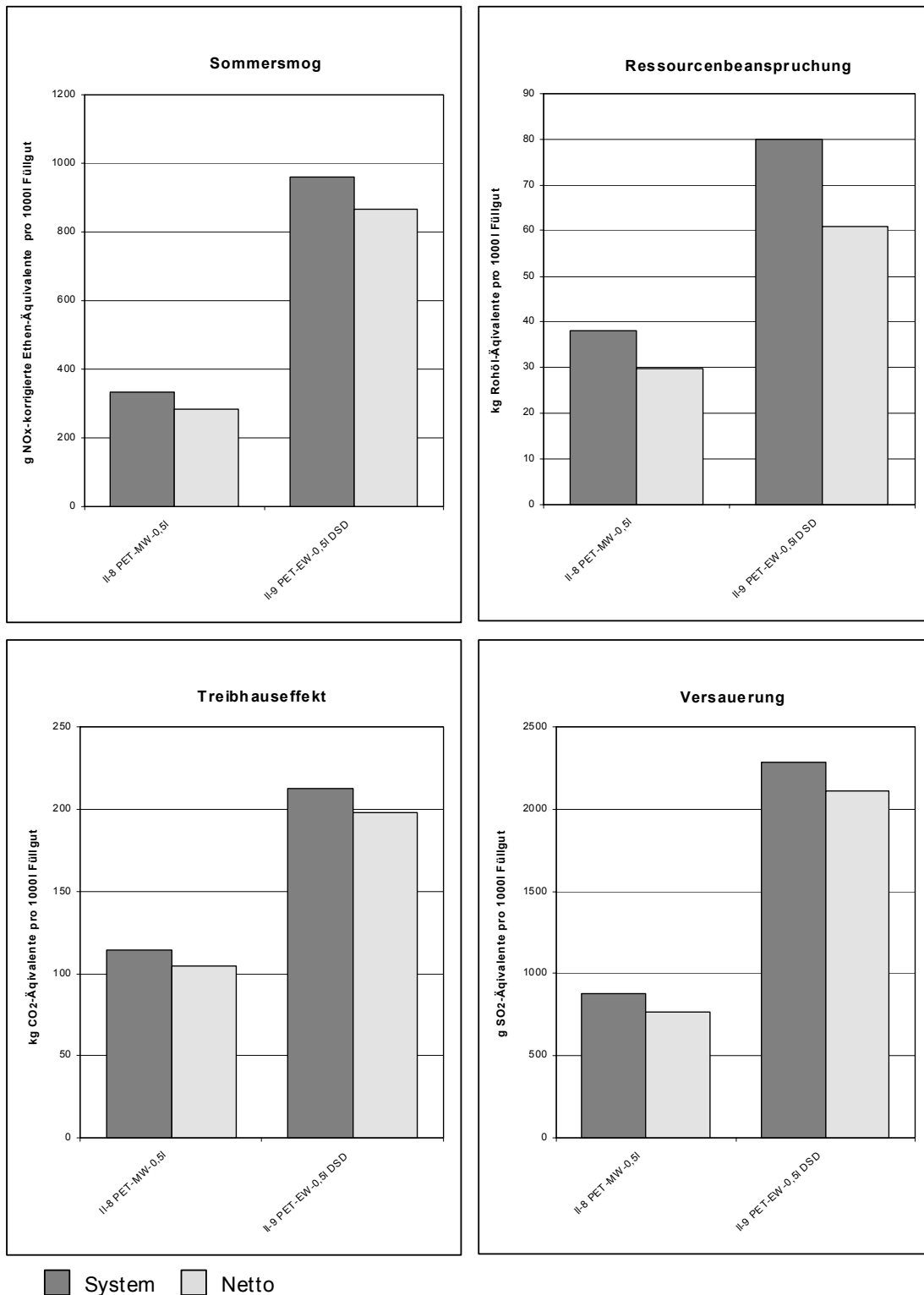


Abbildung 3-2: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Mineralwasser und andere Wässer, - Sofortverzehr/Gebindegröße 0,5 l (II)

3.2.3 Neu aufgenommene Verpackungssysteme, Vergleichsgruppe Erfrischungsgetränke mit Kohlensäure, - Sofortverzehr/Gebindegröße 0,5 l (Abbildung 3-3)

Aquatische Eutrophierung

Die potenziellen Umweltwirkungen werden beim Glas-Mehrwegsystem v.a. durch die Waschprozesse bei der Abfüllung, die Herstellung der Papieretiketten sowie der dazu verwendeten Faserstoffe hervorgerufen. Bei beiden Dosensystemen wirken neben dem Abfüllprozess, die Trayherstellung und bei Weißblech zusätzlich die Weißblechherstellung belastend. Im Nettoergebnis liegt der Beitrag zum aquatischen Eutrophierungspotenzial bei den 0,5 l Aluminiumdosen mehr als doppelt so hoch, bei den Weißblechdosen mehr als 4 Mal so hoch wie beim 0,5 l Glas-Mehrwegsystem.

Die Rangfolge der Systeme ist für Cut-Off- und Nettowerte gleich.

Die Recyclinggut-/lastschriften haben bei allen Systemen einen deutlichen Einfluss auf die Werte. Beim Glas-Mehrwegsystem liegt der Nettowert, v.a. aufgrund der Verwertung der Papieretiketten, um 25% unter dem Cut-Off-Wert. Bei den Dosen liegen die Nettowerte höher als die Cut-Off-Werte, da Altpapier für die Trayherstellung zugeführt wird und dieses mit einer Lastschrift belegt ist. Der Effekt wird bei den Weißblechdosen durch die Gutschrift für das Dosenrecycling abgeschwächt. Der Nettowert liegt beim Aluminium-Dosensystem 60% über dem Cut-Off-Wert, beim Weißblech-Dosensystem 25%.

Terrestrische Eutrophierung

Emissionen, die zur terrestrischen Eutrophierung beitragen, entstehen v.a. bei der Weißblech- und Aluminiumherstellung, der Dosenherstellung und bei den Glas-Mehrwegsystemen bei der Distribution.

Der Nettowert des Weißblech-Dosensystems liegt 50% über, der Wert des Aluminium-Dosensystems 10% unter dem des Glas-Mehrwegsystems.

Die Recyclinggut-/lastschrift bewirkt nur beim Weißblech-Dosensystem eine relevante Minderung des Umweltwirkungspotenzials gegenüber dem Cut-Off-Wert (minus 8%). Hier macht sich die Verwertungsquote von 90% für Weißblechdosen positiv bemerkbar. Bei Aluminiumdosen und Glasflaschen wirkt sich die hohe Verwertungsquote bereits zum Großteil beim Wert für Cut-Off aus, da die Materialien zu einem hohen Anteil im Closed-Loop-Recycling verwertet werden können (90% Sekundäraluminium im Dosenbody).. Recyclinggut-/lastschriften wirken beim Glas-Mehrwegsystem und beim Aluminium-Dosensystem nur geringfügig (minus 1% bis 2%). Die Gutschriften haben keinen Einfluss auf die Rangfolge der Systeme.

Naturraumbeanspruchung Forst

Die Wirkungskategorie zeigt das Ausmaß der Holznutzung. Holz wird als Rohstoff für Papieretiketten, Trays und Paletten eingesetzt.

Bei den Dosensystemen werden Trays eingesetzt (13,5 kg Wellpappe pro 1000 l Füllgut), bei den Glassystemen Papieretiketten (2,2 kg Papier pro 1000 l Füllgut). Unter Berücksichtigung der Umlaufzahl liegt der Bedarf an Palettenholz deutlich geringer. Für den Dosensystemen werden 0,6 kg Palettenholz pro 1000 l Füllgut eingesetzt, beim Glassystem bei 1,1 kg. Entsprechend liegen die Nettowerte der Dosensysteme wesentlich höher als der des Glas-Mehrwegsystems.

Bei dieser Wirkungskategorie schwanken die Werte stark in Abhängigkeit vom Allokationsverfahren für Recycling. Beim Cut-Off zeigen die Dosensysteme eine recht geringe Naturrauminanspruchnahme, da sie für das Altpapier im Tray keine Umweltbelastung zugerechnet bekommen. Unter Berücksichtigung der Lastschrift für den Altpapiereinsatz steigen die Werte auf mehr als das Sechsfache.

Bei den Glas-Mehrwegsystemen ist die holznutzungsbedingte Naturraumbeanspruchung liegt der Nettowert um 60% unter dem Cut-Off-Wert. Hier wirkt sich die Etikettenverwertung positiv aus.

Naturraumbeanspruchung Deponie

Bei der Beanspruchung von Deponiekapazitäten wirkt sich bei ähnlich hohen Verwertungsquoten v.a. das Behältergewicht aus. Daher erzielen die Dosensysteme um 30% (Weißblech-) bis 50% (Aluminium-) günstigere Werte als das Glassystem.

Recyclinggutschriften gibt es bei diesem Parameter methodengemäß nicht.

NO_x-korrigierter Sommersmog

Bei den Glas-Mehrwegsystemen stammen die Emissionen, die zum Sommersmog beitragen überwiegend aus der Distribution. Weitere Quellen sind Glas-, Kunststoff und Papierherstellung und der Abfüll-/Waschvorgang. Bei den Dosensystemen sind die Umweltbelastungen bei der Distribution vergleichsweise gering. In der Kategorie Sommersmog wirken sich hier v.a. die Umweltbelastungen bei der Aluminium-, Weißblech- und Dosenherstellung aus.

Der Nettowert des Aluminium-Dosensystems liegt 13%, der des Weißblech-Dosensystems 25% über dem des Glas-Mehrwegsystems.

Die Recyclinggutschrift zeigt mit minus 6% gegenüber dem Cut-Off-Wert nur beim Weißblech-Dosensystem einen Einfluss auf die Höhe des Beitrages zum Sommersmog.

Ressourcenbeanspruchung (knappe fossile Ressourcen)

Bei den Glas-Mehrwegsystemen werden fossile Ressourcen v.a. für die Distribution, die Vorgänge beim Abfüller und für die Glasherstellung eingesetzt, bei den Dosensystemen für die Aluminium-, Weißblech- und Dosenherstellung.

Die höchsten potenziellen Umweltwirkungen zeigt wiederum das Weißblech-Dosensystem. Unter Berücksichtigung der Recyclinggutschrift liegt der Wert 100% über dem des 0,5 l Glas-Mehrwegsystems. Das Aluminium-Dosensystem hat einen knapp 50% höheren Wert als das 0,5 l Glas-Mehrwegsystem.

Recyclinggutschriften erfolgen beim Glas-Mehrwegsystem praktisch nicht, da die Verwertung von Glas überwiegend im Closed-Loop erfolgt. Auch die Aluminiumdose wird zum Teil im Closed-Loop verwertet, so dass die Recyclinggutschrift nur 6% des Cut-Off-Wertes beträgt. Die mit 13% größte Differenz zwischen Cut-Off und Nettowert zeigt sich bei den Weißblechdosen, da diese extern (und nicht als Closed-Loop in der Blasstahlerzeugung) verwertet werden.

Treibhauseffekt

Die Höhe des Treibhauseffektes wird ähnlich wie die der Beanspruchung knapper fossiler Ressourcen durch die Packstoffherstellung (Aluminium, Weißblech, Glas), die Dosenherstellung sowie bei Mehrwegsystemen die Distribution und die Vorgänge beim Abfüller bestimmt.

Im Vergleich zum 0,5 l Glas-Mehrwegsystem liegt der Nettowert des Weißblechsystems fast vier Mal so hoch und der Wert des Aluminiumsystems gut 2 Mal so hoch.

Die Recyclinggutschrift wirkt sich nur bei den Dosen mit einer Verminderung der potenziellen Umweltwirkungen um 10% bei dem Weißblechsystem und 7% beim Aluminiumsystem aus.

Versauerung

Die Quellmodule für Umweltwirkungen in der Kategorie Versauerung entsprechen denen der Kategorie Treibhauseffekt und Beanspruchung knapper fossiler Ressourcen: Aluminium-, Weißblech-, Glas- und Dosenherstellung sowie bei Mehrwegsystemen die Distribution und die Vorgänge beim Abfüller.

Es zeigt sich daher auch ein ähnliches Ergebnisprofil wie beim Treibhauseffekt. Die geringsten Wirkungen gehen von dem 0,5 l Glas-Mehrwegsystem aus. Der Wert des Aluminiumsystems liegt um rund 200% und der des Weißblechsystems um 300% höher.

Die Recyclinggutschrift bewirkt bei den Dosen eine Verringerung des Cut-Off-Wertes um gut 5%, beim Glas-Mehrwegsystem um 2%.

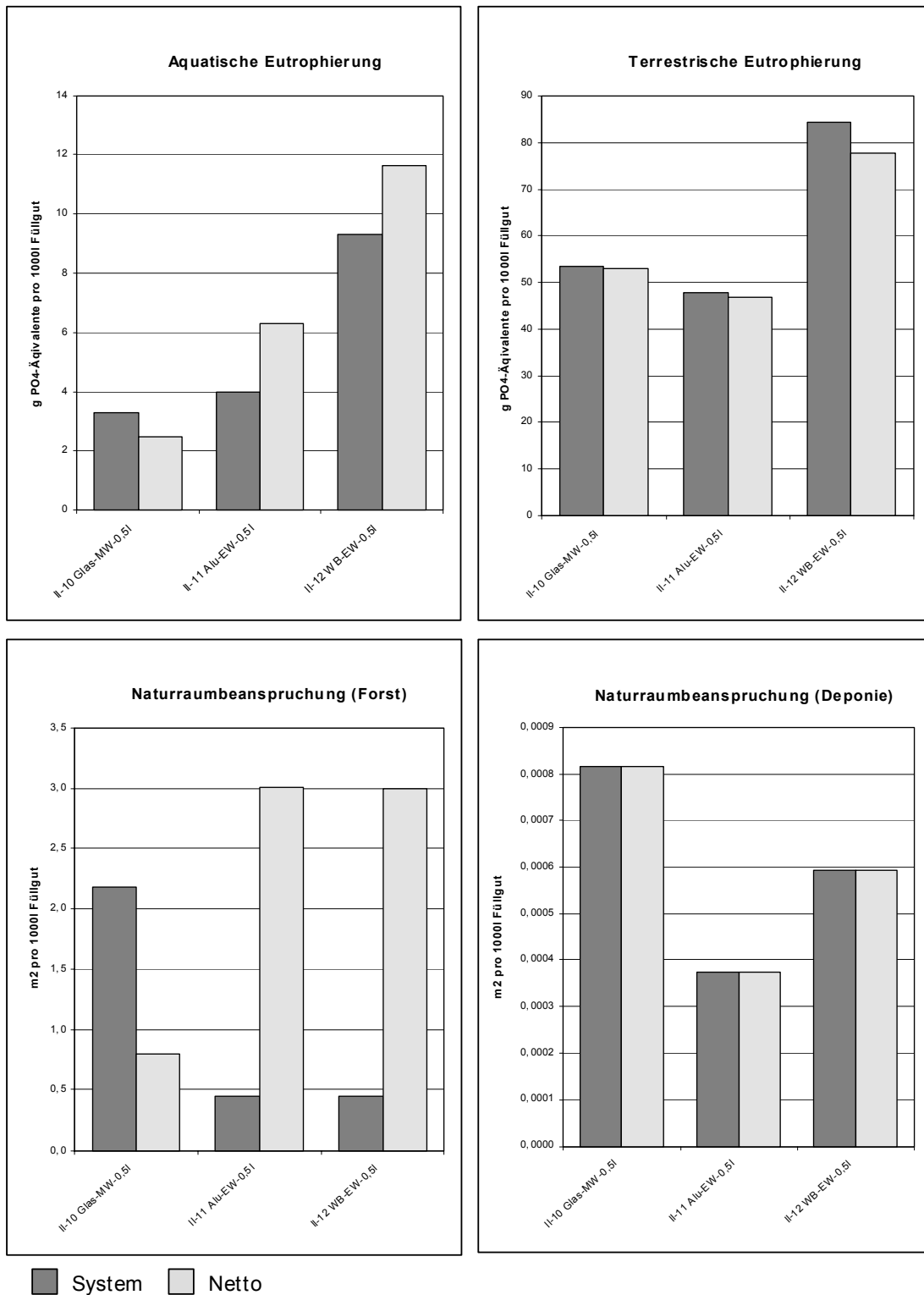


Abbildung 3-3: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Erfrischungsgetränke mit Kohlensäure, - Sofortverzehr/Gebindegröße 0,5 l (I)

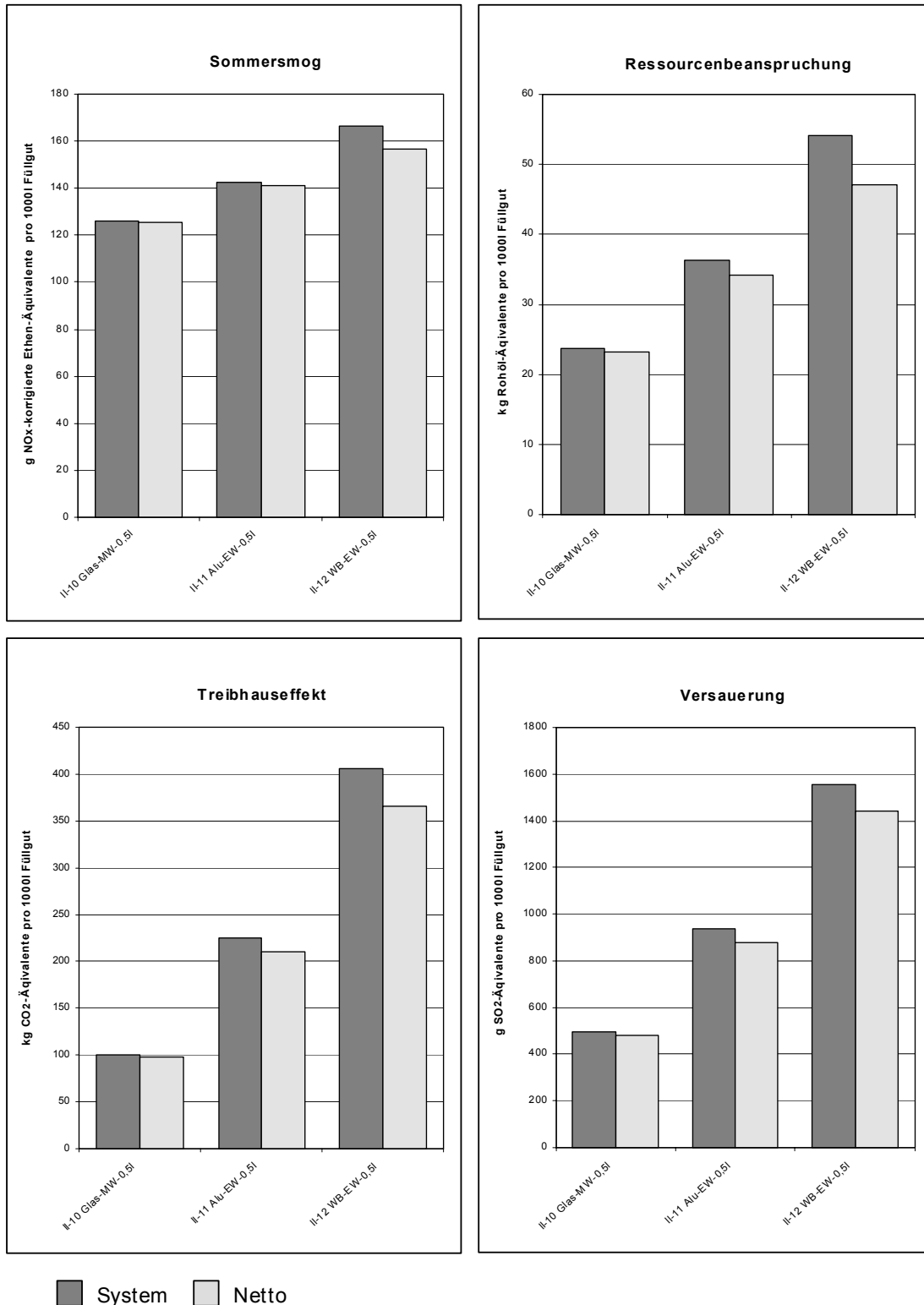


Abbildung 3-3: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Erfrischungsgetränke mit Kohlensäure, - Sofortverzehr/Gebindegröße 0,5 l (II)

3.2.4 Neu aufgenommene Verpackungssysteme:

Sensitivitätsanalyse zur Verwertungsquote von Weißblech- und Aluminiumdosen (Abbildung 3-4)

Sensitivität: Senkung der Verwertungsquote für Weißblechdosen (Szenario II-33)

Die Verwertungsquote wird von 90% auf 84% gesenkt (siehe Kap. 2.1.8.1).

Da weniger Material zur Verwertung bereit gestellt wird, sinken mit Ausnahme der Naturraumbeanspruchungen die Recyclinggut- und -lastschriften um ca. 5%. Die Cut-Off-Werte ändern sich gegenüber dem Basisszenario nur bei der Deponieraumbeanspruchung.

Die Veränderungen schlagen nicht auf die Nettowerte durch. Der Effekt der verminderten Verwertungsquote liegt unter 1%. Eine Ausnahme macht die Naturraumbeanspruchung Deponie, die um ca. 35% gegenüber dem Basisszenario steigt.

Der Einfluss der Recyclinggut- und -lastschriften auf die Ergebnisse ändert sich gegenüber dem Basisszenario nur geringfügig und liegt weiterhin bei 5% bis 10%, mit Ausnahme der aquatischen Eutrophierung und der Naturraumbeanspruchung Forst bei der die Lastschrift für Altpapier stärker wirkt.

Sensitivität: Senkung der Verwertungsquote für Aluminiumdosen (Szenario II-34)

Die Verwertungsquote wird von 86% auf 79% gesenkt (siehe Kap. 2.1.8.1).

Da weniger Material extern verwertet wird, sinken mit Ausnahme der Naturraumbeanspruchungen und der aquatischen Eutrophierung die Recyclinggutschriften um knapp 70% und die Recyclinglastschriften um ca. 20% bis 30%. Die Cut-Off-Werte ändern sich gegenüber dem Basisszenario nur bei der Deponieraumbeanspruchung.

Eine relevante Änderung der Nettowerte zeigt sich bei der Naturraumbeanspruchung Deponie, die um knapp 30% über der des Basisszenarios liegt. Beim Verbrauch knapper fossiler Ressourcen, beim Treibhauseffekt und dem Versauerungspotenzial steigen die Nettowerte aufgrund der verminderten Recyclinggutschrift um 5%.

Recyclinggut- und -lastschriften üben im Sensitivitätsszenario mit Ausnahme der aquatischen Eutrophierung und der Naturraumbeanspruchung Forst keinen nennenswerten Einfluss auf die Ergebniswerte aus. Gegenüber dem Basisszenario verringert sich der Einfluss der Recyclinggut- und -lastschriften beim Verbrauch fossiler Ressourcen, beim Treibhauseffekt und dem Versauerungspotenzial.

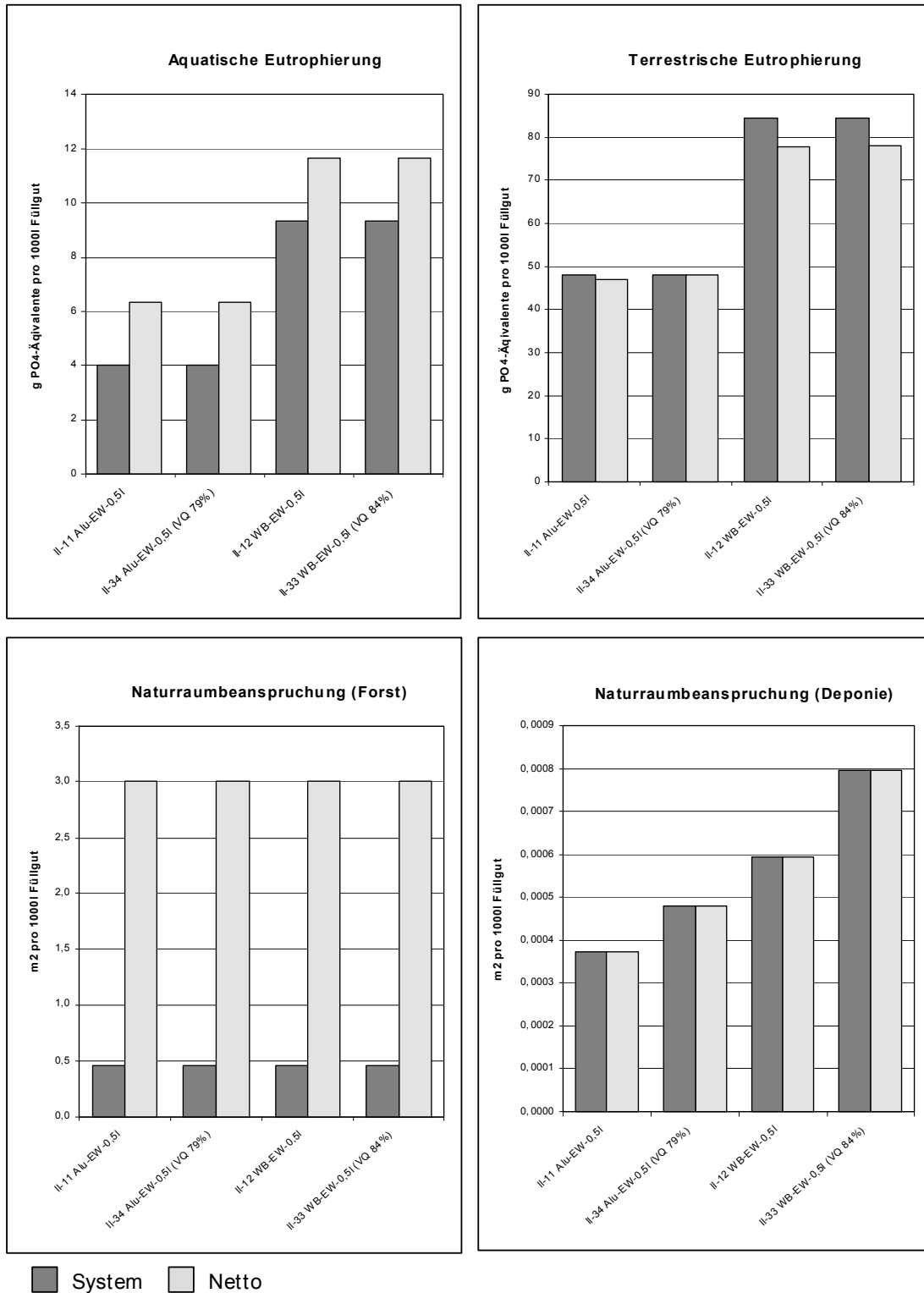


Abbildung 3-4: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Erfrischungsgetränke mit Kohlensäure, - Sofortverzehr/Gebindegröße 0,5 l, Sensitivitätsanalyse zur Verwertungsquote (I)

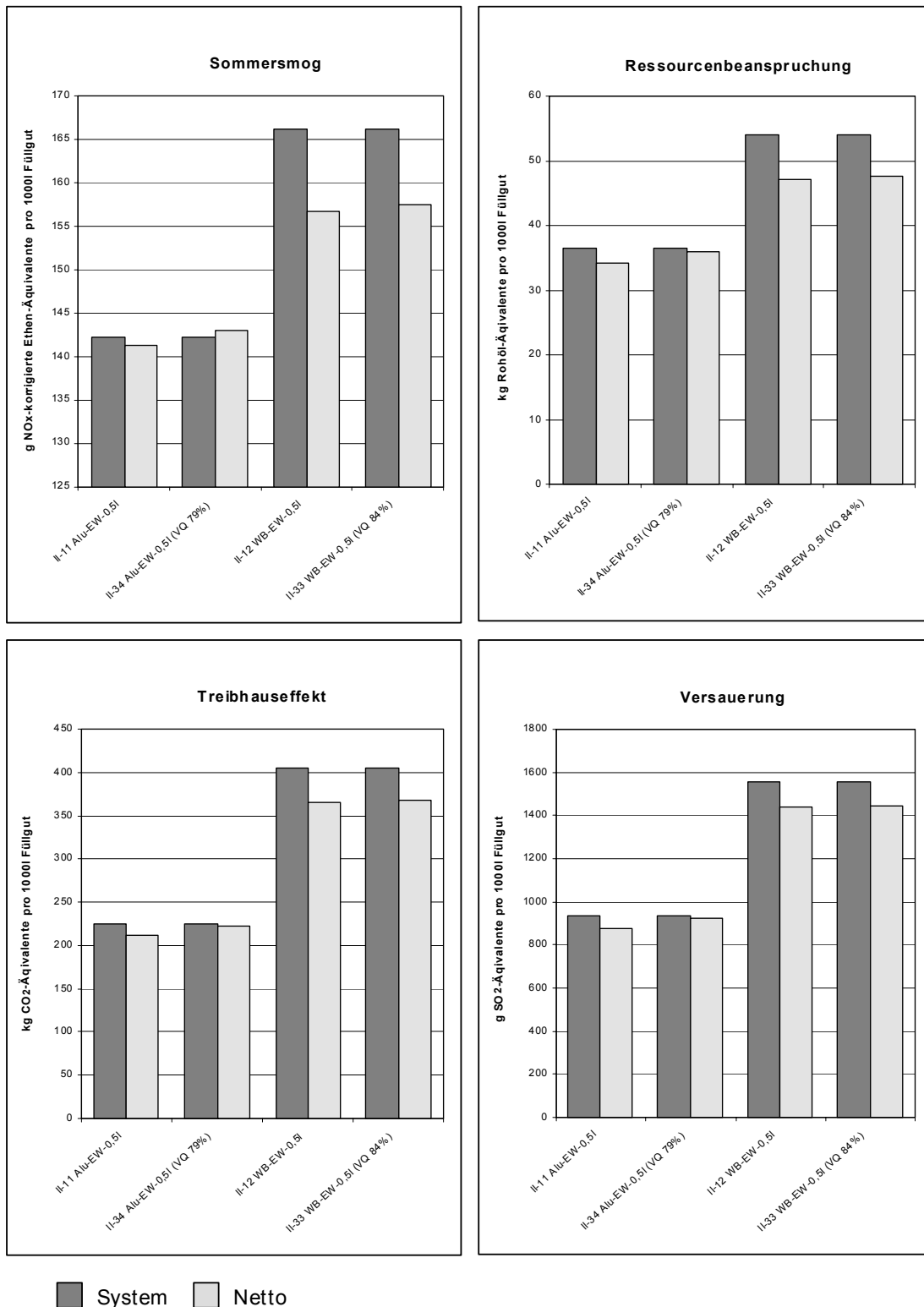


Abbildung 3-4: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Erfrischungsgetränke mit Kohlensäure, - Sofortverzehr/Gebindegröße 0,5 l; Sensitivitätsanalyse zur Verwertungsquote (II)

3.3 Optimierungsszenarien und Szenarien zur Änderung von Rahmenbedingungen

3.3.1 Optimierungsszenario Glasflasche mit Schmelzwanne Typ „Oxyfuel“ – (Abbildung 3-5)

Infolge der Optimierung wird weniger Energie für die Glasschmelze benötigt, wodurch die Cut-Off- und die Nettowerte sinken. Ferner beträgt im Basisszenario der Eigenscherbenanteil 6% und der Fremdscherbenanteil 59%, während beim Oxyfuel-Szenario der Eigenscherbenanteil bei 8%¹ und der Fremdscherbenanteil bei 75% liegt. D.h., die im Closed-Loop verwertete Scherbenmenge ist beim Oxyfuel-Szenario höher als im Basisszenario und Gutschriften für überschüssige Scherben, die extern verwertet werden könnten, entfallen. Zusätzlich muss bei einem Fremdscherbenanteil von 75% Scherben eine geringe Altglasmenge von extern zugeführt werden, die mit einer Lastschrift belegt wird.

Die Glasherstellung (inkl. Energievorketten) trägt in den Kategorien terrestrische Eutrophierung, Sommersmog, Beanspruchung knapper fossiler Ressourcen, Treibhauseffekt und Versauerung zu einem Großteil der gesamten potenziellen Umweltwirkungen bei.

Die Energieeinsparung bei der Glasschmelze und der höhere Fremdscherbeneinsatz führen beim Versauerungspotenzial zu einer Reduktion der Nettowerte gegenüber dem Basisszenario um 23%, beim NO_x-korrigierten Sommersmog um 13%, beim Treibhauseffekt und der terrestrischen Eutrophierung um ca. 10% sowie beim Verbrauch knapper fossiler Ressourcen um ca. 5%. Die Reduktionen der Cut-Off-Werte liegen in gleicher Größenordnung.

Beim aquatischen Eutrophierungspotenzial, der Naturraumbeanspruchung Forst und der Deponieraumbeanspruchung ergeben sich keine bzw. keine relevanten Änderungen.

Der Einfluss der Recyclinggut-/lastschriften auf die Ergebnisse ist mit Ausnahme der Kategorien aquatische Eutrophierung und der Naturraumbeanspruchung Forst gering.

¹ 8% Eigenscherbenanteil bedeutet, dass mehr Ausschuss in der Glashütte anfällt als bei nur 6% Eigenscherbenanteil im Basisszenario. Entsprechend muss zur Herstellung von 1000 kg Flaschen nicht 1060 kg Glas wie im Basisszenario erzeugt werden, sondern 1080 kg.

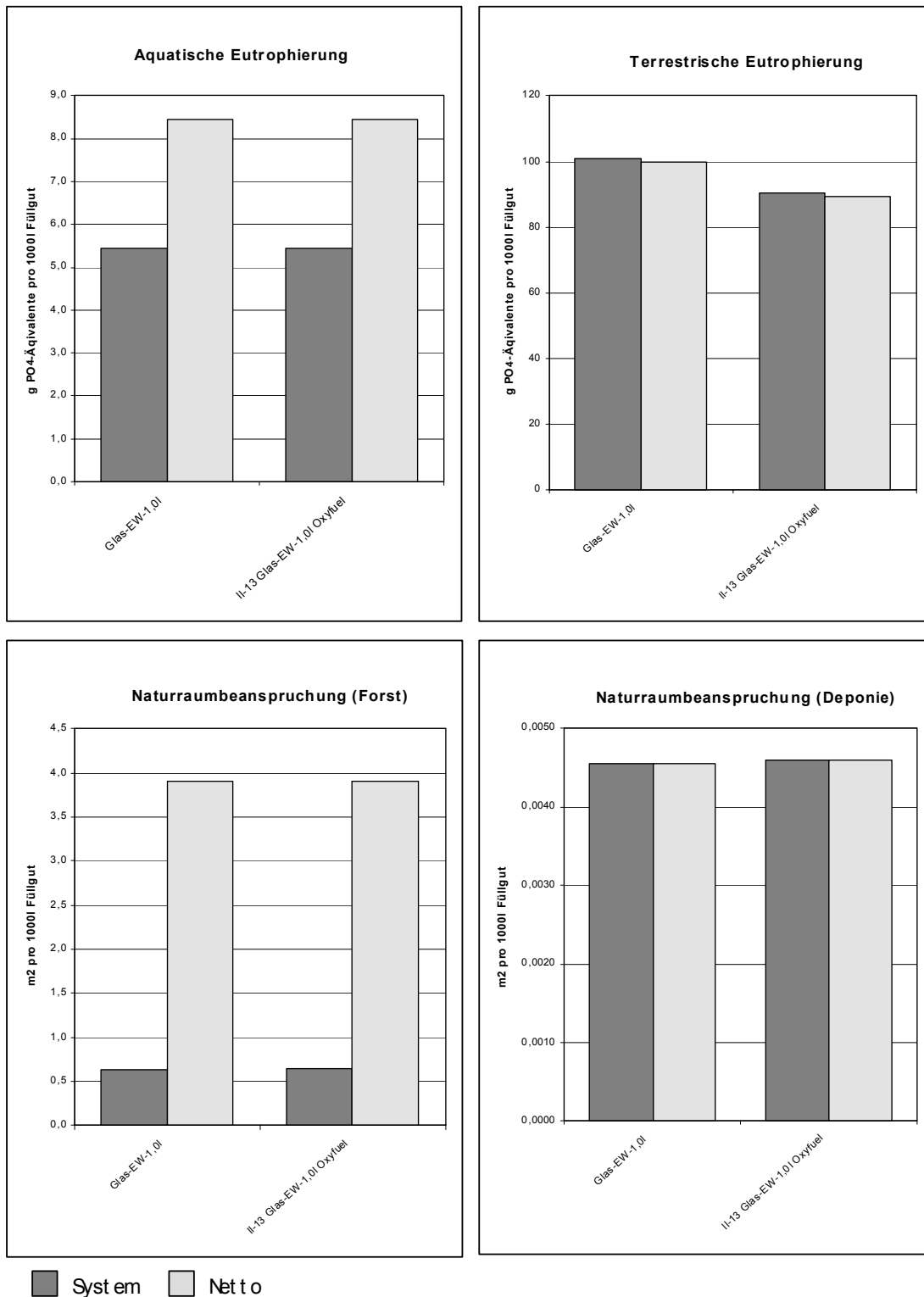


Abbildung 3-5: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Optimierungsszenario Glasflasche mit Schmelzwanne Typ „Oxyfuel“ (I)

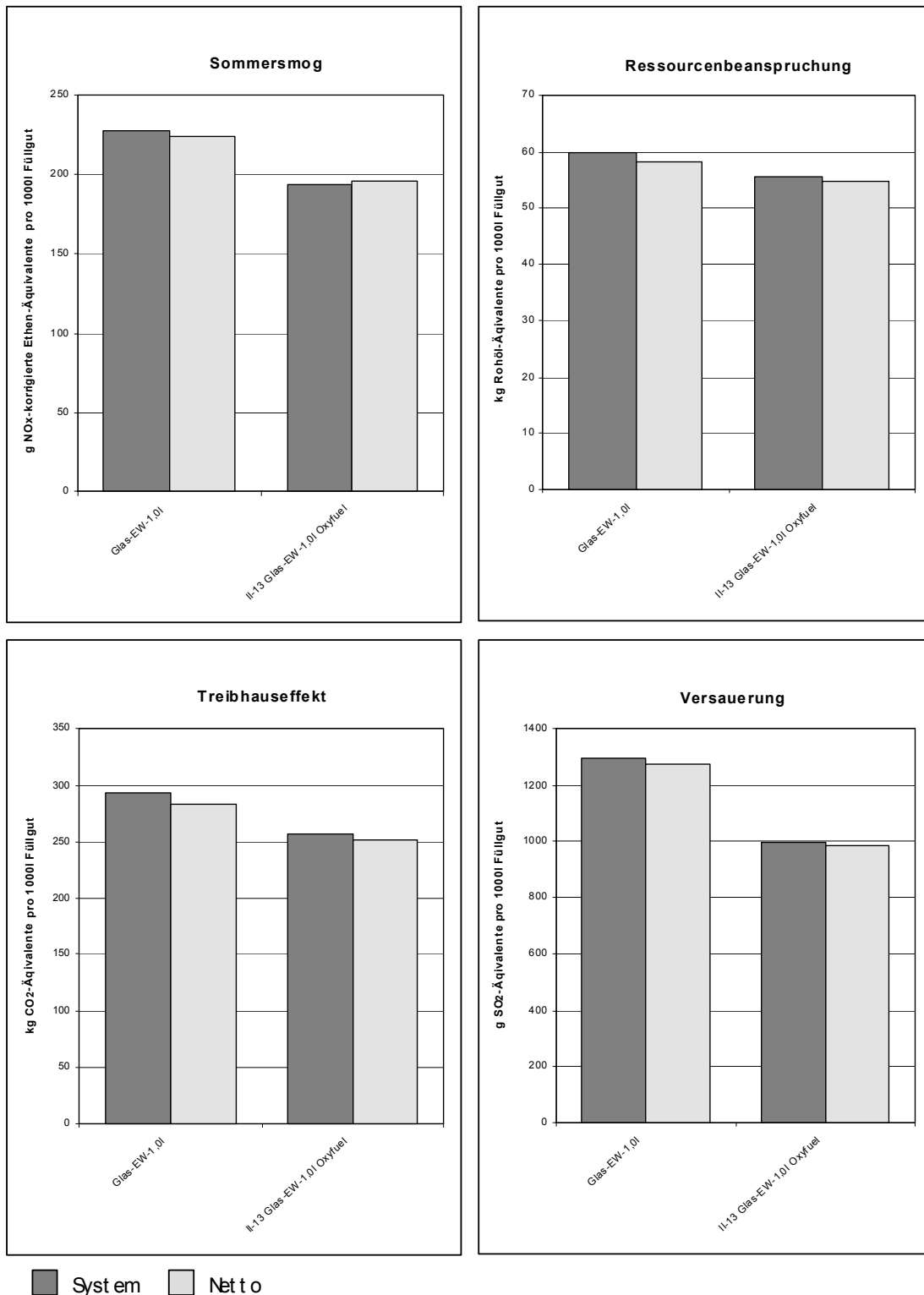


Abbildung 3-5: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Optimierungsszenario Glasflasche mit Schmelzwanne Typ „Oxyfuel“ (II)

3.3.2 Optimierungsszenario und Änderung der Rahmenbedingungen für die 1,5 l PET-Einwegflasche (35g Sixpack) via DSD (Abbildung 3-6)

Senkung des Flaschengewichtes um 10% und Erhöhung des Rezyklateinsatzes auf 50% (Szenario II-21)

Das Flaschengewicht wurde gegenüber dem Basisszenario (Stand 2000, Szenario II-5) um knapp 10% gesenkt, und die Flasche wird mit 50% Rezyklateinsatz hergestellt. Das Rezyklat wird in der Optimierungsbetrachtung im Closed-Loop verwertet.

Beide Änderungen lassen die potenziellen Umweltwirkungen bezogen auf 1000 l Füllgut aus der Herstellung von PET-Granulat aus Primärressourcen sinken. Die Gewichtsreduktion vermindert den Primär-PET-Verbrauch um 10%. Der Rezyklateinsatz vermindert den Primär-PET-Verbrauch auf 50% gegenüber 95% im Basisszenario.

Der im Vergleich zum Basisszenario geringere Bedarf an Primär-PET wirkt sich in den Kategorien terrestrisches Eutrophierungspotenzial, NO_x-korrigierter Sommersmog, Verbrauch knapper fossiler Ressourcen und Versauerung aus. Der Cut-Off-Wert sinkt hier um ca. 40%, der Nettowert um ca. 35%.

Das aquatische Eutrophierungspotenzial reduziert sich gegenüber dem Basisszenario in der gleichen Größenordnung. Ursache hierfür sind die Umweltbelastungen aus der PET-Aufbereitung.

Der Beitrag zum Treibhauseffekt reduziert sich sowohl beim Cut-Off als auch bei Nettowert um 20%. Die Reduktion ist beim Treibhauseffekt geringer, da hier die relativen Beiträge aus der Preform- und Flaschenherstellung größer sind als bei den anderen Kategorien.

Keine Änderungen gegenüber dem Basisszenario erfolgen bei den Naturraumbeanspruchungen. Dies ist für die Naturraumbeanspruchung Forst offensichtlich, da sich der Einsatz an Holz nicht ändert. Bei der Deponieraumbeanspruchung wirken zwei gegenläufige Effekte. Zum Einen reduziert sich das Flaschengewicht um 10%, wovon bei 74% Verwertung und 64% direkte Deponierung eine um 1,7% geringere Deponiebelegung resultiert. Zum Anderen fallen bei der PET-Aufbereitung Abfälle an, die diese Minderung kompensieren.

Die Recyclinggutschrift vermindert den Cut-Off-Wert in Wirkungskategorien, in denen sich die PET-Herstellung maßgeblich auswirkt, um ca. 5% (terrestrische Eutrophierung, NO_x-korrigierter Sommersmog, Versauerung). Die Gutschrift ist relativ gering, da nur rund 30% des zur Verwertung bereitgestellten PETs² in eine werkstoffliche Verwertung gehen. Beim Verbrauch knapper fossiler Ressourcen vermindert sich der Cut-Off-Wert um 15%, da auch die rohstoff-

² entspricht 24% der beim Verbraucher anfallenden Flaschen

liche Verwertung von PET den Primärrohstoff Rohöl einem Zweitnutzen zuführt.

Bei der aquatischen Eutrophierung erhöht sich der Nettowert gegenüber dem Cut-Off-Wert um 5%, da im Optimierungsszenario die Gutschrift für externe PET-Verwertung aufgrund der Verwertung im Closed-Loop deutlich geringer ist als im Basisszenario. Die Lastschrift für den Altpapiereinsatz kann im Optimierungsszenario daher nicht mehr durch die Gutschrift für externe PET-Verwertung kompensiert werden.

Bei der Inanspruchnahme von Deponiekapazität erfolgt methodenbedingt keine Gutschrift. Bei der Naturraumbeanspruchung Forst vermindert sich der Cut-Off-Wert durch die Recyclinggutschrift für verwertete Trays um fast 20%.

TASi-Szenario (Szenario II-26)

Da der gesamte Abfall zur Beseitigung vor der Deponierung verbrannt wird, sinkt die Inanspruchnahme von Deponiekapazität um über 80% gegenüber dem Basisszenario, in dem 64% des Abfalls zur Beseitigung direkt deponiert wird.

Infolge der Verbrennung von PET steigen die CO_{II}-Emissionen und damit der Beitrag zum Treibhauseffekt um 9% bei Cut-Off. Vermindert durch die Recyclinggutschrift für abgegebene Sekundärenergie aus der MVA steigt der Nettowert für den Treibhauseffekt um 5%. Die Recyclinggutschrift für abgegebene Sekundärenergie aus der MVA wirkt sich mit einer Verminderung des Nettowertes um 3% gegenüber dem Basisszenario auch beim Verbrauch fossiler Ressourcen aus. Die aquatische Eutrophierung verringert sich im gewählten Modellansatz in Abhängigkeit von der Masse des Deponiegutes

Der Einfluss der Recyclinggutschrift ändert sich gegenüber dem Basisszenario nur beim Treibhauseffekt und beim Ressourcenverbrauch, da hier die abgegebene Sekundärenergie aus der MVA wirkt. Die Recyclinggutschrift erhöht sich gegenüber dem Basisszenario um 2% bis 3% auf 25% des Cut-Off-Wertes beim Ressourcenverbrauch und auf 10% beim Treibhauseffekt.

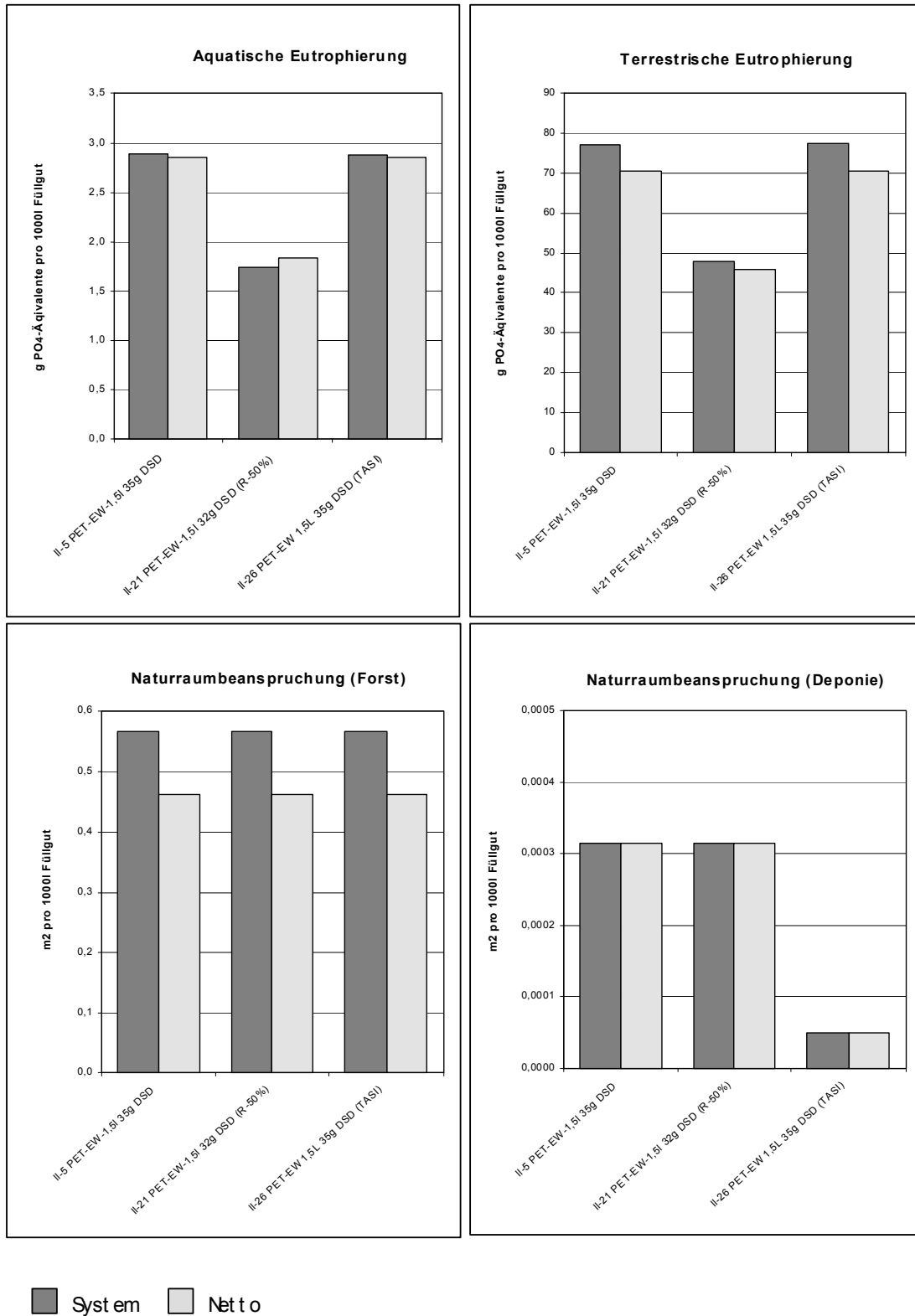


Abbildung 3-6: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Optimierungsszenario 1,5 l PET-Einwegflasche (Sixpack) (I)

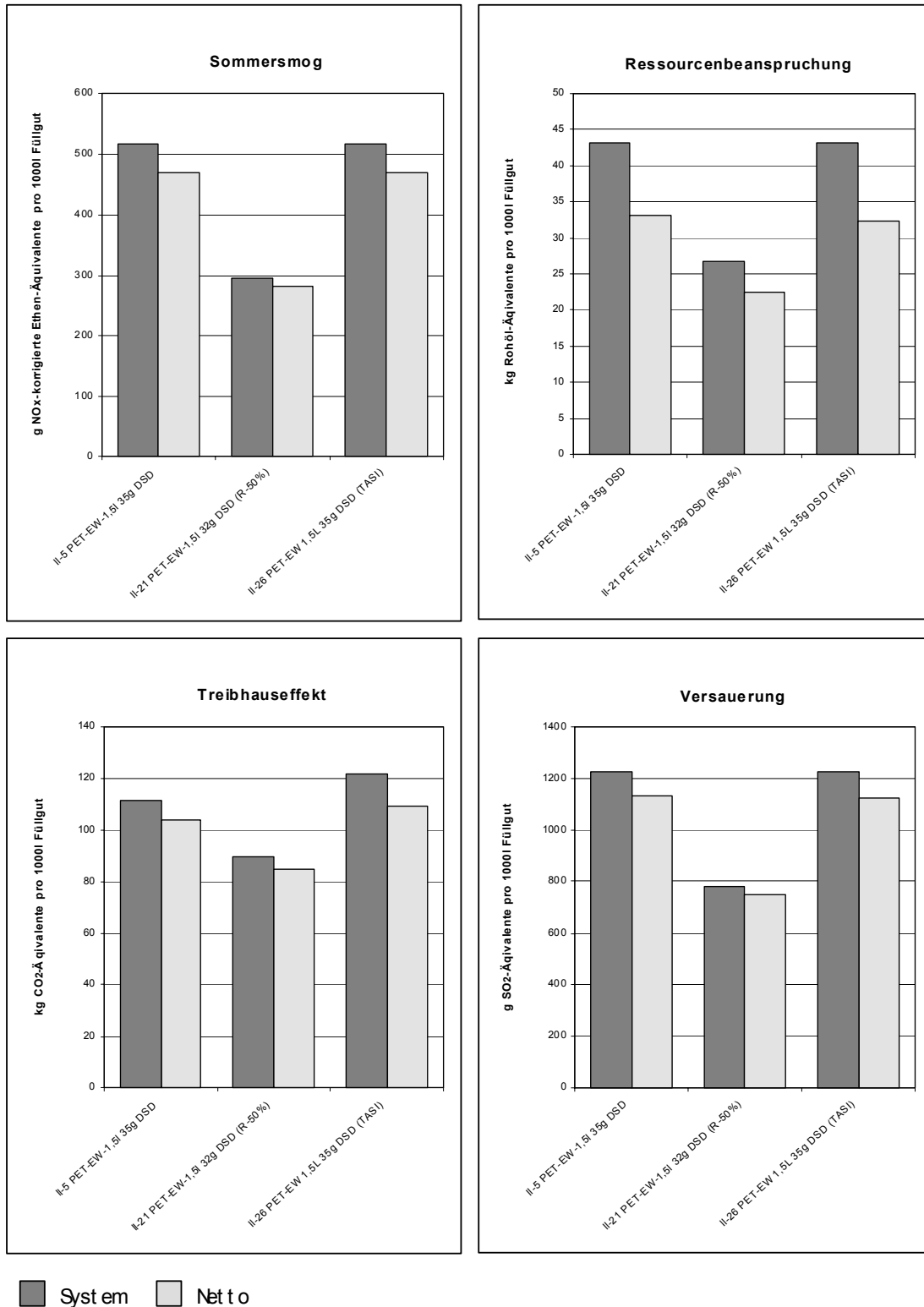


Abbildung 3-6: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Optimierungsszenario 1,5 l PET-Einwegflasche (Sixpack) (II)

3.3.3 Optimierungsszenarien und Änderung der Rahmenbedingungen für die 0,33 l Aluminiumdose (Abbildung 3-7)

Da der Farb-/Lackanteil der Dose bei sinkendem Dosengewicht steigt, wird in Phase 2 des Projektes die Herstellung des Lackes in den Lebensweg einbezogen. Zunächst erfolgt eine Erörterung der Unterschiede des Basisszenario aus Phase 1 mit dem neuen Basisszenario (Einbezug der Lackvorkette und neue Allokationsregel).

Der Vergleich der neuen Szenarien erfolgt zum neuen Basisszenario jeweils unter Einbezug der Lackvorkette.

Basisszenario mit Lackvorkette im Vergleich zum Basisszenario aus Phase 1 ohne Lackvorkette

Infolge des Einbezugs der Lackvorkette erhöhen sich die potenziellen Umweltwirkungen, die mit dem 0,33 l Aluminium-Dosensystem verbunden sind. Dies zeigen die Cut-Off-Werte, die um bis zu 6% bzw. bei der aquatischen Eutrophierung um 13% höher liegen als im Basisszenario ohne Lackvorkette.

Erhöhungen um bis zu 6% zeigen sich auch für die meisten Nettowerte. Eine Ausnahme macht die aquatische Eutrophierung mit einer Erhöhung um 40% und die Naturraumbeanspruchung Forst mit einer Erhöhung von über 100%. Die Ursache liegt hier allerdings nicht in der Lackvorkette sondern in der gegenüber Phase 1 geänderten Allokationsregel, die sich durch eine höhere Lastschrift³ für den Altpapiereinsatz in Trays bemerkbar macht.

Optimierung: Reduktion des Gewichtes des Dosenbody auf 9,1 g (Szenario 2/14)

Die optimierte Herstellung des Dosenbody bewirkt, dass die Umweltbelastungen aus der gesamten Aluminiumvorkette sinken. Um 15% bis 20% verminderte Umweltwirkungspotenziale zeigen sich in allen Kategorien mit Ausnahme der aquatischen Eutrophierung und der Naturraumbeanspruchung Forst. In letzteren kommt es nicht zu Veränderungen, da die Aluminiumvorkette hier keine bzw. nur minimale Umweltwirkungen hervorruft.

Ein deutlicher Einfluss von Recyclinggut-/lastschriften zeigt sich nur bei der aquatischen Eutrophierung (plus 55% zum Cut-Off-Wert) und der Naturraumbeanspruchung Forst (6-facher Cut-Off-Wert), da hier die Lastschrift für den Altpapiereinsatz im Tray wirkt.

³ 21% in Phase 1, 50% in Phase 2

Optimierung: Reduktion der Energie für die Schmelzflusselektrolyse auf 13 kWh/kg Primäraluminium (Szenario 2/15)

Der verminderte Energieeinsatz macht sich vor allem bei den durch die Stromerzeugung beeinflussten Emissionen bemerkbar und bewirkt geringere Kohlendioxid-, Schwefeloxid- und Stickoxidemissionen.

Die Auswirkungen des verminderten Energieeinsatzes zeigen sich beim Treibhauseffekt, der terrestrischen Eutrophierung, dem Einsatz fossiler Ressourcen und beim NO_x-korrigierten Sommersmog mit Verminderungen um 2% bis 4%.

Da der Anteil an Sekundäraluminium in der Dose relativ hoch ist, führt die Reduktion des Energieeinsatzes bei der Elektrolyse zur Herstellung von Primäraluminium nur zu einer relativ geringfügigen Verbesserung der Ergebnisse der Wirkungsabschätzung.

Ein deutlicher Einfluss von Recyclinggut-/lastschriften zeigt sich nur bei der aquatischen Eutrophierung und der Naturraumbeanspruchung Forst, da hier die Lastschrift für den Altpapiereinsatz im Tray wirkt.

Optimierung: Dosendeckel mit Sekundär-Aluminiumeinsatz bei einer Verwertungsquote von 86% (Szenario 2/16)

Infolge der höheren Verwertungsquote und des internen Sekundärrohstoffkreislaufes sinken die potenziellen Umweltauswirkungen gegenüber dem Basisszenario. Aufgrund der höheren Verwertungsquote ist der Effekt mit knapp 35% Verminderung gegenüber dem Basisszenario bei der Einsparung an Deponieraum am höchsten. In den Kategorien Versauerung, Treibhauseffekt und Einsatz fossiler Ressourcen sinken die Werte v.a. infolge der ersetzten Primäraluminiumherstellung und aufgrund der Verwertung von Aluminium im Closed-Loop um rund 13% und in den Kategorien terrestrische Eutrophierung und NO_x-korrigierter Sommersmog um rund 5%.

Keine relevanten Veränderungen erfolgen bei der aquatischen Eutrophierung und der Naturraumbeanspruchung Forst, da die hier wirkenden Emissionen v.a. mit dem Zellstoffeinsatz für Trays zusammenhängen. Allerdings steigen die Werte inkl. Recyclinglastschrift aufgrund der Lastschrift für den Altpapiereinsatz im Tray an.

Änderung der Rahmenbedingungen: Erhöhung des Wasserkraftanteiles bei der Herstellung von Primär-Aluminium (Szenario II-22)

Unter Beibehaltung realistischer Energie- und Importstrukturen steigt unter der Annahme, dass für das in Russland hergestellte Aluminium nur Wasserkraft in der Aluminiumschmelze verwendet würde, der Wasserkraftanteil um rund 5% und der Kohleneinsatz sinkt um rund 5% gegenüber dem Basisszenario (siehe Tab. 2-30). Allerdings wird im Basisszenario nur Steinkohleneinsatz bilanziert, während im Sensitivitätsszenario 5% Braunkohleneinsatz enthalten sind.

Durch die Änderung verbessern sich die Ergebnisse mit Ausnahme der Inanspruchnahme von Deponiekapazität um bis zu 2% gegenüber dem Basisszenario. Die Deponieinanspruchnahme steigt um 2%, da das Braunkohlemodul mehr Aschen und Schlacken ausweist als das Steinkohlemodul.

Änderung der Rahmenbedingungen: Verminderung des Wasserkraftanteiles bei der Herstellung von Primär-Aluminium (Szenario II-23)

Unter Beibehaltung realistischer Energie- und Importstrukturen steigt unter der Annahme, dass für das in Russland hergestellte Aluminium nur Kohle in der Aluminiumschmelze verwendet würde, der Steinkohleneinsatz um rund 10% und der Braunkohleneinsatz um 5% gegenüber dem Basisszenario, während der Wasserkraftanteil um 14% sinkt (siehe Tab. 2-30).

Durch die Änderung erhöht sich der Treibhauseffekt um 10% gegenüber dem Basisszenario. Das terrestrische Eutrophierungspotenzial steigt um 4%, die Inanspruchnahme knapper fossiler Ressourcen, das Versauerungspotenzial, das Sommersmogpotenzial und die Inanspruchnahme von Deponiekapazität um 2% bis 3%. Unverändert bleibt die Naturraumbeanspruchung Forst.

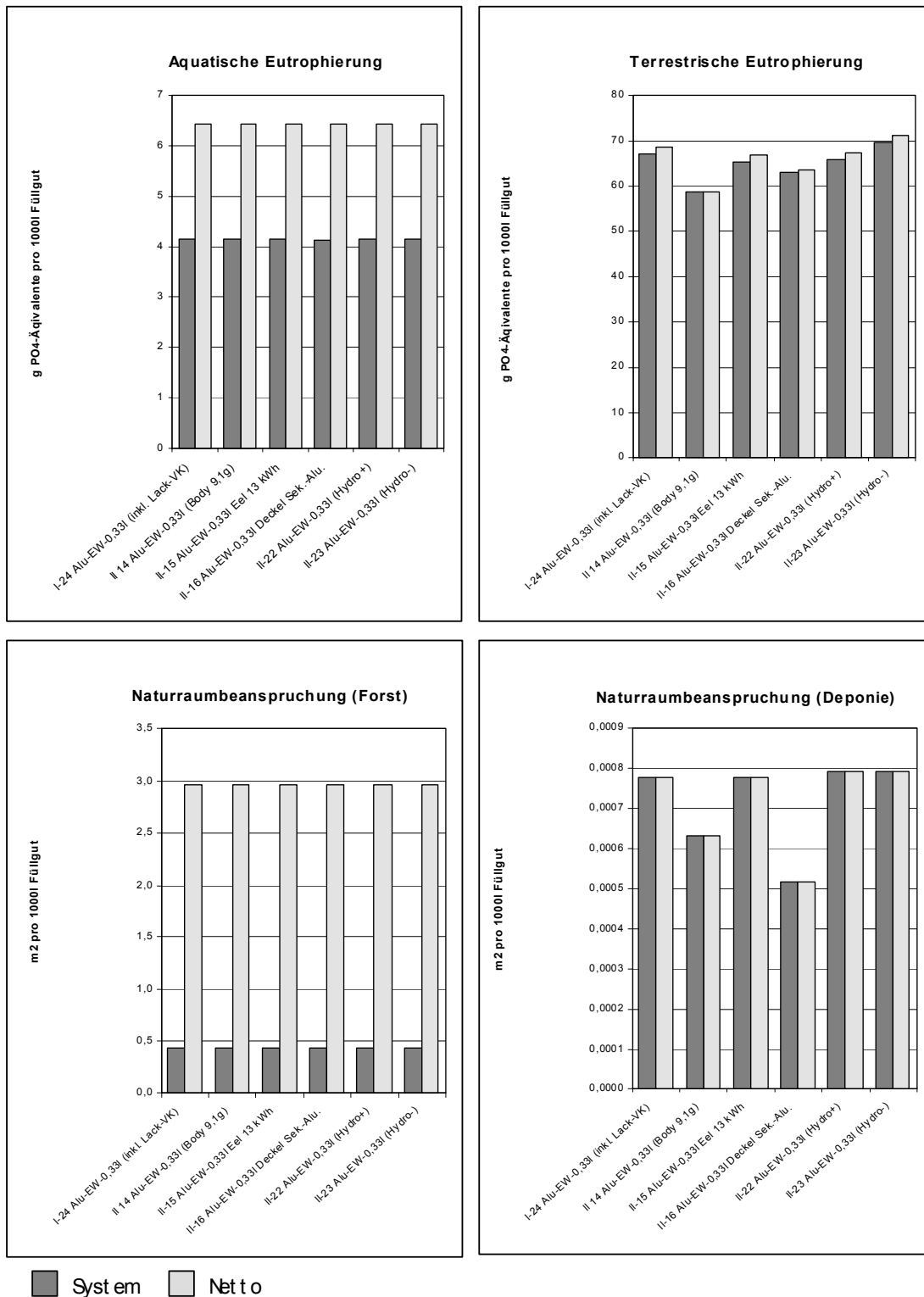


Abbildung 3-7: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Optimierungsszenarien
Änderung der Rahmenbedingungen der 0,33 l Aluminiumdose (I)

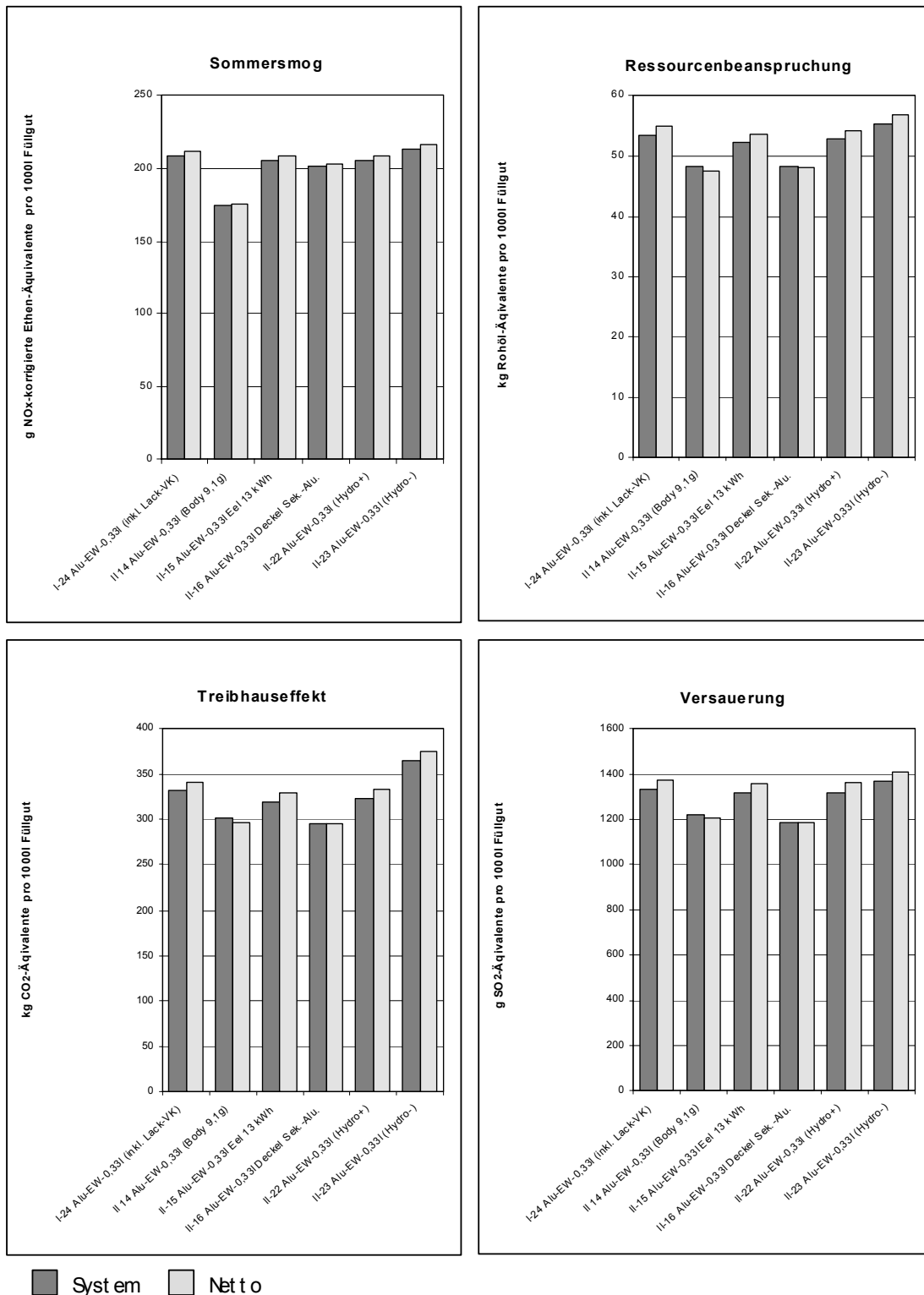


Abbildung 3-7: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Optimierungsszenarien und Änderung der Rahmenbedingungen der 0,33 l Aluminiumdose (II)

3.3.4 Optimierungsszenarien und Änderung der Rahmenbedingungen für die 0,33 l Weißblechdose (Abbildung 3-8)

Da der Farb-/Lackanteil der Dose bei sinkendem Dosengewicht steigt, wird in Phase 2 die Herstellung des Lackes in den Lebensweg einbezogen. Der Vergleich der Optimierungsszenarien zu den neuen Szenarien erfolgt jeweils unter Einbezug der Lackvorkette.

Vorab wird der Einfluss der Lackvorkette auf die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung dargestellt.

Basisszenario mit Lackvorkette im Vergleich zum Basisszenario aus Phase 1 ohne Lackvorkette

Die Cut-Off-Werte zeigen, wie sich die potenziellen Umweltwirkungen, die mit dem 0,33 l Weißblech-Dosensystem verbunden sind, durch den Einbezug der Lackvorkette erhöhen. Beim NO_x-korrigierten Sommersmog erhöht sich der Wert um 10%, in den Kategorien aquatische und terrestrische Eutrophierung, Einsatz fossiler Ressourcen und Versauerung um ca. 5% und beim Treibhauseffekt um 2%. In den Naturraumbeanspruchungen wirkt sich die Bilanzierung der Lackvorkette nicht aus.

Stärkere Veränderungen zum Basisszenario zeigen sich bei den Nettowerten, was allerdings nicht auf die Lackvorkette, sondern auf die gegenüber Phase 1 geänderte Allokationsregel zurückzuführen ist. Die geänderte Allokationsregel wirkt sich v.a. bei der Naturrauminanspruchnahme Forst und der aquatischen Eutrophierung aus, da die Lastschrift für den Altpapiereinsatz in Trays in Phase 2 höher ist als in Phase 1.

Optimierung: Reduktion des Gewichtes des Dosenbody auf 19,4 g (Szenario 2/17)

Die optimierte Herstellung des Dosenbody bewirkt, dass die Umweltbelastungen aus der gesamten Weißblechvorkette sinken. In allen Kategorien mit Ausnahme der Naturraumbeanspruchung Forst vermindern sich die potenziellen Umweltwirkungen um 15% bis 25% gegenüber dem Basisszenario (inkl. Lackvorkette). Dies gilt sowohl für Cut-Off als auch für das Ergebnis inkl. Recyclinggut-/lastschriften.

Optimierung: Dosendeckel mit Sekundär-Aluminiumeinsatz (Szenario 2/18)

Wenn der Dosendeckel mit Anteilen von Sekundäraluminium hergestellt wird, vermindern sich die Umweltwirkungen aus der Primäraluminiumherstellung. Beim Cut-Off kommt die Einsparung voll zum Tragen, wird aber in den Nettowerten durch die Lastschrift für den Sekundäraluminiumeinsatz auf die Hälfte reduziert.

Die Umweltbelastungen der Primäraluminiumherstellung tragen wesentlich zur Höhe des Ressourcenverbrauches, zum Treibhauseffekt und zur Versauerung bei. Bei den Cut-Off-Werten kommt es in diesen Kategorien zu Verbesserungen um ca. 5%. Unter Berücksichtigung

der Recyclinglastschrift für den Einsatz von Sekundäraluminium liegt die Verbesserung gegenüber dem Basisszenario bei den Nettowerten um 2% bis 3%. Geringere Verbesserungen treten bei der terrestrischen Eutrophierung und beim NO_x-korrigierten Sommersmog auf, die im Nettowert jedoch nur noch mit minus 1% durchschlagen.

Im Vergleich zum Basisszenario erhöht sich die Recyclinglastschrift bei den obengenannten Wirkungskategorien um 1% bis 2%.

Änderung der Rahmenbedingungen: TASI-Szenario (Szenario II-27)

Alle Abfälle werden vor der Deponierung verbrannt. Bei der Weißblechdose erhöht sich durch die Schrottabcheidung der Müllverbrennungsanlagen gleichzeitig die Verwertungsquote und damit die Recyclinglastschrift. Mit der erhöhten Recyclinglastschrift geht eine erhöhte Recyclinglastschrift für das Einschmelzen der erhöhten Schrottmengen (Aufbereitung) einher.

Die Entsorgung nach TASI wirkt bei der Inanspruchnahme von Deponiekapazität mit minus 87% gegenüber dem Basisszenario am stärksten. Die übrigen Nettowerte verbessern sich um 1% bis 2%. Eine Ausnahme macht die Naturraumbeanspruchung Forst, in der keine Auswirkungen auftreten.

Bei den Cut-Off-Werten wirkt sich die geänderte Abfallbeseitigung mit Ausnahme der Deponieraumbelegung nicht aus, da der Einsatz von Sekundärenergieträgern nicht belastet wird.

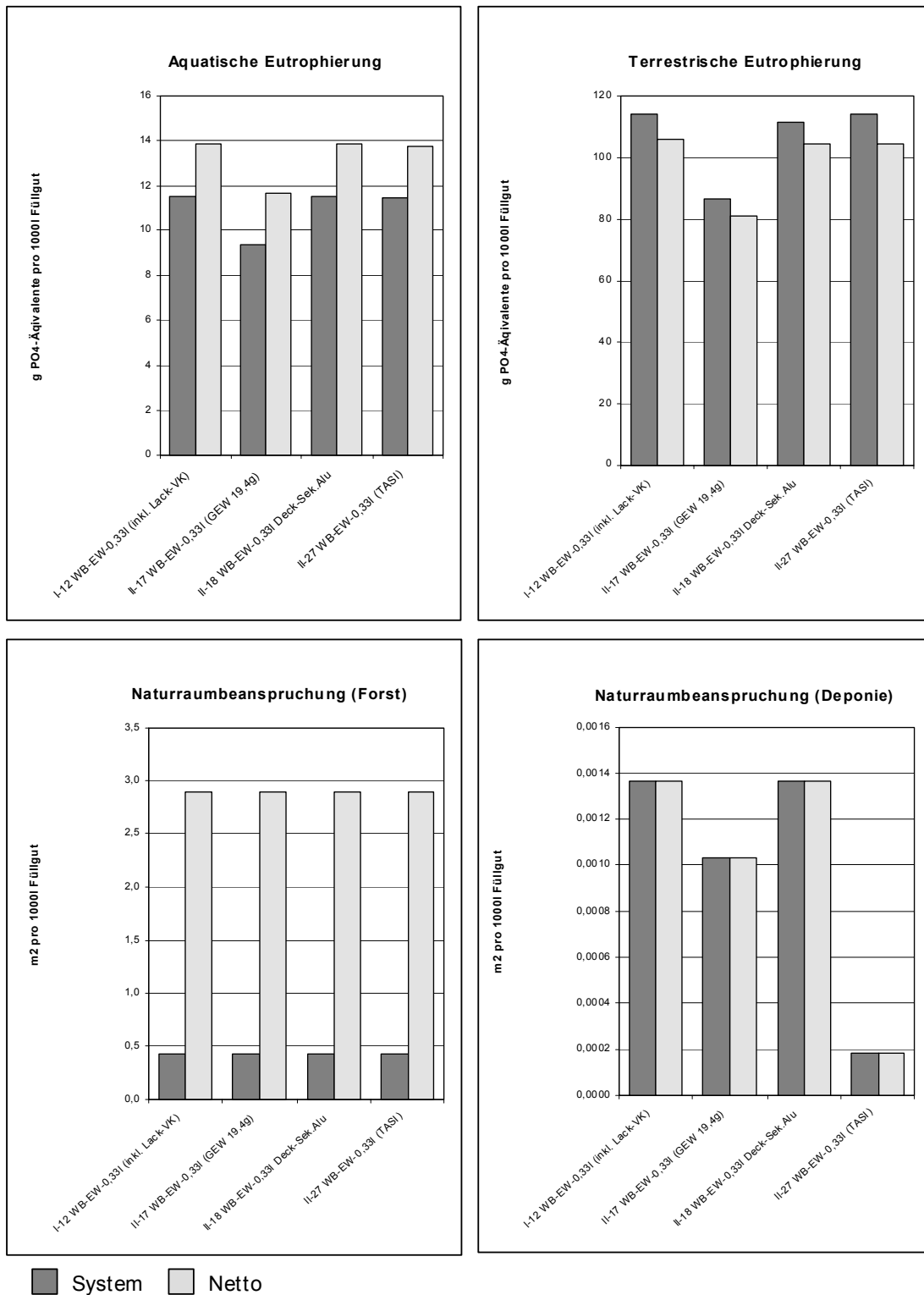


Abbildung 3-8: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Optimierungsszenarien und Änderung der Rahmenbedingungen der 0,33 l Weißblechdose (I)

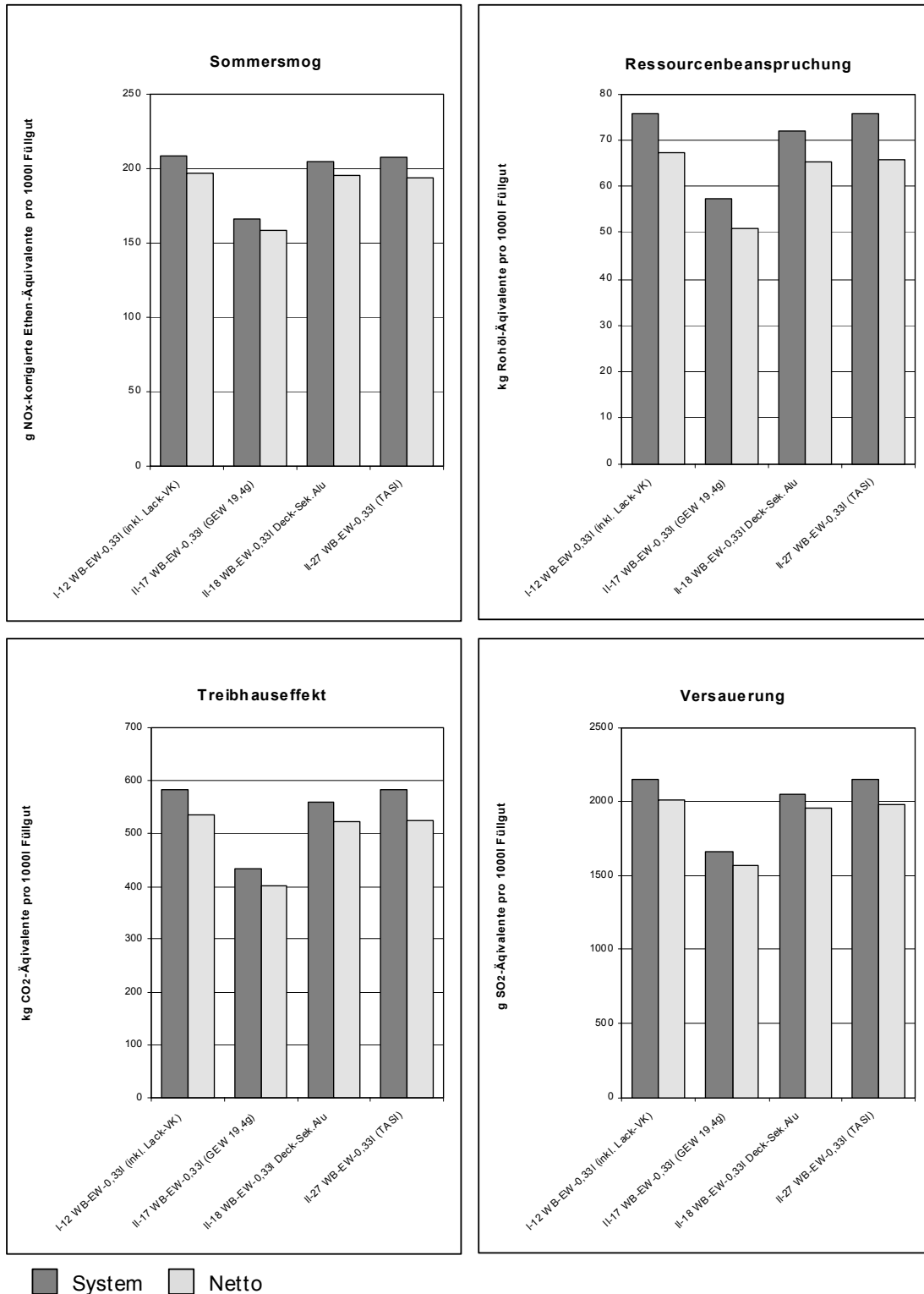


Abbildung 3-8: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Optimierungsszenarien und Änderung der Rahmenbedingungen der 0,33 l Weißblechdose (II)

3.3.5 Optimierungsszenarien und Änderung der Rahmenbedingungen für den 1,0 l Getränkekarton – (Abbildung 3-9)

Basisszenario ohne Sekundäraluminiumeinsatz im Vergleich zum Basisszenario aus Phase 1 mit Sekundäraluminiumeinsatz

In Phase 1 wurde die Aluminiumfolie im Verbundkarton mit einem Anteil an Sekundäraluminium bilanziert. Die in der Zwischenzeit gewonnenen Erkenntnisse weisen darauf hin, dass eher Folien, die ausschließlich aus Primäraluminium hergestellt werden, zum Einsatz kommen. Daher wird jetzt ein neues Basisszenario ohne Sekundäraluminiumeinsatz berechnet.

Bei den Ergebnissen mit Recyclinggut-/lastschrift ergeben sich durch diese Änderung nur minimale Veränderungen. Davon abweichend zeigen die Werte der aquatischen Eutrophierung und Naturraumbeanspruchung Forst eine Verminderung um rund 20%, wobei hier die Ursache in der neuen Allokationsregel liegt, wonach der zur Verwertung abgegebene Getränkekarton eine Gutschrift von 50% erhält. Die Lastschrift für den Altpapiereinsatz im Tray wird durch die Gutschrift überkompensiert.

Beim Cut-Off erhält das System das benötigte Sekundäraluminium lastenfrei und es wird nur die Sekundäraluminiumaufbereitung bilanziert. Der Unterschied zum Szenario mit Sekundäraluminiumeinsatz ist auch hier gering. Die größten Erhöhungen der potenziellen Umweltwirkungen erfolgen beim Verbrauch fossiler Ressourcen, Treibhauseffekt und Versauerung und betragen ca. 5%.⁴

Optimierung: Reduktion des Gewichtes auf 26 g (Szenario 2/19)

Die Gewichtsreduktion gegenüber dem Basisszenario beträgt 10%. Die Nettowerte und auch die Cut-Off-Werte der potenziellen Umweltwirkungen vermindern sich gegenüber dem Basisszenario zwischen 4% und 7%. Bei der Naturraumbeanspruchung Deponie werden 10% Reduktion erreicht.

Die Recyclinggutschrift vermindert sich gegenüber dem Basisszenario nur minimal.

Optimierung: PE/Al-Rejektverwertung mit sortenreiner Aluminium-Rückgewinnung (Szenario 2/20)

Im Basisszenario in Phase 1 wurde entsprechend dem Stand der Verbundkartonverwertung zu Beginn des Projektes keine Rejektverwertung bilanziert. Bei dem in dieser Optimierungsvariante betrachteten Verfahren kann im Gegensatz dazu PE und Aluminium verwertet werden.

⁴ Vergleicht man die Ergebnisse der Phase 1 (Getränkekarton mit Sekundäraluminium) mit dem Basisszenario, das in Phase 2 zugrunde gelegt wird (Getränkekarton ohne Sekundäraluminium) zeigt sich, dass die Zunahme der potenziellen Umweltwirkungen im Nettowert nicht durchschlägt, da durch die geänderte Allokationsregel die

Für die gewonnenen Sekundärrohstoffe wird in der Ökobilanz eine Recyclinggutschrift erteilt. Auf den Wert für Cut-Off wirkt sich diese Optimierung nicht aus.

Die PE/Al-Rejektverwertung über Vergasung führt insbesondere in den Kategorien Beanspruchung knapper fossiler Ressourcen, Treibhauseffekt und Versauerung in den Ergebnissen mit Recyclinggut-/lastschrift zu Verringerungen der potenziellen Umweltbelastung um 10% bis 15%. In den anderen Kategorien beträgt die Veränderung minus 1% bis plus 7%.

Der Effekt wird v.a. durch die Gutschrift für die abgegebenen Sekundärrohstoffe hervorgerufen. Bei der aquatischen Eutrophierung und der Naturraumbeanspruchung Forst überwiegt die Lastschrift für den Altpapiereinsatz im Tray.

Änderung der Rahmenbedingungen: Verwertungsquote 64% (Szenario 2/24)

Die Verwertungsquote wird von 59% im Basisszenario auf 64% erhöht. Dadurch verringert sich die zu beseitigende Menge an Getränkekarton; es wird Deponiekapazität eingespart und mit der Deponierung von Papier verbundene Emissionen, v.a. Methan vermieden. Die Inanspruchnahme von Deponiekapazität sinkt gegenüber dem Basisszenario um 11%. Der Cut-Off-Wert beim Treibhauseffekt und beim NO_x-korrigierten Sommersmog um 1% bis 2%. In gleicher Größenordnung reduzieren sich die Nettowerte.

Die Steigerung der Verwertungsquote führt zu einer höheren Menge an abgegebenem Fasermaterial und damit zu einer höheren Gutschrift für eingesparte Herstellung von Sulfatzellstoff. Dies macht sich v.a. bei der Naturraumbeanspruchung Forst und der aquatischen Eutrophierung bemerkbar. Der Nettowert verringert sich gegenüber dem Basisszenario um 4%.

Die Verminderung der Getränkekartonmenge, die in der MVA verbrannt wird, bewirkt eine Verminderung der abgegebenen Sekundärenergie und senkt so die Recyclinggutschrift in den Kategorien Ressourcenverbrauch und Treibhauseffekt geringfügig (bis 3%). Dies schlägt auf den Nettowert jedoch nicht durch.

Der Einfluss der Recyclinggut-/lastschriften auf die Ergebnisse erhöht sich gegenüber dem Basisszenario um weitere 3% in den Kategorien aquatische Eutrophierung und Naturraumbeanspruchung Forst und liegt bei rund 30%. In den übrigen Kategorien liegt die Änderung bei maximal 1%, wobei der Einfluss der Recyclinggut-/lastschriften auf die Ergebnisse maximal 8% beträgt.

Änderung der Rahmenbedingungen: TASi-Szenario (Szenario II-25)

Bei vollständiger Verbrennung der zu beseitigenden Getränkekarton-Abfälle sinkt die Inanspruchnahme von Deponiekapazität und die Emissionen der Deponierung von Papier; die in der MVA zurückgewonnene Energiemenge steigt.

potenziellen Umweltwirkungen etwas sinken.

Die Deponiebelegung sinkt um 95% gegenüber dem Basisszenario. Die verminderten Emissionen der Deponierung, v.a. Methan, senken den Cut-Off-Wert beim Treibhauseffekt um 8% und beim NOx-korrigierter Sommersmog um 3%. Die Nettowerte dieser Kategorien vermindern sich noch stärker, da zusätzlich die Recyclinggutschrift für die in der MVA zurückgewonnene Energiemenge steigt. Die Gutschrift wirkt ferner in den Kategorien Ressourcenverbrauch und Versauerung. Der Nettowert des Treibhauseffektes sinkt um 15% gegenüber dem Basis-szenario, in den anderen genannten Kategorien um ca. 5%.

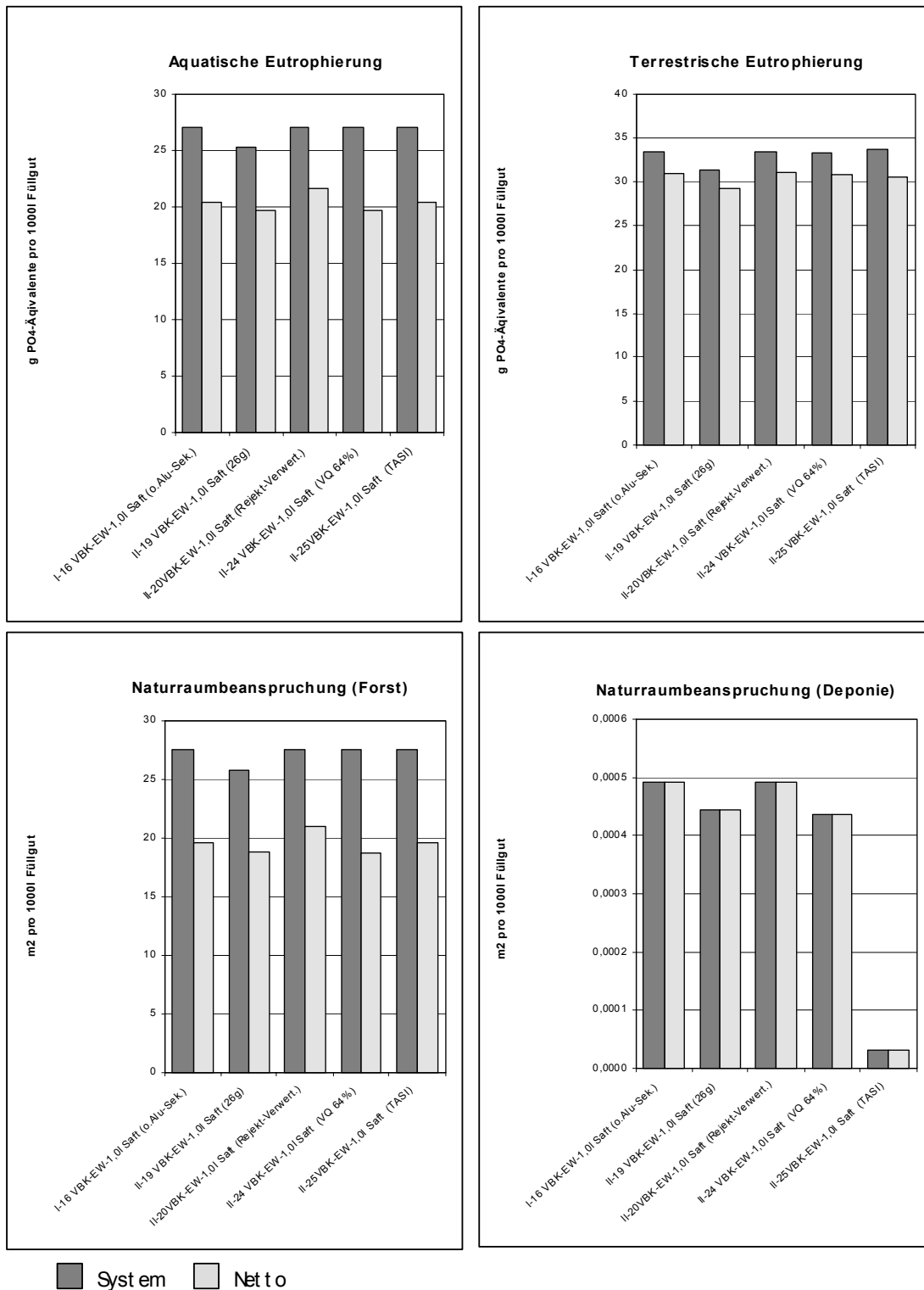


Abbildung 3-9: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Optimierungsszenarien und Änderung der Rahmenbedingungen des 1,0 l Getränkekartons (I)

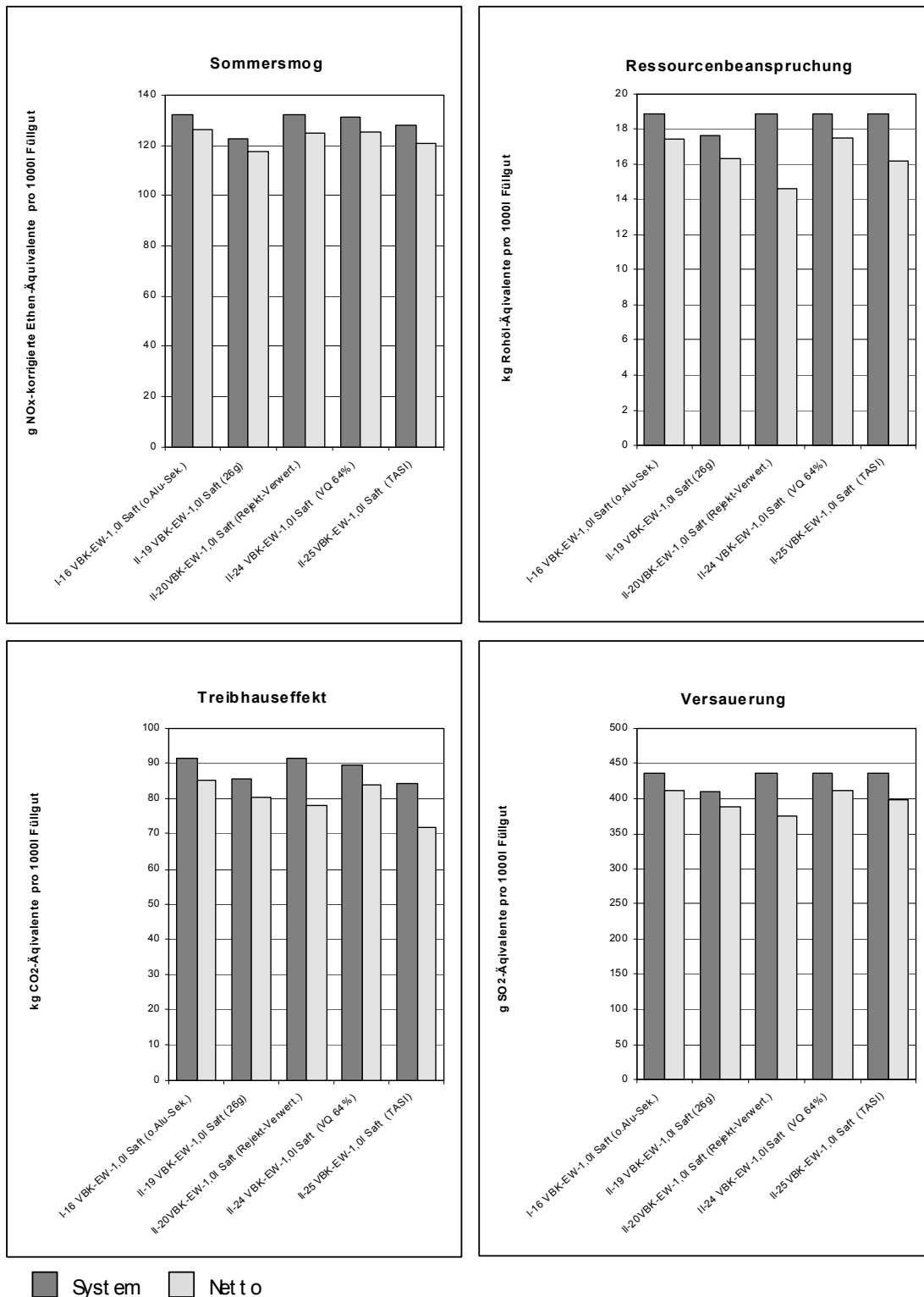


Abbildung 3-9: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für Optimierungsszenarien und Änderung der Rahmenbedingungen des 1,0 l Getränkekartons (II)

3.3.6 Euro-Normen für Lkw (Abbildung 3-10, Abbildung 3-11)

Mit der Einführung der EURO-Normen für Lkws verringern sich für eine prospektive Lkw-Flotte in 2005 der Dieserverbrauch um 12% und die für die Wirkungsabschätzung relevanten Emissionen NMVOC um 49%, Stickoxide NO_x um 46% und Schwefeldioxid SO₂ um 36% gegenüber dem bilanzierten Stand 1996 (siehe Kap. 2.3.4).

Die Auswirkungen der verringerten Emissionen zeigen sich in den Kategorien NO_x-korrigierter Sommersmog (NMVOC, NO_x), terrestrische Eutrophierung (NO_x) und Versauerung (NO_x, SO₂). Der verringerte Kraftstoffverbrauch wirkt auf den Ressourcenverbrauch und durch den damit verbundenen geringeren Kohlendioxidausstoß beim Treibhauseffekt.

Die Höhe der Gut- und Lastschriften werden durch die Höhe des Dieserverbrauchs und der Lkw-Emissionen nicht beeinflusst.

0.7 I Glas-Mehrwegsystem (Szenario II-28)

In den Kategorien NO_x-korrigierter Sommersmog und terrestrische Eutrophierung sinken die Nettowerte der potenziellen Umweltwirkungen um rund 35%, bei der Versauerung um ca. 25% gegenüber dem Stand 1996.

Der verminderte Diesekraftstoffverbrauch bewirkt beim Ressourcenverbrauch und beim Treibhauseffekt eine Minderung um gut 5%.

Die deutlichen Auswirkungen der Euro-Normen sind auf das ungünstige Verhältnis von Füllgut zu Verpackung zurückzuführen. Die Verpackung macht ca. 50% des Palettengewichtes aus. Entsprechend höher sind der Kraftstoffverbrauch und die Emissionen gegenüber einem geringer mit Verpackung beladenen Lkw.

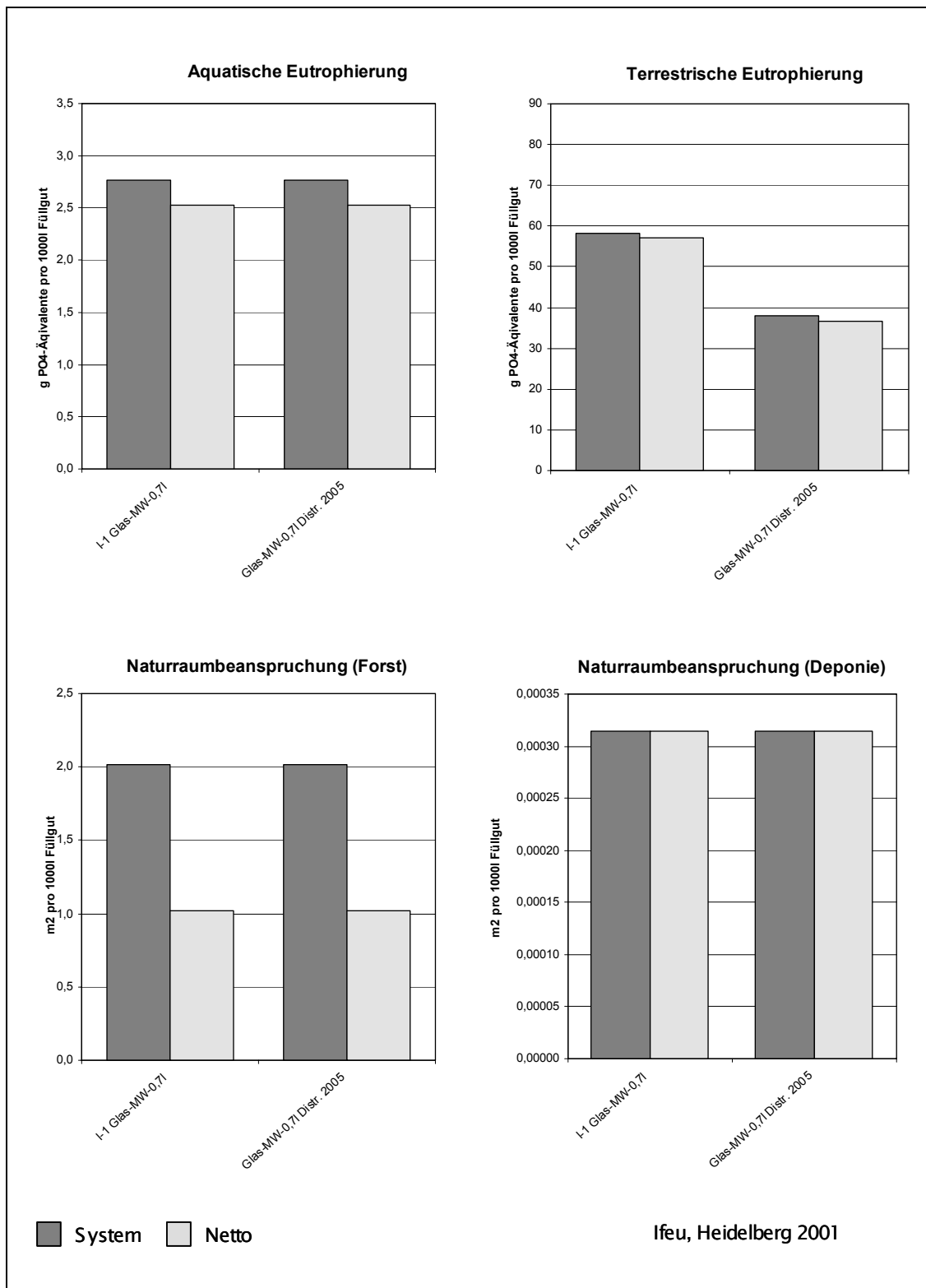


Abbildung 3-10: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für eine aufgrund der Einführung der Euro-Normen für Lkw veränderten Lkw-Flotte – Glas-Mehrweg (I)

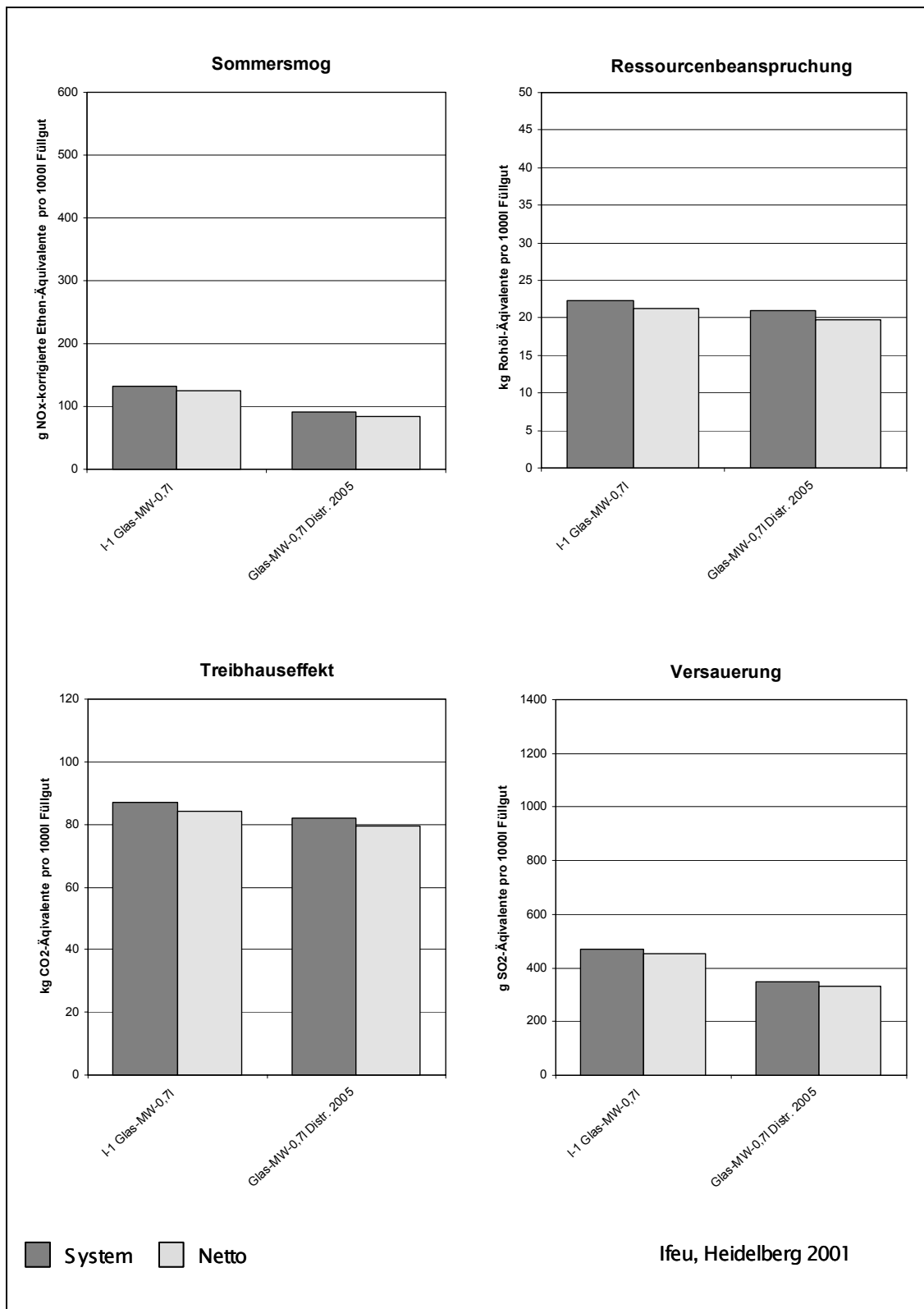


Abbildung 3-10: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für eine aufgrund der Einführung der Euro-Normen für Lkw veränderten Lkw-Flotte – Glas-Mehrweg (II)

1,5 l PET-Rücklaufsystem (35 g Einwegflasche im Mehrwegkasten SK) (Szenario II-29a)

Bei der terrestrischen Eutrophierung sinkt der Nettowert um knapp 10%, in den Kategorien NO_x-korrigierter Sommersmog und Versauerung um ca. 5% gegenüber dem Stand 1996.

Der verminderte Kraftstoffverbrauch macht sich mit minus 1% beim Ressourcenverbrauch und beim Treibhauseffekt praktisch nicht bemerkbar.

Im Vergleich zum 0,7 l Glas-Mehrwegsystem werden zur Auslieferung der gleichen Getränkemenge für das 1,5 l PET-Rücklaufsystem im Durchschnitt⁵ nur 60% der Touren benötigt. Der Verpackungsanteil pro Palettenladung beträgt 15 Gew.-%.

1,5 l PET-Einwegsystem (35g via DSD) (Szenario II-29b)

Aufgrund des mit 6% sehr geringen Verpackungsgewichtes bezogen auf Palettenladung zeigen die Optimierungen beim Kraftstoffverbrauch und bei den Emissionen hier fast keinen Einfluss auf die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung. Bei der terrestrischen Eutrophierung liegt die Verbesserung bei 2% gegenüber dem Stand 1996. In den anderen betroffenen Kategorien bei 1% und weniger.

⁵ Der Unterschied liegt bei 50% bis 60% in Abhängigkeit vom Lkw-Typ.

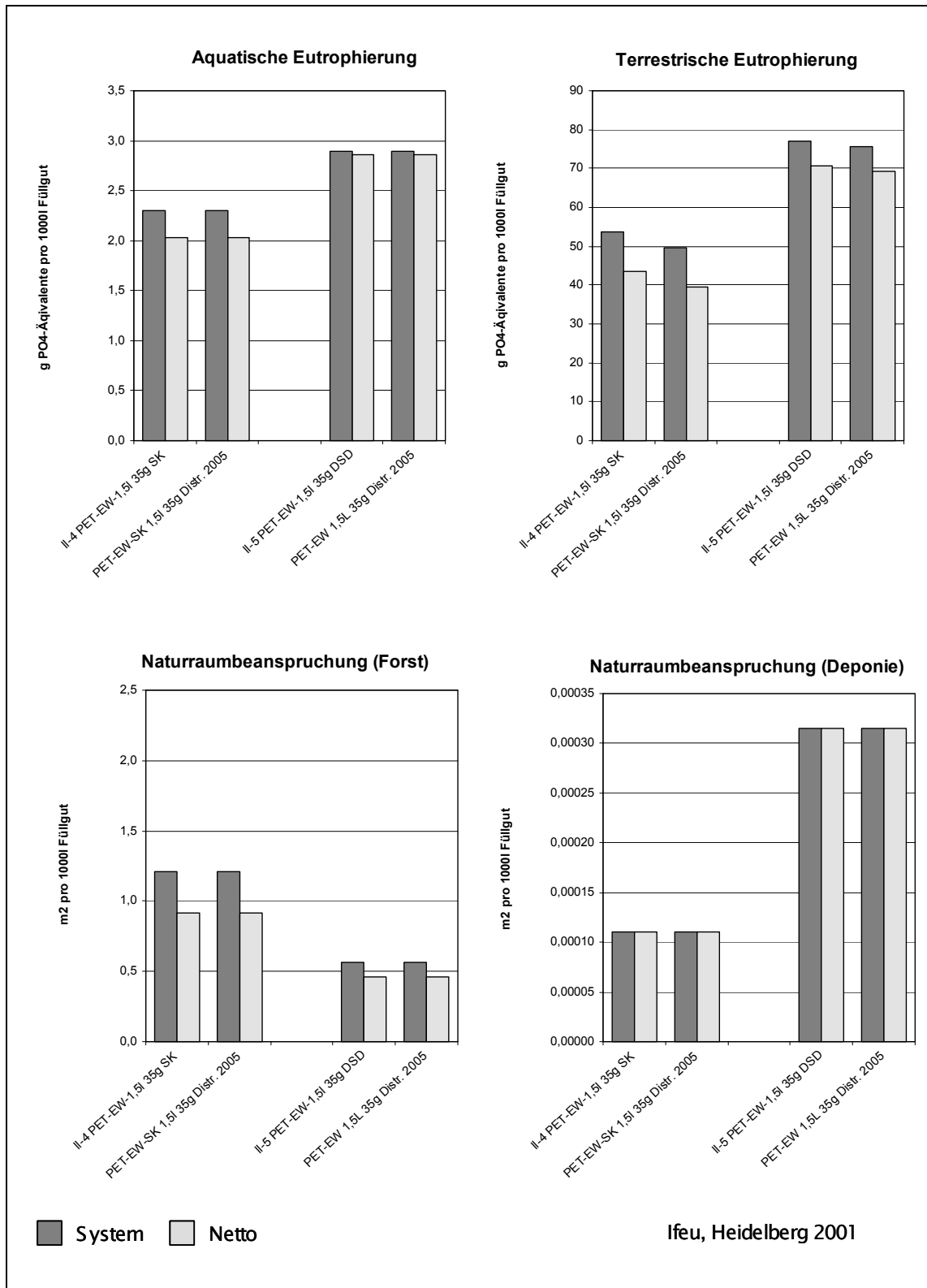


Abbildung 3-11: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für eine aufgrund der Einführung der Euro-Normen für Lkw veränderten Lkw-Flotte – PET-Systeme (I)

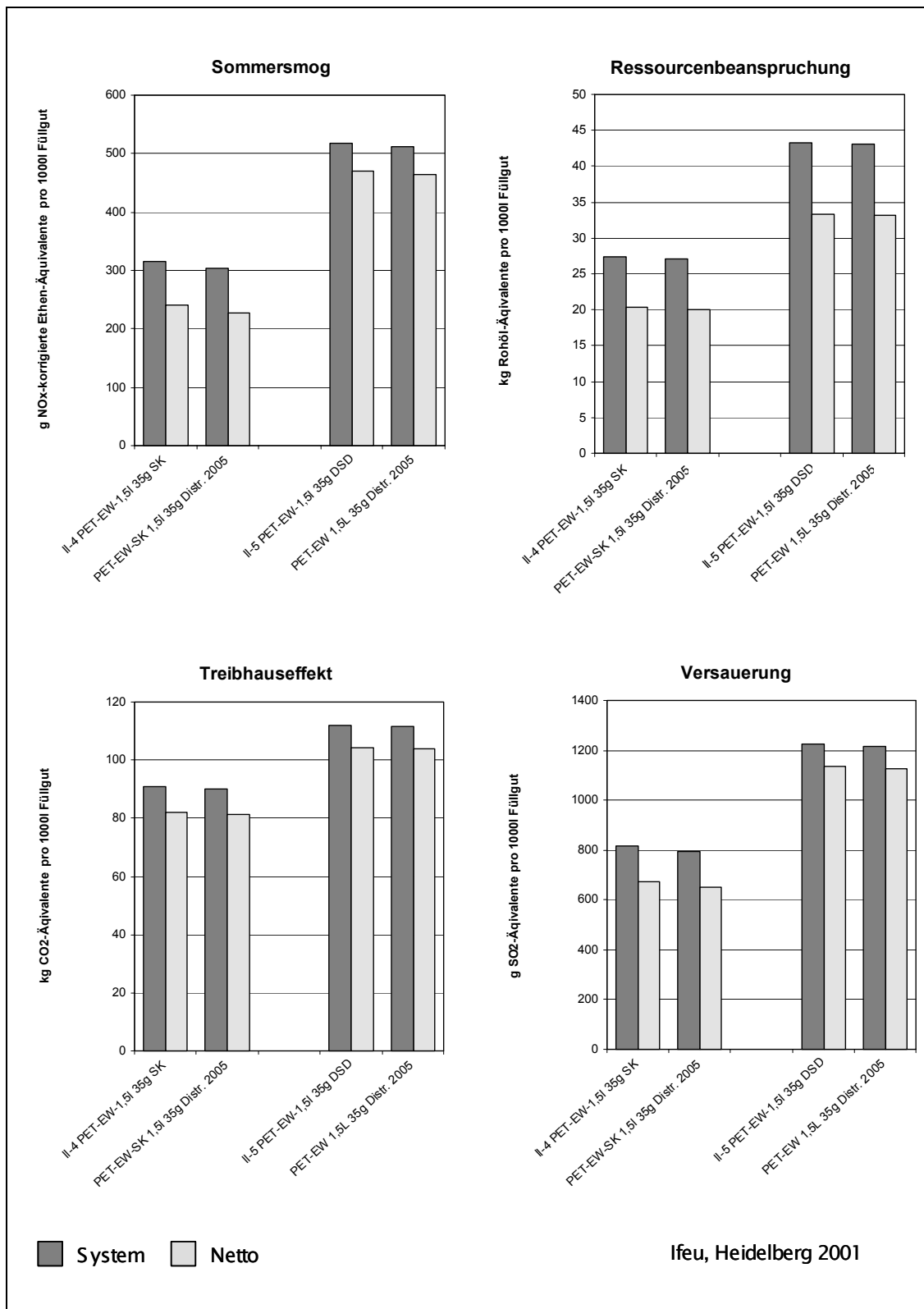


Abbildung 3-11: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für eine aufgrund der Einführung der Euro-Normen für Lkw veränderten Lkw-Flotte – PET-Systeme (II)

3.4 Einbeziehung des Füllgutes bei der Distribution

(Abbildung 3-12 ff)

Der Einfluss der Einbeziehung des Füllgutes auf die Ergebnisse wurde für drei Verpackungssysteme untersucht:

- 0,7 l Glas-Mehrwegsystem – GDB⁶ (System I-1)
- 1,5 l PET Rücklaufsystem (35 g Einwegflasche im Mehrwegkasten SK) (System II-4)
- 1,5 l PET-Einwegsystem (Sixpack-Schrumpfpack) (35g DSD) (System II-5)

Die Umweltwirkungspotenziale der Distribution wurden unter Einbezug des Füllgutes und für 3 Distributionsentfernungen berechnet. Der mittlere Wert der Entfernungen gibt die durchschnittliche Entfernung (einfache Fahrt) und die Distributionsstrukturen für den Bereich Mineralwasser Vorratskauf im Jahre 1996 wieder (siehe Tab. 2-35). „Distribution, nah“ entspricht der mittleren Distributionsentfernung kleiner Brunnenbetriebe (Abfüllung < 50 Mio. l pro Jahr), „Distribution, fern“ der mittleren Distributionsentfernung großer Brunnenbetriebe (siehe Tabelle 2-36).

Insgesamt liegen folgende Ergebnisse vor

- Nettoergebnisse für das Verpackungssystem nur für die Verpackung, (dargestellt im Basisszenario I-1, II-4, II-5)
- Nettoergebnisse für das Verpackungssystem unter Einbezug des Füllgutes in der Distribution (Verpackung + Füllgut) für 3 Entfernungen, (dargestellt in Abbildung 3-12, Abbildung 3-13, Abbildung 3-14)
- Ergebnisse des Lebenswegabschnittes Distribution für die Verpackung, das Füllgut und die Summe aus Verpackung und Füllgut, (dargestellt in Tabelle 3-2, Tabelle 3-3, Tabelle 3-4)

Je höher die berücksichtigte Zuladung, desto höher sind der Kraftstoffverbrauch und die Emissionen und damit die Umweltwirkungspotenziale.

Zur Charakterisierung wurden die 5 distributionsrelevanten Wirkungskategorien herangezogen:

- Energieverbrauch in KEA, fossil
- Treibhauseffekt
- NO_x-korrigierter Sommersmog (Photooxidantienbildung)
- Versauerungspotenzial
- Eutrophierungspotenzial

⁶ Gemäß den Vereinbarungen aus Kapitel 2.4 der Phase II wurde die Allokation des Open-Loop-Recyclings auf das 50/50-Gutschriftverfahren geändert.

Die Auswertung erfolgt an dieser Stelle im Hinblick auf die Veränderung der potenziellen Umweltwirkungen pro km und auf deren Ursache. Auswertungen und Interpretationen dieser Zahlen folgen in Kap. 4.

0,7 l Glas-Mehrwegsystem (Szenario II-30),

Im Lebenswegabschnitt Distribution ändern sich die Umweltwirkungspotenziale bei ansonsten gleichen Distributionsstrukturen linear mit der Transportentfernung. Die folgende Tabelle zeigt die Umweltwirkungspotenziale für die Distribution der Verpackung (ohne Füllgut), des Füllgutes (ohne Verpackung) und für die Distribution unter Einbezug des Füllgutes (Verpackung und Füllgut).

Die Umweltwirkungspotenziale der Distribution werden aus dem Kraftstoffverbrauch und den Emissionen der Lkws berechnet.

Tabelle 3-2: Kilometerspezifische Umweltwirkungspotenziale der Distribution des 0,7 l Glas-Mehrwegsystems

Wirkungskategorie	Umweltwirkungspotenziale der Distribution bezogen auf 1000 l Füllgut			
	Einheit	Distribution der Verpackung (ohne Füllgut*)	Anteil Füllgut in Distribution	Distribution von Verpackung und Füllgut (Summe)
KEA, fossil	MJ/km	2,400	1,548	3,948
Treibhauseffekt (GWP 100)	kg CO ₂ /km	0,184	0,119	0,303
NOx-korrigierter Sommer-smog (NCPOCP)	g PO ₄ /km	0,435	0,288	0,723
Versauerungspotenzial	g SO ₂ /km	1,381	0,889	2,270
terrestrisches Eutrophierungspotenzial	g PO ₄ /km	0,228	0,147	0,374

* mit Allokation zwischen Verpackung und Füllgut

Unter Berücksichtigung

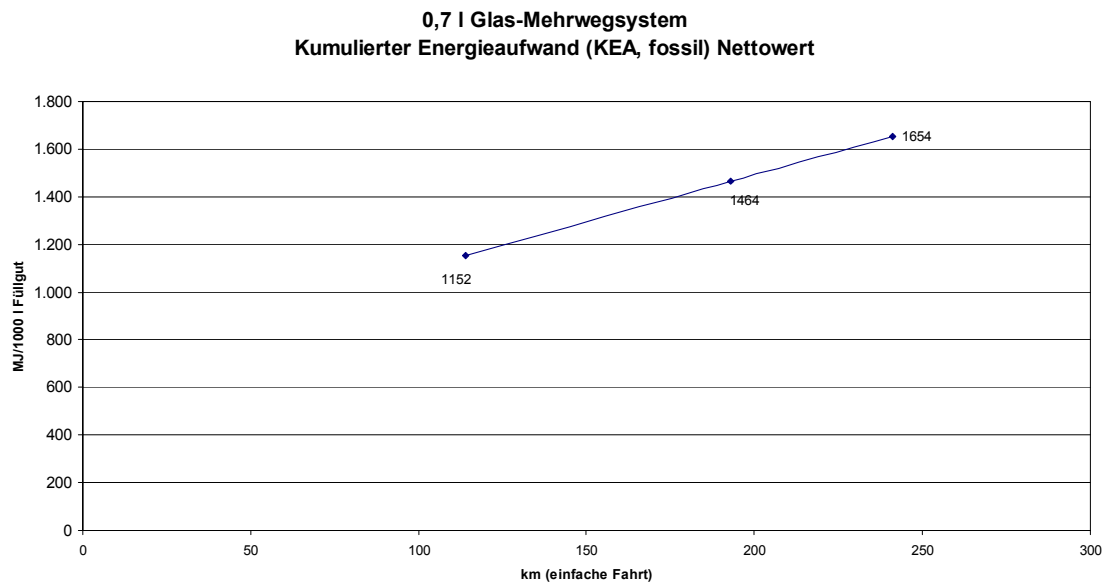
- der Füllgutmenge pro Lkw, die beim 0,7 l Glasmehrwegsystem bei ca. 50% liegt,
- der gewichtsmäßigen Auslastung der Lkws, die v.a. bei Lkws mit 24 t zul. Ges.-Gew. beim 0,7 l Glasmehrwegsystem unter 70% liegt und
- der Rückfahrt

entfallen beim 0,7 l Glas-Mehrwegsystem auf die Verpackung ca. 40% der

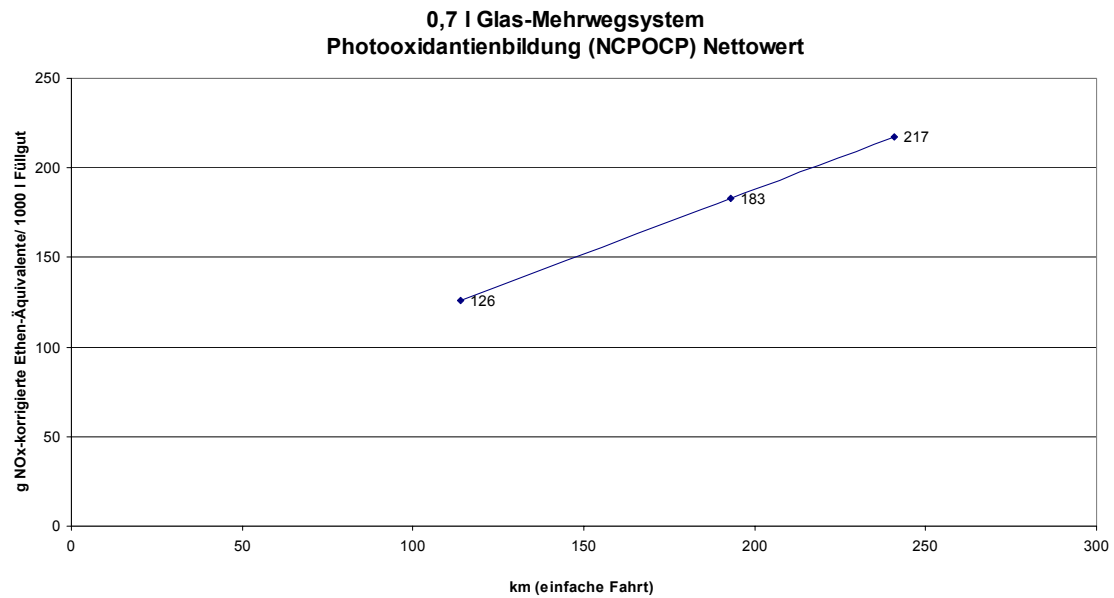
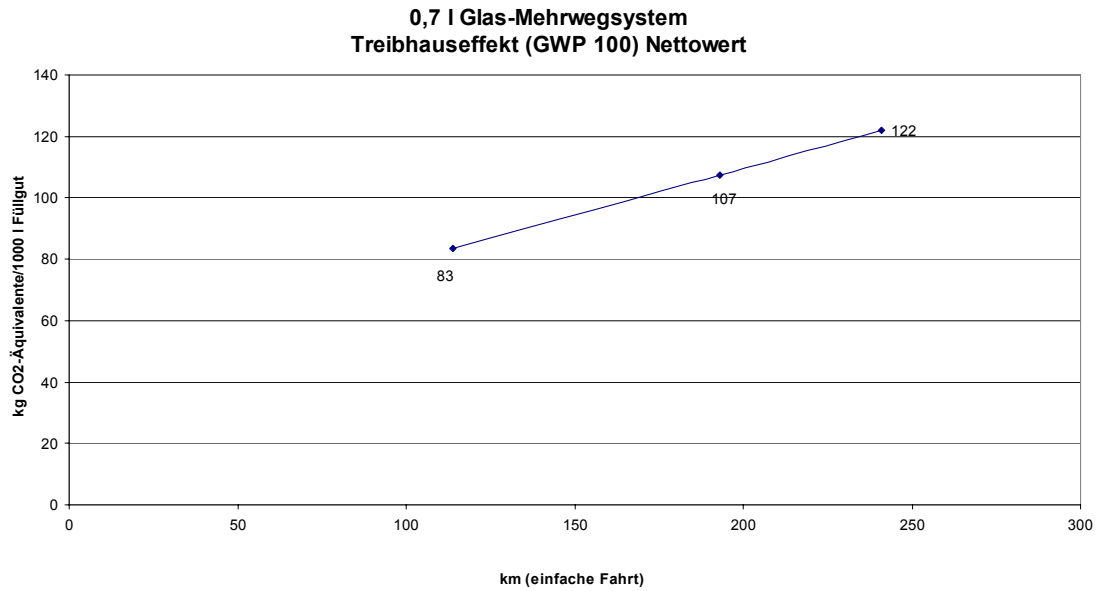
Umweltwirkungspotenziale der Distribution und auf das Füllgut ca. 60%.

Beim 0,7 l Glasmehrwegsystem zeigt sich sowohl bei der Distribution ohne Füllgut als auch bei der Distribution des Füllgutes ein merklicher Anstieg der Umweltbelastungen pro km. Aus den Graphiken wird ferner ersichtlich, dass der Sockelbetrag, d.h. die Umweltwirkungspotenziale ohne Distribution (Wert für 0 km) relativ niedrig liegen.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Nettowerte für das Verpackungssystem unter Einbezug des Füllgutes bei der Distribution in Abhängigkeit von der Distributionsentfernung.

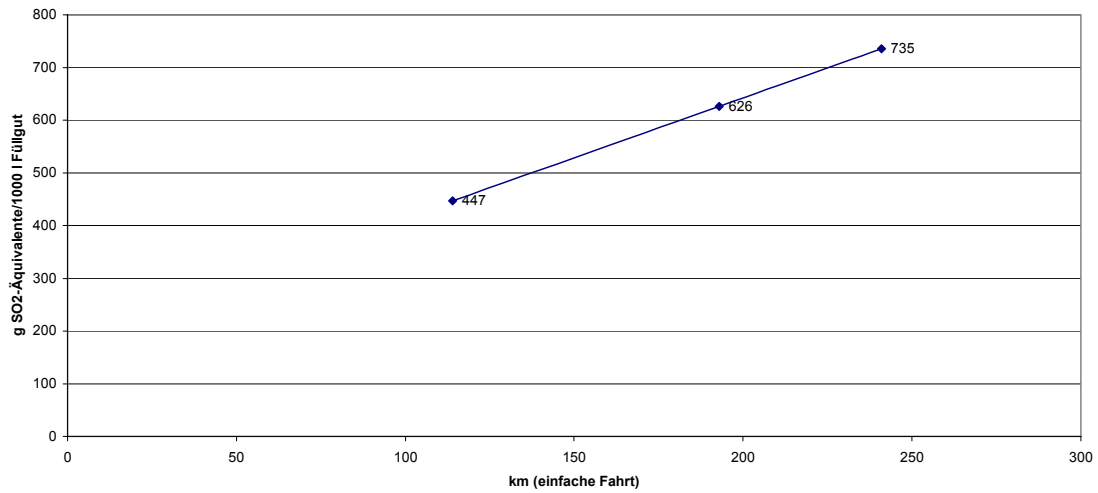


**Abbildung 3-12: 0,7 l Glas-Mehrwegsystem,
Ergebnisse mit Füllgut für verschiedene Distributionsentfernungen (I)**

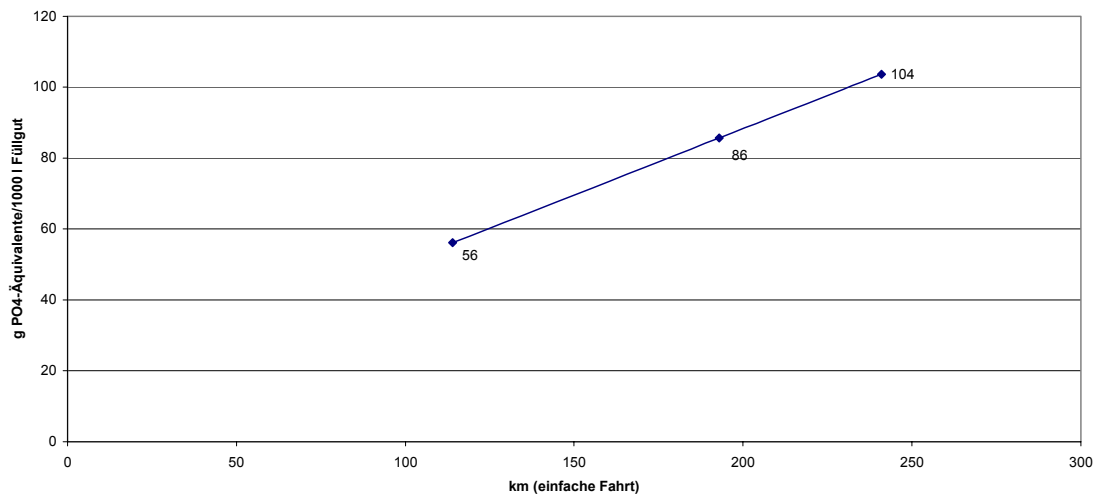


**Abbildung 3-12: 0,7 l Glas-Mehrwegsystem,
Ergebnisse mit Füllgut für verschiedene Distributionsentfernungen (II)**

**0,7 l Glas-Mehrwegsystem
Versauerungspotenzial Nettowert**



**0,7 l Glas-Mehrwegsystem
Eutrophierungspotenzial, terrestrisch Nettowert**



**Abbildung 3-12: 0,7 l Glas-Mehrwegsystem,
Ergebnisse mit Füllgut für verschiedene Distributionsentfernungen (III)**

1,5 l PET Rücklaufsystem (Einwegflasche im Mehrwegkasten SK) (Szenario II-31)

Die Einbeziehung des Füllgutes bei der Distribution erfolgt für das Basisszenario II-4: 1,5 l Rücklaufflasche im Mehrwegkasten (35 g, SK).

Die kilometerspezifischen Umweltwirkungspotenziale der Distribution zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 3-3: Kilometerspezifische Umweltwirkungspotenziale der Distribution für das 1,5 l PET-Einwegsystem (Mehrwegkasten, 35g, SK)

Umweltwirkungspotenziale der Distribution bezogen auf 1000 l Füllgut				
Wirkungskategorie	Einheit	Distribution der Verpackung (ohne Füllgut*)	Anteil Füllgut in Distribution	Distribution von Verpackung und Füllgut (Summe)
KEA, fossil	MJ/km	0,472	1,548	2,020
Treibhauseffekt (GWP 100)	kg CO ₂ /km	0,036	0,119	0,155
NO _x -korrigierter Sommer-smog (NCPOCP)	g PO ₄ /km	0,088	0,288	0,376
Versauerungspotenzial	g SO ₂ /km	0,270	0,889	1,159
terrestrisches Eutrophierungspotenzial	g PO ₄ /km	0,044	0,147	0,191

* mit Allokation zwischen Verpackung und Füllgut

Unter Berücksichtigung

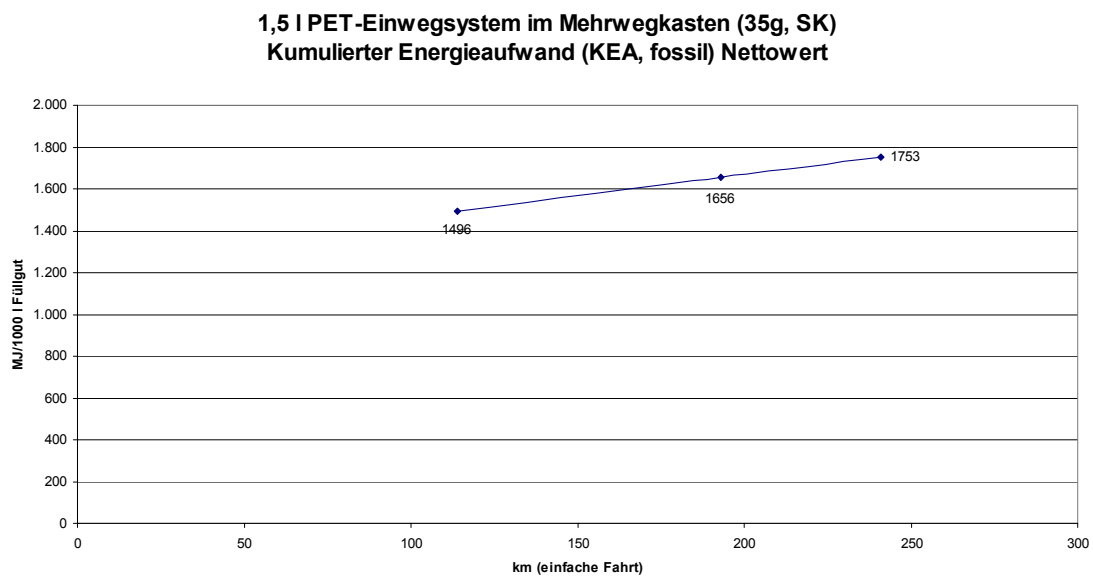
- der Füllgutmenge pro Lkw, die beim 1,5 l PET-Rücklaufsystem bei ca. 85% liegt,
- der gewichtsmäßigen Auslastung der Lkws, die v.a. bei Lkws mit 24 t zul. Ges.-Gew. 1,5 l PET-Rücklaufsystem unter 80% liegt und
- der Rückfahrt

entfallen beim 1,5 l PET-Rücklaufsystem auf die Verpackung ca. 25% der Umweltwirkungspotenziale der Distribution und auf das Füllgut ca. 75%.

Der Anstieg der Wirkungspotenziale mit der Distributionsentfernung ist trotz gleicher Distributionsstrukturen geringer als beim 0,7 l Glas-Mehrwegsystem, da beim 1,5 l PET-Rücklaufsystem der Verpackungsanteil pro Lkw-Ladung höher ist. Während beim 0,7 l Glas-Mehrwegsystem die Zuladung an Verpackung ca. 50 Gew.-% der gesamten Zuladung beträgt, sind es beim 1,5 l PET-Rücklaufsystem mit Mehrwegkasten nur 15 Gew.-%. D.h., zum Transport von 1000 l oder anschaulicher 1 Hektoliter Füllgut sind weniger Lkw-Fahrten nötig als bei hohem Verpackungsanteil (zum Vergleich: Das 0,7 l Glas-Mehrwegsystem benötigt rund 9 Touren zur Auslieferung von 1 Hektoliter im 40-Tonner Lkw, das 1,5 l PET-Rücklaufsystem rund 5 Touren. siehe auch Tabelle 2-20).

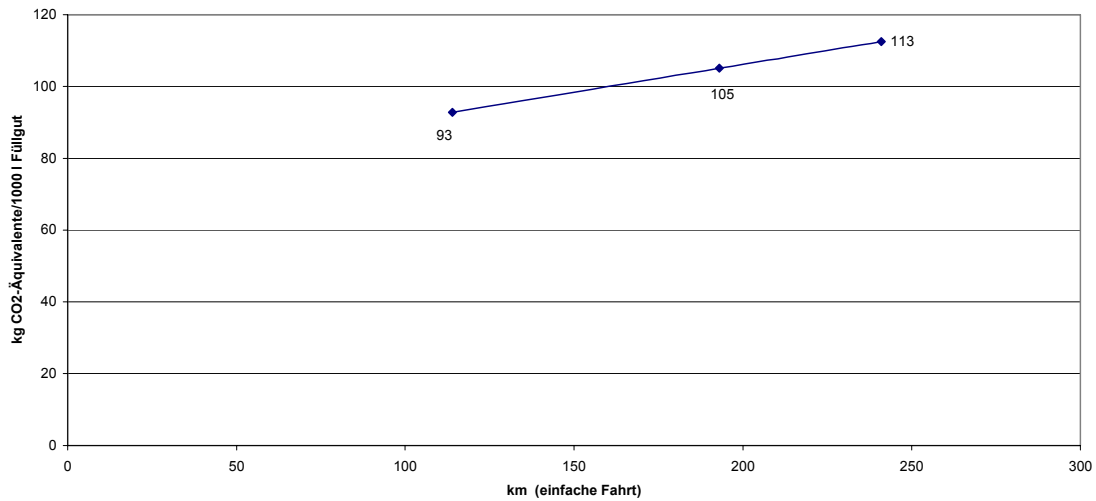
Aufgrund gleicher Distributionsstrukturen (beide Mehrwegstrukturen) ist das kilometerspezifische Umweltwirkungspotenzial pro 1000 l Füllgut des 0,7 l Glas-Mehrwegsystems und des 1,5 l PET-Rücklaufsystems für den Füllgutanteil im Lkw gleich.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Nettowerte für das Verpackungssystem unter Einbezug des Füllgutes bei der Distribution in Abhängigkeit von der Distributionsentfernung.

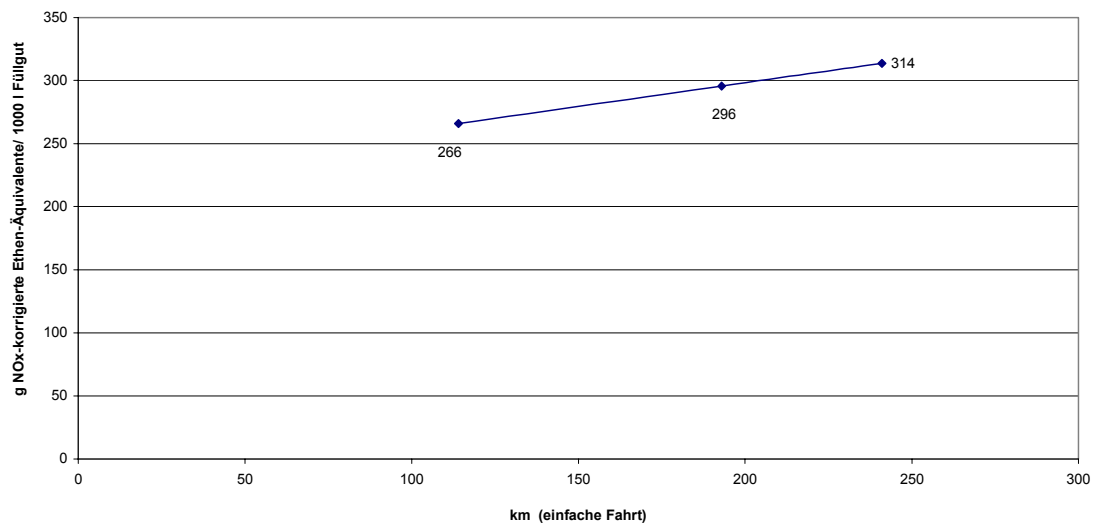


**Abbildung 3-13: 1,5 l PET-Einwegflasche im Mehrwegkasten (35g SK),
Ergebnisse mit Füllgut für verschiedene Distributionsentfernungen (l)**

**1,5 l PET-Einwegsystem im Mehrwegkasten (35g, SK)
Treibhauseffekt (GWP 100) Nettowert**

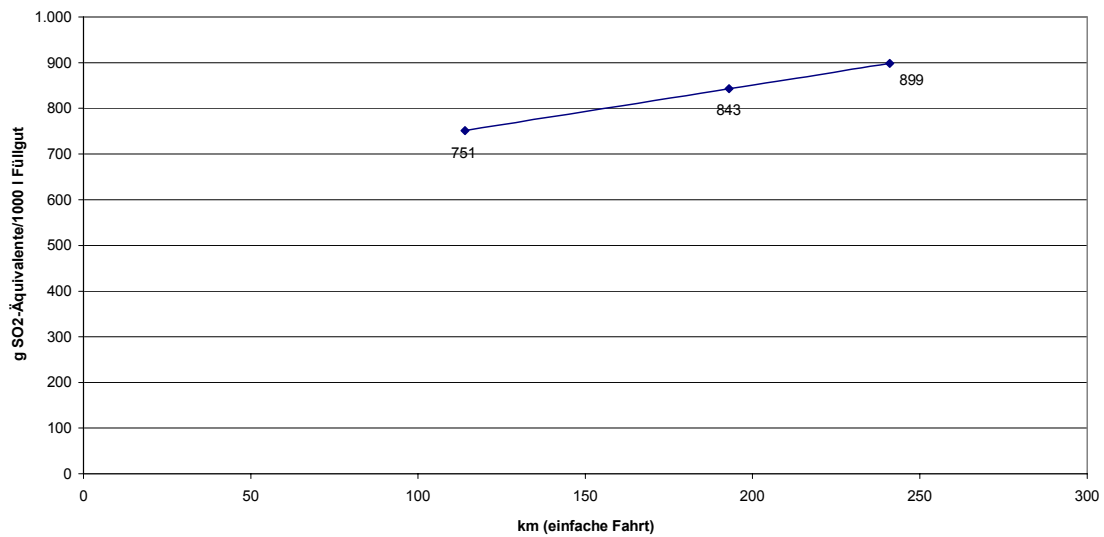


**1,5 l PET-Einwegsystem im Mehrwegkasten (35g, SK)
Photooxidantienbildung (NCPOCP) Nettowert**

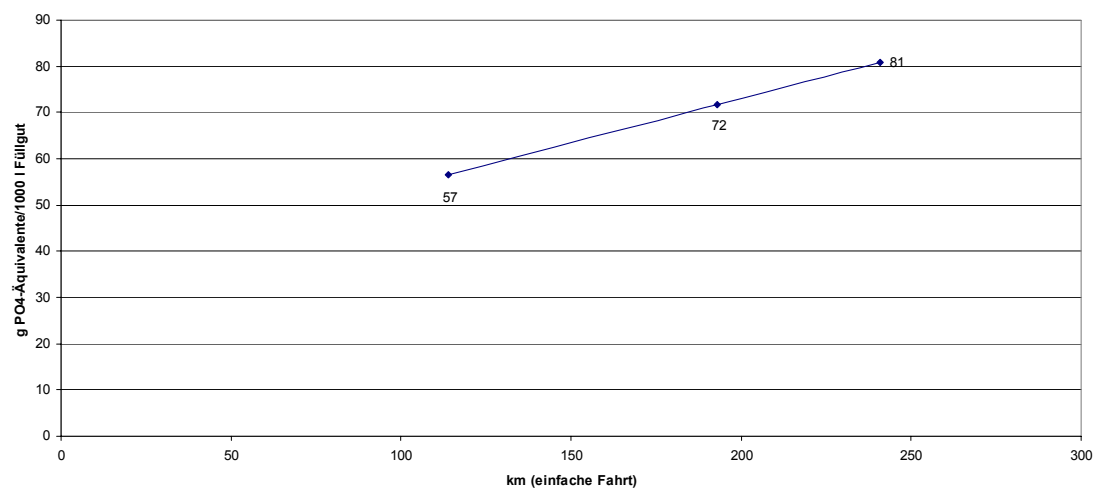


**Abbildung 3-13: 1,5 l PET-Einwegflasche im Mehrwegkasten (35g SK),
Ergebnisse mit Füllgut für verschiedene Distributionsentfernungen (II)**

**1,5 l PET-Einwegsystem im Mehrwegkasten (35g, SK)
Versauerungspotenzial Nettowert**



**1,5 l PET-Einwegsystem im Mehrwegkasten (35g, SK)
Eutrophierungspotenzial, terrestrisch Nettowert**



**Abbildung 3-13: 1,5 l PET-Einwegflasche im Mehrwegkasten (35g SK),
Ergebnisse mit Füllgut für verschiedene Distributionsentfernungen (III)**

1,5 l PET-Einwegsystem (Sixpack-Schrumpack, 35g, DSD) (Szenario II-32)

Die Variation erfolgt am Basisszenario II-5 1,5 l PET-Einwegflasche (35g, DSD) im Sixpack mit Entsorgung via DSD.

Die kilometerspezifischen Umweltwirkungspotenziale der Distribution zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 3-4: Kilometerspezifische Umweltwirkungspotenziale der Distribution für das 1,5 l PET-Einwegsystem (Sixpack, 35 g, via DSD)

Umweltwirkungspotenziale der Distribution bezogen auf 1000 l Füllgut				
Wirkungskategorie	Einheit	Distribution der Verpackung (ohne Füllgut*)	Anteil Füllgut in Distribution	Distribution von Verpackung und Füllgut (Summe)
KEA, fossil	MJ/km	0,147	1,384	1,531
Treibhauseffekt (GWP 100)	kg CO ₂ /km	0,0113	0,1062	0,118
NO _x -korrigierter Sommer-smog (NCPOCP)	g PO ₄ /km	0,028	0,250	0,278
Versauerungspotenzial	g SO ₂ /km	0,085	0,806	0,891
terrestrisches Eutrophierungspotenzial	g PO ₄ /km	0,014	0,133	0,147

* mit Allokation zwischen Verpackung und Füllgut

Unter Berücksichtigung

- der Füllgutmenge pro Lkw, die beim 1,5 l PET-Einwegsystem via DSD bei 94% liegt,
- der gewichtsmäßigen Auslastung der Lkws, die v.a. bei Lkws mit 24 t zul. Ges.-Gew. 1,5 l PET-Einwegsystem via DSD über 80% liegt und
- der Rückfahrt, die bei Einwegsystemen geringer ist als bei Systemen mit Mehrwegkasten.

entfallen beim 1,5 l PET-Einwegsystem via DSD auf die Verpackung 10% der Umweltwirkungspotenziale der Distribution und auf das Füllgut 90%.

Der Anteil der Distribution an den Belastungen der verschiedenen Wirkungskategorien ist beim Einwegsystem mit Entsorgung via DSD deutlich geringer, als bei der Distribution im Mehrwegkasten. Dies kommt vorwiegend daher, dass weder Leergut, noch Kästen zum Abfüller zurücktransportiert werden, sondern ausschließlich die gebrauchten Mehrwegpaletten. Aus diesen Gründen ist auch der Anstieg der potenziellen Umweltwirkungen bei Einbezug des Füllgutes in die Bilanzierung geringer als bei den vorherigen Systemen. Der füllgutspezifische Belastungsanteil dagegen ist in ähnlicher Größenordnung, wie bei den beiden Systemen im Mehrwegkasten. Die geringfügigen Unterschiede zum Füllgutanteil bei den beiden im

Mehrwegkasten distribuierten Systemen werden durch die von diesen Systemen unterschiedlichen Anteile der Distributionswege und –entfernungen hervorgerufen.

Der Anteil der Distribution an den potenziellen Umweltwirkungen des Verpackungssystems ist hier gering.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Nettowerte für das Verpackungssystem unter Einbezug des Füllgutes bei der Distribution in Abhängigkeit von der Distributionsentfernung.

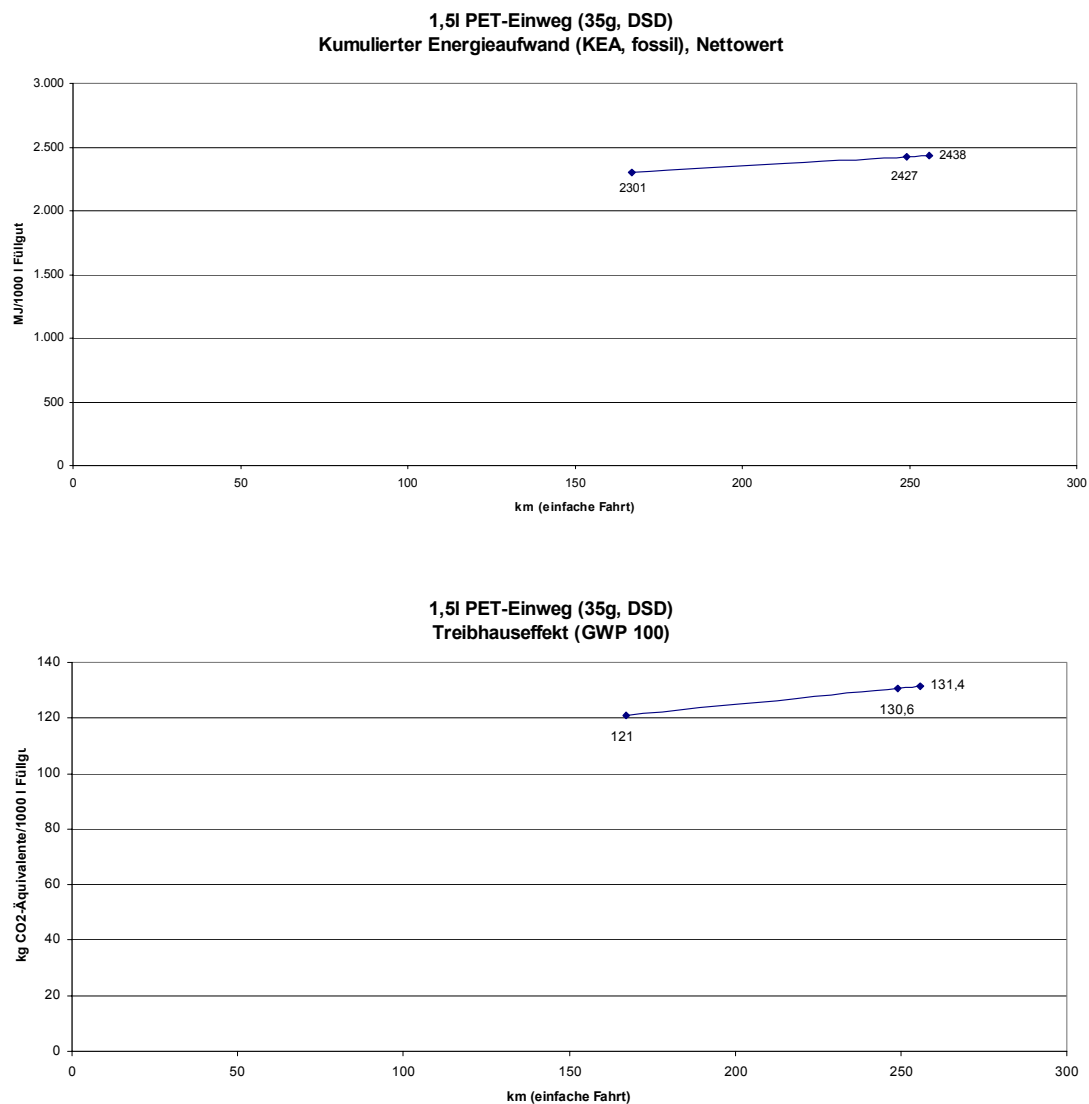


Abbildung 3-14: 1,5 l PET- Einwegflasche (35g) Entsorgung via DSD, Nettoergebnisse mit Füllgut für verschiedene Distributionsentfernungen (l)

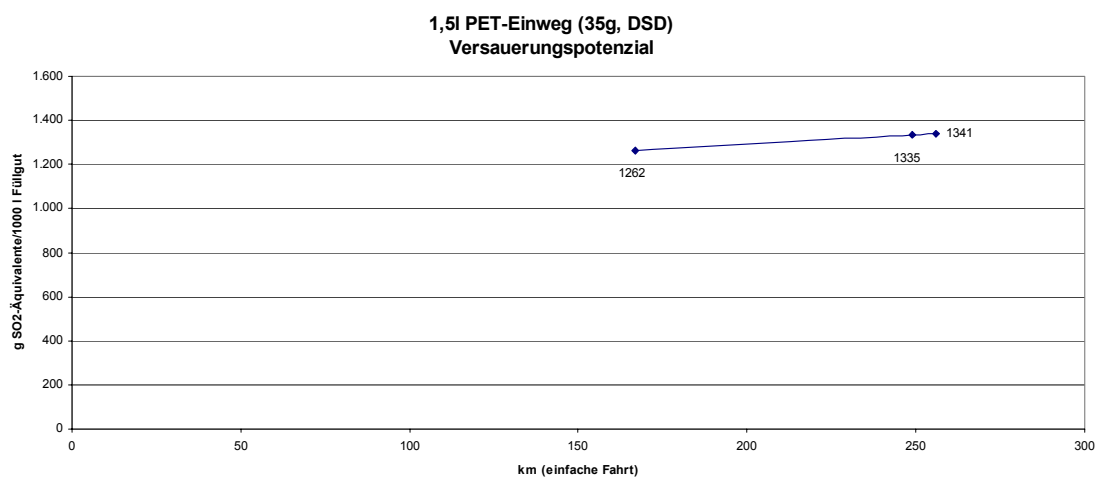
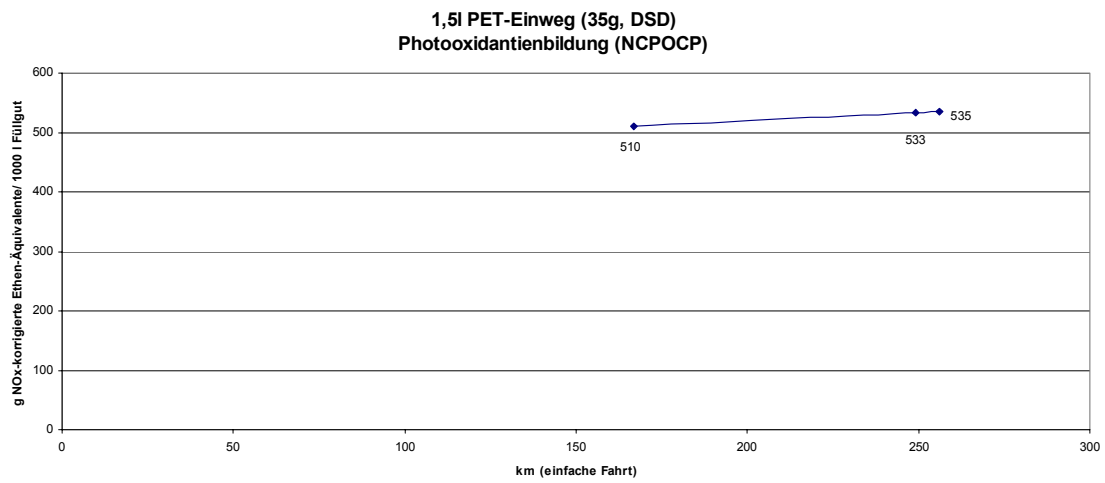


Abbildung 3-14: 1,5 l PET- Einwegflasche (35g) Entsorgung via DSD, Nettoergebnisse mit Füllgut für verschiedene Distributionsentfernungen (II)

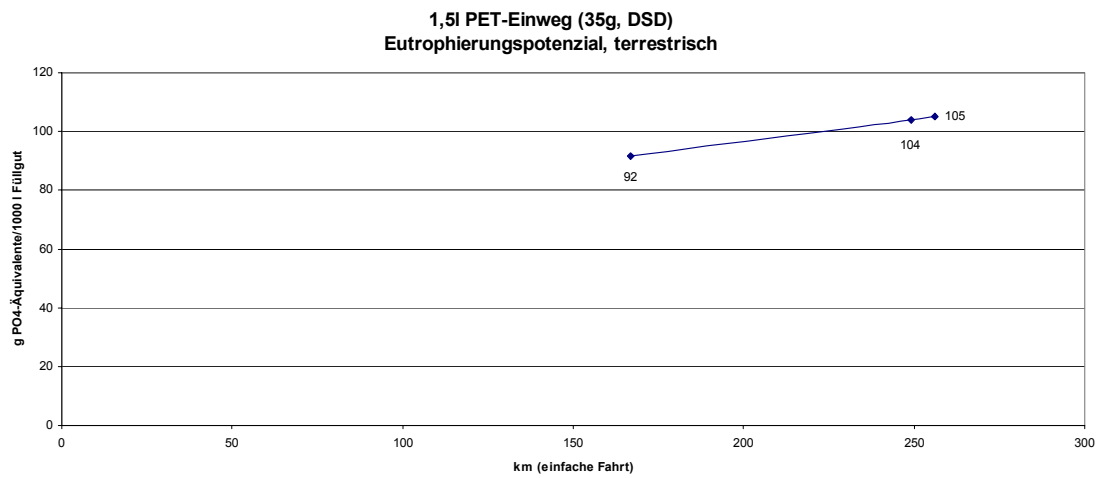


Abbildung 3-14: 1,5 l PET- Einwegflasche (35g) Entsorgung via DSD, Nettoergebnisse mit Füllgut für verschiedene Distributionsentfernungen (III)

4 Auswertung

4.1 Vorbemerkung

Das Vorhaben „Ökobilanz für Getränkeverpackungen II“ wurde im Juli 1996 vom Umweltbundesamt in Auftrag gegeben. Ursprüngliche Aufgaben des Vorhabens waren

- einerseits die Ermittlung der potenziellen Umweltbelastungen der zu diesem Zeitpunkt marktbedeutendsten Verpackungssysteme für Mineralwasser, Erfrischungsgetränke, Saft und Wein, sowie der ökobilanzielle Vergleich dieser Systeme untereinander unter besonderer Berücksichtigung des Vergleichs zwischen Einweg- und Mehrwegsystemen,
- andererseits eine Untersuchung darüber, inwiefern sich durch technische oder logistische Maßnahmen Reduktionen dieser potenziellen Umweltbelastungen erreichen lassen¹.

Das Vorhaben wurde gemäß dieser beiden Aufgaben in zwei zeitlich aufeinander folgende Bearbeitungsphasen aufgeteilt (Phase 1: „Status-Quo-Analyse“, Phase 2: „Prognose“)².

Für das gesamte Vorhaben wurde eine Laufzeit von 21 Monaten veranschlagt. Als Vorhabensende war somit der 31.03.1998 vorgesehen. Aufgrund zahlreicher Verzögerungen konnte Phase 1, statt wie zunächst geplant nach 10 Monaten, erst nach über vier Jahren abgeschlossen werden. Der Bericht zu diesem Teil des Vorhabens wurde im September 2000 veröffentlicht [UBA 2000].

Diese Verzögerung und die im Laufe des Vorhabens gewonnenen Erkenntnisse führten zu einer Reihe von Veränderungen der Zielstellung für Phase 2:

- Der Getränkeverpackungsmarkt hat sich während der Laufzeit des Vorhabens in einigen Punkten wesentlich verändert. So gewannen vor allem PET-Einweg- und -Rücklaufsysteme an Bedeutung. Es erschien daher angemessen, auch solche Systeme, die in der Phase 1 aufgrund ihrer geringen Marktbedeutung keine Berücksichtigung fanden, in die

¹ Diese Art der Untersuchung wurde zum damaligen Zeitpunkt in der Fachwelt unter dem Stichwort „*improvement assessment*“ diskutiert. Sie folgte dem Wunsch, neben dem Vergleich von Systemen untereinander auch Aussagen zu den Optimierungspotenzialen einzelner Systeme zu erhalten.

² Zu einer präziseren Beschreibung der ursprünglichen Zielsetzung siehe [UBA 2000], S. 2

Untersuchungen zu Phase 2 aufzunehmen auch wenn damit der ursprünglichen Zielsetzung (Verbesserungspotenziale bestehender Systeme) nicht entsprochen wurde. Entsprechendes gilt für Verpackungssysteme, die - ungeachtet ihres nach wie vor geringen Marktanteils - günstige Ergebnisse erwarten lassen (z.B. Leichtglas, 0,5 PET-Mehrweg).

- Daneben wurde angeregt, den Einfluss möglicher zukünftiger Veränderungen wesentlicher Rahmenbedingungen zu untersuchen (z.B. TASI, Lkw-Abgasnormen, Energiemix).
- Schließlich bestand eine wesentliche Schlussfolgerung der Ergebnisse aus Phase 1 in der Feststellung, dass sich eine Reihe von wichtigen Fragestellungen zur Umweltrelevanz von Verpackungssystemen nur unter Einbeziehung des Füllguts beantworten lässt. Diese Feststellung wurde auch von den kritischen Gutachtern (critical review panel) bekräftigt.

4.1.1 Änderung des Untersuchungsziels und -rahmens

Die genannten Änderungen führten zu einer Anpassung des Untersuchungsziels, dieses ist in Kap. 1.1.2 „Zielsetzung der Phase 2“ dokumentiert. Neben dem ursprünglichen Ziel „Prognose optimierter Verpackungssysteme“ (Teilziel 2) wurden 3 weitere Teilziele formuliert:

Teilziel 1. Untersuchung neu aufgenommener Verpackungssysteme

Teilziel 3. Untersuchung des Einflusses veränderter Rahmenbedingungen

Teilziel 4. Untersuchung des Einflusses der Transportentfernung unter zusätzlicher Berücksichtigung des Füllguts

Bei der Abstimmung der neuen Zielstellungen mit den für das Vorhaben zur Verfügung stehenden Mitteln mussten sowohl quantitative als auch qualitative Einschränkungen im Untersuchungsrahmen in Kauf genommen werden:

- Nicht alle der von verschiedenen Seiten vorgeschlagenen Untersuchungsszenarien konnten berücksichtigt werden.
- Während die Verpackungssysteme aus Phase 1 auf Grund einer umfangreichen Marktanalyse festgelegt wurden (siehe [UBA 2000], Materialsammlung, Bericht 2 der GVM), konnte eine solche Marktanalyse bei den in Phase 2, Teilziel 1 neu aufgenommenen Verpackungssystemen nicht durchgeführt werden.
Auch zu den sog. „Steuerparametern“, wie z.B. Recyclingrate oder Umlaufzahl, wurden keine neuen Marktanalysen durchgeführt, sie wurden vielmehr aufgrund plausibler Annahmen und Abschätzungen

im Einvernehmen mit den jeweils betroffenen Kreisen festgelegt.

Die in Teilziel 1 untersuchten Systeme können somit im Gegensatz zu den Systemen aus Phase 1 nicht in jedem Fall als marktrepräsentativ angesehen werden.

- Es konnten keine Sektoralanalysen („welche Lebenswegabschnitte und Prozesse tragen in welchem Maße zum Ergebnis bei?“) durchgeführt werden, da auf Grund der ursprünglich auf optimierte Verpackungssysteme beschränkten Zielsetzung³ keine Sektoralanalysen in der Vorhabenskalkulation zu Phase 2 vorgesehen waren. .

Bei den nachträglich hinzugekommenen Untersuchungen der neu aufgenommenen Verpackungssysteme (Teilziel 2) wären Sektoralanalysen zwar wünschenswert gewesen, sie konnten aber im Rahmen des aufgrund der ursprünglichen Zielstellung veranschlagten Projektbudgets nicht durchgeführt werden. Im Rahmen der Auswertung wurden die Ergebnisse jedoch stichprobenweise hinsichtlich ihrer sektoralen Verteilung analysiert. Die Ergebnisse dieser Analyse sind in den jeweiligen Abschnitten in Kapitel 4.3.1 sowie zusammengefasst in Kapitel 4.4.5 beschrieben.

Als eine weitere wichtige Änderung des Untersuchungsrahmens gegenüber Phase 1 ist die veränderte Methode zur Allokation von Recycling-Gutschriften zu nennen (s. Kap. 1.2.6 und Anhang). Diese Änderung ist allerdings nicht durch die o.g. veränderten Zielsetzung bedingt, sie ist vielmehr das Resultat einer intensiven projektinternen und –externen Fachdiskussion.

4.1.2 Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen aus Phase 1

Wie oben dargestellt, wurde mit der Phase 2 des Vorhabens ursprünglich ausschließlich die Absicht verfolgt, die Auswirkungen von technischen oder logistischen Veränderungen der in Phase 1 untersuchten Verpackungssysteme zu betrachten. Gegenstand der Untersuchung sollten folglich Vergleiche zwischen dem Status Quo und einem optimiertem Zustand des jeweils gleichen Systems sein. Unterschiedliche Verpackungssysteme sollten dagegen nicht miteinander verglichen werden.

Mit der veränderten Zielstellung sollen jetzt auch neu aufgenommene Verpackungssysteme („Teilziel 1“) betrachtet werden. Hierbei stellt sich die Frage, mit welchen Referenzsystemen diese Systeme zu vergleichen sind. Auf den ersten Blick erscheint es naheliegend, hierfür die Vergleichssysteme aus Phase 1

³ Für diese Zielsetzung sind Sektoralanalysen weder notwendig noch sinnvoll, da die Ursachen für die Veränderungen der Ergebnisse naturgemäß bei den jeweils ausgewählten variierten Prozessschritten zu suchen sind. Sektoralanalysen würden hier nur redundante Informationen erbringen.

heranzuziehen, da die Untersuchungen der neu aufgenommenen Verpackungssysteme als eine Ergänzung zur Phase 1 anzusehen sind.

Aufgrund der in Abs. 4.1.1 dargestellten Unterschiede zwischen den Rahmenbedingungen zu Phase 1 und Phase 2 des Projekts wird jedoch deutlich, dass eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse der beiden Phasen nicht ohne Vorbehalt zulässig ist.

Als wesentliche Einschränkungen der Vergleichbarkeit sind zu nennen:

- **Marktrepräsentative vs. konstruierte Systeme**

Während die Status Quo-Analyse in Phase 1 die Untersuchung möglichst marktrepräsentativer Verpackungssysteme (Stand 1996) zum Ziel hatte, sind die neu aufgenommen Systeme in Phase 2 definitionsgemäß nicht repräsentativ. Die Ergebnisse aus Phase 2 sind somit unter dem grundsätzlichen Vorbehalt zu sehen, dass die getroffenen Annahmen die tatsächliche Situation wiedergeben. Auch alle Vergleiche von (realitätsnahen) Systemen aus Phase 1 mit (angenommenen) Systemen aus Phase 2 stehen unter diesem Vorbehalt.

- **Unterschiedliche Allokationsverfahren**

Bei der Verwertung von Abfällen im open-loop-Recycling⁴ ist zu entscheiden, wie die durch die Herstellung des Ausgangsmaterials verursachten Elementarflüsse auf die am Recycling beteiligten Systeme aufzuteilen sind⁵. Auf welche Weise bei dieser als „Allokation“ bezeichneten Aufteilung zu verfahren ist, lässt sich weder wissenschaftlich begründen, noch besteht hierüber in der Fachwelt Konsens (siehe hierzu z.B. [Klöpffer 1996]). Folgende Varianten können als „Extremwerte“ möglicher Allokationsverfahren angesehen werden:

1. Cut-off-Verfahren: Hierbei werden die gesamten bei der Herstellung des Ausgangsmaterials verursachten Umweltlasten dem System zugerechnet, welches den Abfall zur Verwertung erzeugt⁶.
2. Gut-Lastschrift-Verfahren: Bei diesem Verfahren werden die bei der

⁴ open-loop-Recycling liegt vor, wenn die zu verwertenden Abfälle des untersuchten Produkts nicht im gleichen System wieder eingesetzt, sondern zu einem anderen Produkt weiterverarbeitet werden.

⁵ Beim closed-loop-Recycling (Verwertung der Abfälle zum gleichen Produkt) und beim quasi-closed-loop-Recycling (In- und Output an Sekundärrohstoffen haben gleiche Menge und Qualität, so dass modelltechnisch mit geschlossenem Kreislauf gerechnet werden kann) tritt dieses methodische Problem dagegen nicht auf. Hier können die Stoffströme eindeutig dem untersuchten System zugeordnet werden (siehe hierzu auch die Ausführungen im Anhang).

⁶ Im Gegenzug wird dieses System von den Umweltbelastungen die andernfalls durch die Abfallbeseitigung entstanden wären, entlastet.

Herstellung des Ausgangsmaterials verursachten Umweltlasten an das System weitergereicht, das den Abfall zur Verwertung als Sekundärrohstoff einsetzt. Das abgebende System wird hierdurch entsprechend entlastet.

In Phase 1 wurde mit einer modifizierten Form des Gut-Lastschrift-Verfahrens und - als Sensitivitätsrechnung - mit dem Cut-off-Verfahren gerechnet⁷. In die Auswertung wurden jeweils beide Ergebnisse einbezogen.

In Phase 2 wurde das Allokationsproblem mit dem 50/50-Ansatz gelöst. Hierbei werden sowohl die durch das Recycling vermiedenen Umweltbelastungen aus der Primärrohstoffgewinnung und Abfallbeseitigung als auch die im Rahmen des Recyclings verursachten Mehrbelastungen (aus Sammlung, Sortierung und Aufbereitung) zu gleichen Teilen zwischen den am open-loop-Recycling beteiligten Systemen aufgeteilt.

Aufgrund der unterschiedlichen Vorgehensweisen bei der methodischen Behandlung des open-loop-Recyclings können die hier in Phase 2 behandelten Systeme nicht direkt mit den jeweiligen Referenzsystemen aus Phase 1 verglichen werden. Ein Vergleich kann allenfalls näherungsweise und mit Berücksichtigung der methodischen Unterschiede erfolgen

Bei näherer Betrachtung der Ergebnisse der in Phase 1 als Referenz gewählten Mehrwegverpackungssysteme (siehe [UBA 2000], Abb. 4-1 bis 4-11)

- I-01: 0,7 l-Mehrweg-Glasflasche (Mineralwasser Vorratskauf)
- I-07: 0,25 l-Mehrweg-Glasflasche (Mineralwasser Sofortverzehr)
- I-11: 1,0 l-Mehrweg-Glasflasche (Saft Vorratskauf)
- I-17 0,7 l-Mehrweg-Glasflasche (Erfrischungsgetr. Vorratskauf)
- I-17 0,33 l-Mehrweg-Glasflasche (Erfrischungsgetr. Sofortverzehr)
- I-25 1,0 l-Mehrweg-Glasflasche (Wein Vorratskauf)

wird jedoch deutlich, dass die Wahl des Allokationsverfahrens nur einen sehr geringen Einfluss auf das Endergebnis hat. Die Ergebnisse „Ohne Gutschrift“ und „Mit Gutschrift“ unterscheiden sich in den meisten Wirkungskategorien nur um etwa 5%⁸. Grund für diesen ge-

⁷ Es wurde eine Gutschrift in der Höhe erteilt, in der (statistisch gesehen) Primärmaterial substituiert wird. Als statistische Grundlage wurde hierfür der Marktmix (primär/sekundär) des jeweils substituierten Rohstoffs zu Grunde gelegt.

⁸ Ausnahme: In den Wirkungskategorien Naturraumbeanspruchung und Aquatische Eutrophierung sind diese Differenzen etwas größer. Hauptgrund hierfür ist die unterschiedliche methodische Behandlung des open-loop-

ringen Einfluss sind die bei diesen Systemen relativ geringen Stoffströme, die im open-loop-Recycling gefahren werden (siehe die Stoffstromdiagramme Abb. 2-1 bis 2-27 in [UBA 2000]).

Die zu den o.g. Mehrwegsystemen zugehörigen Stoffstromdiagramme verdeutlichen auch, dass es sich bei den open-loop-Materialien vor allem um Altglas, Aluminium und Weißblech handelt, für die nach der in Phase 1 angewendeten Gut-Lastschrift-Methode gemäß dem jeweiligen Marktmix Gutschriften von 41%, 57% und 60% erteilt wurden⁹.

Ausgehend von diesen Befunden

- Die Wahl des Allokationsverfahrens (cut-off- oder Marktmix-Methode) beeinflusste in [UBA 2000] die Ergebnisse der Mehrweg-Referenzsysteme in einer Größenordnung von 5%,
- Die in Phase 2 für alle Materialien erteilte Gutschrift von 50% weicht im Falle der Mehrweg-Referenzsysteme um maximal $\pm 20\%$ von den in Phase 1 erteilten Gutschriften ab,

liegt der durch den Wechsel der Allokationsmethode verursachte Fehler im Falle der Mehrweg-Referenzsysteme bei maximal $\pm 1\%$ ($= 5\% * 20\%$). Bei einem Vergleich der Ergebnisse aus Phase 2 mit den jeweiligen „Netto“-Ergebnissen¹⁰ der Mehrweg-Referenzsysteme aus Phase 1 ist die durch die unterschiedlichen Allokationsmethoden verursachte Abweichung somit als vernachlässigbar gering zu bewerten.

Im Falle der Einwegsysteme wirkt sich die Veränderung der Allokationsmethode dagegen z.T. erheblich auf die Ergebnisse aus. Damit bei den Optimierungsanalysen (Teilziel 2) die z.T. nicht sehr großen Ergebnisunterschiede beim Vergleich der veränderten Verpackungssysteme zu den jeweiligen Bezugssystemen nicht von den methodisch bedingten Abweichungen überdeckt werden, wurden bei der Glas-Einwegflasche (Szenario II-13), bei der Aluminiumdose (Szenarien II-14 bis II-16 sowie II-22 bis II-23), bei der Weißblechdose (Szenarien II-17 bis II-18 sowie II-27) sowie beim Getränkekarton (Szenarien II-19 II-20 sowie II-24 bis II-25) neue Bezugsszenarien berechnet. Diese neuen Bezugsszenarien basieren im Wesentlichen¹¹ auf den

Recyclings von Etikettenpapier und Palettenholz. Aufgrund ihres geringen spezifischen Beitrags sind die Indikatorergebnisse dieser Wirkungskategorien (und damit auch der durch den Methodenwechsel bedingte Unterschied) jedoch in der Gesamtbewertung als relativ unbedeutend zu bewerten.

⁹ Lediglich in Systemen 01 und 17 wurde Abfall-PE aus den Verschlüssen bilanziert, für das die Gutschrift 90% betrug (zu Altpapier und Holz, s. Fußnote 8).

¹⁰ „Netto“ bedeutet hier: unter Einbeziehung von Gut- und Lastschriften

¹¹ Für eine genauere Beschreibung der veränderten Basisszenarien siehe Kap. 2.2.

Systemannahmen der jeweiligen in Phase 1 untersuchten Verpackungssysteme, wurden aber mit der in Phase 2 angewendeten 50/50-Allokationsmethode berechnet.

4.2 Ziel und Rahmen der Auswertung

Die Prognos GmbH und das IFEU-Institut für Energie- und Umweltforschung, haben, aufbauend auf den vorher festgelegten Zielen und Rahmen, Berechnungen zur Sachbilanz und Wirkungsabschätzung für die sog. Phase 2 (Prognose) der „Ökobilanz für Getränkeverpackungen II“ durchgeführt. Hierbei wurden 33 Szenarien aus den Getränkebereichen Mineralwasser, CO₂-haltige Erfrischungsgetränke und Saft untersucht.

Alle diesen Berechnungen zugrunde liegenden Daten, Annahmen und methodischen Festlegungen wurden dem projektbegleitenden Ausschuss, in dem Vertreter der betroffenen Branchen der Industrie und des Handels sowie von Umwelt- und Verbraucherverbänden mitarbeiten, vorgelegt und in einer Ausschusssitzung sowie mehreren bilateralen Gesprächen diskutiert.

Darüber hinaus wurde ein externes Expertengremium (critical review panel) mit der Prüfung der Ökobilanz gemäß ISO 14040 beauftragt.¹²

Ziel der in diesem Kapitel dargestellten Auswertung ist es, die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung entsprechend dem festgelegten Ziel und dem Untersuchungsrahmen zusammenzufassen, um Schlussfolgerungen und Empfehlungen zu geben vgl. [ISO 14040], Kap. 5.4.

Die Auswertung erfolgt, analog zur Vorgehensweise in Phase 1, nach dem am Umweltbundesamt hierfür erarbeiteten Methodenvorschlag [UBA 1999] unter Einhaltung der Bestimmungen aus [ISO 14043]. Weitere Einzelheiten bezüglich der methodischen Umsetzung der ISO-Vorgaben werden in [UBA 2000], S. 239 ff, erläutert.

4.2.1 Bezug auf Ziel und Rahmen dieser Ökobilanz

Ziele und Rahmen dieser Ökobilanz wurden zu Beginn der Untersuchung festgelegt und sind in Kap. 1 dokumentiert. Danach werden in der hier zu bewertenden Phase 2 der Ökobilanz (Prognose) folgende, hier verkürzt dargestellte vier Teilziele verfolgt:

Teilziel 1: Ökobilanzen für neue Verpackungssysteme,

¹² Zu Einzelheiten zum projektbegleitenden Ausschuss und zum critical review panel siehe Kap. 1.

- Teilziel 2: Ökobilanzen für optimierte Verpackungssysteme,
- Teilziel 3: Ökobilanzen zur Untersuchung des Einflusses veränderter Rahmenbedingungen,
- Teilziel 4: Variation der Distributionsentfernung unter Einbeziehung des Füllguts.

Ausgehend von diesen Teilzielen wurden 33 Untersuchungsszenarien festgelegt (Kap. 1.2.3). Die Zusammenstellung von Informationen über umweltrelevante Stoff- und Energieströme zu diesen Szenarien erfolgte im Rahmen der Sachbilanz. Sie ist in Kap. 2 dokumentiert.

Der Vergleich der ökologischen Wirkungspotenziale erfolgt im Rahmen dieser Auswertung. Neben dem Vergleich einzelner Wirkungskategorien getrennt voneinander (gemäß ISO 14042, Kap. 9) werden die Einzelergebnisse bei der Auswertung auch zusammengefasst, um zu Schlussfolgerungen und Empfehlungen zu gelangen¹³. Bei der Herleitung dieser Schlussfolgerungen wird die Methode des Umweltbundesamtes [UBA 1999] angewendet.

4.2.2 Funktion, Untersuchungsgegenstand

Bei den in Phase 2 untersuchten Systeme wird zwischen den folgenden drei Untersuchungsbereichen unterschieden:

- Verpackungssysteme für Mineralwasser (Vorratskauf)¹⁴
- Verpackungssysteme für Mineralwasser (Sofortverzehr)
- Verpackungssysteme für CO₂-haltige Getränke(Sofortverzehr)
- Verpackungssysteme für Saft (Vorratskauf)

Diese Untersuchungsbereiche unterscheiden sich einerseits hinsichtlich des Füllguts, andererseits aufgrund ihrer unterschiedlichen Größe. Es wird davon ausgegangen, dass die in den verschiedenen Bereichen untersuchten Verpackungssysteme häufig unterschiedliche Funktionen erfüllen und daher nicht vorbehaltlos untereinander vergleichbar sind.

Gegenstand der Untersuchung sind die in der Ziel- und Rahmenfestlegung definierten 33 verschiedenen Szenarien. Eine detaillierte Beschreibung findet sich in Kap. 2.1.

¹³ Siehe hierzu ISO 14040, Kap. 5.4

¹⁴ Dabei bedeutet „Vorratskauf,,: Verpackungen > 0,5 l und „Sofortverzehr,,: Verpackungen ≤ 0,5 l. Zur Begründung dieser Differenzierung siehe Zieldefinition und Rahmenfestlegung, Kap. 1.

4.3 Auswertung der untersuchten Szenarien

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung auf der Grundlage des zuvor festgelegten Ziels und Rahmens ausgewertet. Diese Auswertung erfolgt getrennt für die einzelnen Teilziele und Untersuchungsbereiche.

Die Auswertung ist in jeweils vier Teilschritte gegliedert:

- 1) Dokumentation und Diskussion der Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung.

Die aggregierten Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (sog. Wirkungsindikatorergebnisse) werden zunächst getrennt voneinander dargestellt. Die Darstellung erfolgt einerseits in Form absoluter Indikatorwerte (Ergebnisse einzelner Wirkungskategorien wie z.B. „123 kg CO₂-Äquivalente“), andererseits in normierter Form als Einwohnerdurchschnittswerte (EDW). Bei der Diskussion der Ergebnisse wird auch auf die relative Bedeutung einzelner Lebenswegabschnitte¹⁵ und auf die Datenqualität (insbesondere für Parameter mit hoher Ergebnisrelevanz) eingegangen.

- 2) Vergleiche zwischen Wirkungsindikatorergebnissen unterschiedlicher Szenarien.

In diesem Arbeitsschritt werden die Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung der gemäß Zieldefinition zu vergleichenden Untersuchungsszenarien gegenübergestellt. Diese Vergleiche erfolgen je nach Teilziel unterschiedlich:

Teilziel 1: Hintergrund der Untersuchung „neuer“ Verpackungssysteme ist die Frage, wie diese aus Umweltsicht im Vergleich zu herkömmlichen Mehrwegsystemen zu beurteilen sind, wobei ihre Einordnung bei einer möglichen Novellierung des §9, Abs. 2 VerpackV (Befreiung von der Pfandpflicht für „ökologisch vorteilhafte Getränkeverpackungen“) im Vordergrund steht. Bei der Auswertung der zu Teilziel 1 gehörigen Szenarien werden diese daher - unter Beachtung der unter Abs. 4.1.2 genannten Einschränkungen - den jeweiligen Referenzszenarien aus Phase 1 oder geeigneten Vergleichsszenarien aus Phase 2 gegenübergestellt.

Teilziel 2: Das Ziel der Optimierungsszenarien besteht darin, den Effekt der Optimierung auf das Ergebnis der Ökobilanz zu ermitteln. Hierzu werden die Ergebnisse der Optimierungsszenarien den Ergebnissen der

¹⁵ Diese Darstellung beschränkt sich auf die jeweils wichtigsten Prozessschritte; eine systematische Sektoralanalyse wurde nicht durchgeführt.

jeweiligen Verpackungssysteme ohne Optimierung gegenübergestellt und diskutiert. Ein Vergleich mit anderen Verpackungssystemen ist nicht Bestandteil dieser Untersuchung.

Teilziel 3: Die Prüfung des Einflusses veränderter Rahmenbedingungen erfolgt entsprechend Teilziel 2. Auch hier werden ausschließlich gleiche Verpackungssysteme unter verschiedenen Rahmenbedingungen gegenübergestellt.

Teilziel 4: Vor dem Hintergrund, dass Mehrwegsysteme gegenüber Einwegsystemen tendenziell kürzere Distributionsentfernungen aufweisen, soll am Beispiel von drei Verpackungssystemen unter Einbeziehung des Füllguts der Einfluss unterschiedlicher Distributionsentfernungen illustriert werden.

Die grafische Darstellung in T-Diagrammen, wie sie in Phase 1 praktiziert wurde, erscheint für die Auswertung der vier Teilziele in Phase 2 nicht geeignet:

- Bei der Beurteilung der neu hinzugekommenen Verpackungssysteme (Teilziel 1) ist zu befürchten, dass diese Art der Darstellung ein zu hohes Maß an Genauigkeit suggeriert, das angesichts der eingeschränkten Vergleichbarkeit nicht gerechtfertigt wäre.
- Bei der Variation einzelner Parameter aufgrund von Systemoptimierungen (Teilziel 2) oder zukünftig veränderter Randbedingungen (Teilziel 3) würde sich die Darstellung in T-Diagrammen nur dann anbieten, wenn diese Variationen zu gegenläufigen Veränderungen der Ergebnisse führen würden¹⁶, die im Rahmen der Auswertung gegeneinander abzuwägen wären. Es wird sich zeigen, dass dies in nahezu allen Szenarien nicht der Fall ist. Im Mittelpunkt des Interesses wird vielmehr die Ergebnisrelevanz dieser Variationen stehen (z.B.: „eine Materialeinsparung von x% reduziert die Umweltbelastungen um y%“).
- Die Variation der Distributionsentfernung unter Einbeziehung des Füllguts (Teilziel 4) erfolgt nicht vor dem Hintergrund, die Umweltbelastungen eines bestimmten Verpackungssystems oder Szenarios zu untersuchen. Ziel ist es vielmehr, die Abhängigkeit der Indikatorergebnisse von der Distributionsentfernung zu ermitteln und hieraus eine allgemeine Vorschrift zur Berechnung Distributions-abhängiger Fragestellungen abzuleiten. Anstelle der Ergebnisdarstellung in T-

¹⁶ Z.B.: Verringerung der Naturraumbeanspruchung um x% bei gleichzeitiger Erhöhung der Treibhausgas-Emissionen um y%.

Diagrammen wird für Teilziel 4 daher eine Darstellungsform gewählt, die diese Abhängigkeit der Indikatorergebnisse von der Distributionsentfernung beschreibt

Auf eine grafische Darstellung mit T-Diagrammen, wie sie bei der Auswertung in Phase 1 praktiziert wurde, wird daher im Rahmen der folgenden Auswertung verzichtet. Die Grundsätze der UBA-Methode zur Bewertung in Ökobilanzen (Paarweiser Vergleich von Systemen, Orientierung an Schutzgütern und an Umweltqualitätszielen, verbal-argumentative Abwägung) werden durch diese Entscheidung, die nur die Dokumentation der Ergebnisse betrifft, nicht berührt.

Darüber hinaus soll bei Vergleichen zweier Systeme, in denen sich bereits aus den nicht hierarchisierten Indikatorergebnissen signifikante Ergebnisse ableiten lassen, auf eine explizite Rangbildung der Wirkungskategorien verzichtet werden. Auch diese Entscheidung steht nicht im Widerspruch zu den Grundsätzen der UBA-Methode zur Bewertung in Ökobilanzen.

Ein weiterer Unterschied zu der in Phase 1 durchgeführten Auswertung besteht darin, dass die nicht aggregierbaren Sachbilanzdaten der Wirkungskategorien „Direkte Gesundheitsgefährdung“ und „Direkte Schädigung von Ökosystemen“ bei dieser Auswertung nicht explizit ausgewiesen werden. Bereits in Phase 1 hatte sich gezeigt, dass diese Ergebnisse

- entweder auf Grund ihres geringen spezifischen Beitrags keinen maßgeblichen Beitrag zum Ergebnis lieferten,
- oder wegen ihrer Zusammenfassung zu (nicht-wirkungsbezogenen) Summenparametern wie „AOX“ oder „Staub“ in dieser undifferenzierten Form für eine Wirkungsabschätzung ungeeignet waren,
- in der Regel mit anderen Wirkungsindikatoren korrelierten (teilweise, wie z.B. SO₂ und NO_x in diesen bereits enthalten sind), in einer gesonderten Auswertung also keine zusätzlichen Befunde erbrachten, sondern vielmehr die bereits erhaltenen Befunde bekräftigten.

Auf Grund dieser im Rahmen der Auswertungen zu Phase 1 gewonnenen Erkenntnisse sowie stichprobenweiser Prüfungen der hier vorliegenden Ergebnisse wird auf eine Einbeziehung der nicht aggregierten Sachbilanzergebnisse in die Auswertung verzichtet¹⁷.

3) Beurteilung der Ergebnisse durch Sensitivitäts- und Signifikanzanalysen sowie Vollständigkeits- und Konsistenzprüfungen.

¹⁷ Die Sachbilanzergebnisse zu diesen Kategorien sind den in Kap. 3.2 genannten EXCEL-Dateien zu entnehmen. Die Absolutwerte befinden sich in den Zeilen 1063 ff, die normierten EDW-Werte in den Zeilen 1263 ff.

- 4) Ableitung von Schlussfolgerungen aufgrund der in 1) - 3) gewonnenen Erkenntnisse

4.3.1 Teilziel 1: Neue Verpackungssysteme

4.3.1.1 Untersuchungsbereich Mineralwasser - Vorratskauf

4.3.1.1.1 Diskussion der Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

Im Untersuchungsbereich „Verpackungssysteme für Mineralwasser - Vorratskauf“ wurden folgende Verpackungssysteme neu untersucht:

System II-01 MW-Leichtglasflasche (PU-beschichtet), 1,0 l

System II-02 EW-Leichtglasflasche (PE/EP-beschichtet), 1,0 l

System II-03 „Rücklauf“-PET-Flasche 1,0 l

System II-04 „Rücklauf“-PET-Flasche 1,5 l

System II-05 EW-PET-Flasche 1,5 l, Entsorgung über DSD

System II-06 EW-PET-Flasche 1,5 l, Szenario „Pflichtpfand“

System II-07 EW-PET-Flasche 1,5 l für stilles Wasser, Entsorgung über DSD

Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung sind als Absolutwerte in Tabelle 4- 1 und in Form von EDW (Einwohnerdurchschnittswerte, bezogen auf den Jahresverbrauch an Mineralwasser im Untersuchungsbereich „Vorratskauf,“) ¹⁸ in Tabelle 4- 2 zusammengefasst. Die Daten wurden aus den in Kap. 3.2 genannten Dateien berechnet ¹⁹.

¹⁸ Zur Berechnung der Einwohnerdurchschnittswerte siehe [UBA 2000], Kap. 3.3.1

¹⁹ Die Daten entstammen der Tabelle [Wasser Vorratshaltung] aus der Datei [TABELLE VAL Neue Systeme 2001 UBA II-2.XLS], die Absolutwerte der Indikatorergebnisse finden sich dort in den Zeilen 1402 ff, die normierten Ergebnisse (Einwohnerdurchschnittswerte, EDW) in den Zeilen 1182 ff; Die Berechnung der sog. „Netto“-Werte erfolgt durch Einbeziehung der Lastschriften und Gutschriften: [System]+[LS]-[GS]; Die EDW-Daten des Referenzszenarios aus Phase 1 sind in [UBA 2000], Tab. 5-3, dokumentiert.

Tabelle 4- 1: Untersuchungsbereich Mineralwasser Vorratskauf
 – Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut

Verpackungssysteme für Mineralwasser u.a. Wässer (Vorratskauf) Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Angaben je 1000 l Füllgut) Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren (Für das Referenzszenario aus Phase 1: Gut-Lastschriftverfahren nach der Marktmix-Methode)						
System Nr.:	Einheit	II-01 MW- Leichtglas	II-02 EW- Leichtglas	II-03 Rücklauf- PET 1,0l	II-04 Rücklauf- PET 1,5l	II-05 EW- PET(DSD)
Aquat. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	2,0	5,6	2,6	2,0	2,9
Terr. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	35	87	61	43	71
Naturraum (Forst)	m ²	0,52	1,80	1,21	0,91	0,46
Naturraum (Deponie)	m ²	0,0002	0,0027	0,0001	0,0001	0,0003
Sommersmog	g Äq	78	281	335	240	471
Ressourcenbeanspr.	kg ROÄq	14	50	28	20	33
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Ä	56	230	112	82	104
Versauerung	g SO ₂ -Äq	292	1131	925	671	1134
System Nr.:		II-06 EW-PET Pflichtpfand	II-07 EW-PET stille Wässer	Zum Vergleich: 0,7l MW-Weißglas (Referenzszenario aus Phase 1)		
Aquat. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	2,4	2,5	2,5		
Terr. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	55	60	59		
Naturraum (Forst)	m ²	0,46	0,46	1,02		
Naturraum (Deponie)	m ²	0,0001	0,0003	0,0003		
Sommersmog	g Äq	352	400	123		
Ressourcenbeanspr.	kg ROÄq	30	28	21		
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Ä	88	88	84		
Versauerung	g SO ₂ -Äq	910	962	446		

Tabelle 4- 2: Untersuchungsbereich Mineralwasser Vorratskauf –Indikatorergebnisse in EDW

Verpackungssysteme für Mineralwasser u.a. Wässer (Vorratskauf) Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Angaben in EDW) Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren (Für das Referenzszenario aus Phase 1: Gut-Lastschriftverfahren nach der Marktmix-Methode)					
System Nr.:	II-01 MW- Leichtglas	II-02 EW- Leichtglas	II-03 Rück- lauf-PET 1,0l	II-04 Rück- lauf- PET 1,5l	II-05 EW- PET(DSD)
Aquat. Eutrophierung	2.004	5.765	2.636	2.077	2.925
Terr. Eutrophierung	48.925	122.257	85.584	60.830	98.998
Naturraum (ges.)	957	3.291	2.210	1.673	848
Sommersmog	43.785	157.327	187.474	134.365	263.247
Ressourcenbeanspr.	45.514	161.929	91.391	66.123	108.295
Treibhauseffekt	33.972	139.095	67.782	49.727	63.056
Versauerung	41.688	161.647	132.237	95.945	162.120
System Nr.:	II-06 EW-PET Pflichtpfand	II-07 EW-PET stille Wässer	Zum Vergleich: 0,7l MW-Weißglas (Referenzszenario aus Phase 1)		
Aquat. Eutrophierung	2.462	2.584	2.584		
Terr. Eutrophierung	77.059	84.089	79.945		
Naturraum (ges.)	847	848	1.861		
Sommersmog	196.928	223.647	69.932		
Ressourcenbeanspr.	96.300	92.651	69.090		
Treibhauseffekt	53.313	53.190	50.996		
Versauerung	130.049	137.422	64.582		

4.3.1.1.1 Aquatische Eutrophierung

Die Ergebnisse der untersuchten Systeme weisen Werte zwischen 2,0 und 5,6 g PO₄-Ä_{quat} pro f.E. (funktionelle Einheit, hier 1000 l Mineralwasser) auf. Hieraus errechnen sich 2.000 bis 5.800 EDW.

Die Ergebnisse werden beim Mehrwegsystem II-01 im Wesentlichen durch die Einleitungen von CSB-Frachten beim Flaschenspülen verursacht. Bei System II-02 (Einweg-Leichtglasflasche) sind es vor allem Nitrat-Einleitungen bei der Grundstoffherstellung für den als Transportverpackung dienenden Karton. Bei den PET-Systemen sind vor allem CSB-Einleitungen bei der Herstellung von Bedeutung. Bei den Einweg-Systemen II-05 bis II-07 beträgt ihr Anteil am Gesamtergebnis etwa 75%, bei den Rücklauf-Systemen II-03 und II-04 etwa 50%.

4.3.1.1.2 Terrestrische Eutrophierung

Die Ergebnisse der untersuchten Systeme liegen zwischen 35 und 87 g PO₄-Ä_{terr} pro funktioneller Einheit; hieraus errechnen sich 50.000 bis 120.000 EDW.

Die Ergebnisse werden in allen Systemen von NO_x-Emissionen dominiert, die bei Herstellungs- und Transportprozessen zu verzeichnen sind. Hierbei zeichnet sich folgender Unterschied zwischen Mehrweg- und Einwegverpackungen ab: Während die NO_x-Emissionen beim den Mehrwegsystemen 01 zu über 70% aus der Distribution der gefüllten Verpackungen stammen, spielt diese bei den Einwegverpackungen nur eine untergeordnete Bedeutung. Hier stammt der überwiegende Anteil der NO_x-Emissionen aus der Herstellung der Verpackung oder aus der Erzeugung der hierfür benötigten Energie. Beim PET-Rücklaufsystem werden daneben etwa 20% der NO_x-Emissionen durch die Distribution verursacht.

4.3.1.1.3 Naturraumbeanspruchung

Die durch die untersuchten Verpackungssysteme verursachte Naturraumbeanspruchung wird in dieser Ökobilanz ausschließlich unter zwei wesentlichen Punkten betrachtet: einerseits durch forstwirtschaftliche Nutzung zur Herstellung von Holz und Papier, andererseits durch Deponieflächenbelegung zur Ablagerung der Verpackungsabfälle beanspruchter Naturraum²¹. Da eine Zusammenfassung dieser unterschiedlichen Flächennutzungsqualitäten im Rahmen der Charakterisierung nicht möglich ist, gehen beide Kategorien (im folgenden als

²⁰ Zur Berechnung der Einwohnerdurchschnittswerte siehe [UBA 2000], Kap. 3.3.1

²¹ Andere Flächenbelegungen, wie z.B. Verkehrs- und Lagerflächen sind demgegenüber als gering anzusehen. Sie wurden daher nicht in die Untersuchung einbezogen.

„Naturraumbeanspruchung (Forst)“, und „Naturraumbeanspruchung (Deponie)“, bezeichnet) getrennt voneinander in die Bewertung ein²².

Die untersuchten Verpackungssysteme kommen in der Kategorie Naturraumbeanspruchung (Forst) auf Werte zwischen 0,5 und 1,8 m² je funktioneller Einheit, hieraus errechnen sich etwa 850 bis 3.300 EDW. Die Ergebnisse sind zu etwa gleichen Teilen durch die Herstellung der Transportpalette und des Etiketts bedingt.

In der Kategorie Naturraumbeanspruchung (Deponie) liegen die Ergebnisse²³ in einer Größenordnung von 1 bis 27 cm².

4.3.1.1.1.4 Photochemische Oxidantienbildung/Sommersmog

Relevante Emissionen in dieser Wirkungskategorie sind Emissionen der sogenannten Vorläufersubstanzen, dies sind einerseits VOC (flüchtige organische Kohlenstoffverbindungen, über POCP charakterisiert und ausgedrückt in Ethen-Äquivalenten), andererseits NO_x (Stickoxide). In der Wirkungskategorie Photochemische Oxidantienbildung/Sommersmog werden diese Emissionen durch geometrische Mittelwertbildung mit dem Wirkungsindikator NCPOCP zu NO_x-korrigierten Ethen-Äquivalenten (NO_x/C₂H₄-Äq) zusammengefasst.

Die für die untersuchten Verpackungssystemen ermittelten relevanten Emissionen führen zu NCPOCP-Werten zwischen 80 und 470 g NO_x/C₂H₄-Äq. pro funktioneller Einheit. Hieraus errechnen sich etwa 44.000 bis 260.000 EDW.

Kohlenwasserstoffemissionen treten vor allem im Zusammenhang mit der Herstellung von Kunststoffen sowie - in geringerem Maße - bei Transportprozessen auf. Bei den PET-Systemen (System II-03 bis II-07) korreliert das Indikatorergebnis mit der pro funktioneller Einheit erforderlichen Materialmenge, da hier die POCP-Emissionen zu fast 90% durch die PET-Herstellung verursacht werden. Demgegenüber sind beim Mehrwegsystem II-01 etwa 60% der VOC-Emissionen durch die Distribution bedingt. Bei Leichtglas-Einweg stammen etwa 75% der Emissionen aus der Flaschenherstellung. Einen großen Anteil hat hierbei die Herstellung des zur Beschichtung verwendeten Kunststoffs.

4.3.1.1.1.5 Ressourcenbeanspruchung

²² vgl. Kap. 3.2.3.6

²³ Bei den Flächenangaben für den Deponiebedarf wurde – mangels geeigneterer Daten – für alle Materialien von einer Einbaudichte von 1 m³/t ausgegangen. In Anbetracht der bei den untersuchten Packstoffen (Glas, Kunststoff) sehr verschiedenen Materialdichten ist diese Annahme mit einer großen Unsicherheit verbunden. Da die Indikatorergebnisse zur Naturraumbeanspruchung (Deponie) wegen ihres sehr geringen spezifischen Beitrags (und damit einer nur mittleren ökologischen Priorität gemäß UBA-Bewertungsmethode) nur einen geringen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben, kann diese Unsicherheit jedoch vernachlässigt werden.

Die den Verpackungssystemen anzulastenden Verbräuche an nicht erneuerbaren Energieträgern belaufen sich auf Werte zwischen 14 und 50 kg Rohöl-Äquivalente (ROÄq) pro funktioneller Einheit. Hieraus errechnen sich 46.000 bis 160.000 EDW.

Der Verbrauch an nicht erneuerbaren Energieträgern hat unterschiedliche Ursachen: Während bei den PET-Systemen II-03 bis II-07 Erdöl und -gas überwiegend bei der Kunststoffherstellung eingesetzt wird (75% PET-,) und hier vor allem als feedstock Verwendung findet, werden die Verbräuche an nicht erneuerbaren Energieträgern beim Leichtglas-Mehrwegsystem II-01 zur Hälfte durch die Distribution und zu einem Viertel durch den Energiebedarf für das Flaschenspülen verursacht. Die Leichtglas-Einwegflasche (System II-03) kommt zum vergleichsweise höchsten Verbrauch an nicht erneuerbaren Energieträgern, der zu fast 75% durch den Energieeinsatz bei der Glasherstellung bedingt ist.

Aufgrund des großen Anteils am feedstock, den die nicht erneuerbaren Energieträger bei den PET-Systemen haben, ist das Indikatorergebnis hier besonders von der Art und Menge der Verwertung der gebrauchten Verpackungen abhängig. Die angerechnete Gutschrift beträgt bei den über das DSD verwerteten Systemen (II-05, II-07) etwa 25% des cut-off-Wertes, bei der Annahme einer hochwertigen werkstofflichen Verwertung bepfandeter Flaschen (II-08) beträgt sie etwa 33%.

4.3.1.1.1.6 Treibhauseffekt

Die durch die Untersuchungssysteme verursachten treibhausrelevanten Emissionen belaufen sich auf Werte zwischen 56 und 230 kg CO₂-Äquivalente pro funktioneller Einheit. Hieraus ergeben sich 34.000 bis 140.000 EDW

Die Ergebnisse in der Wirkungskategorie Treibhauseffekt sind bei den untersuchten Systemen fast ausschließlich auf CO₂-Emissionen zurückzuführen.

Die sektorale Verteilung der CO₂-Emissionen ähnelt bei den Leichtglas-Systemen der im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Verteilung der Nutzung nicht erneuerbarer Energieträger. So sind beim Leichtglas-Mehrwegsystem II-01 die Distribution und das Flaschenspülen die wichtigsten Quellen, beim Einwegsystem II-02 verursacht die Glasherstellung den größten Anteil an der CO₂-Emission. Ein wesentlicher Unterschied der CO₂-Emissionen zu den Ergebnissen der Wirkungskategorie Ressourcenbeanspruchung besteht bei allen PET-Systemen, bei denen ein maßgeblicher Anteil der fossilen Energieträger als feedstock genutzt wird und somit in der CO₂-Bilanz nicht erscheint.

4.3.1.1.1.7 Versauerung

Die den Untersuchungssystemen zuzuschreibenden Emissionen säurebildender Stoffe betragen zwischen 290 und 1.100 g SO₂-Äq pro funktioneller Einheit. Hieraus errechnen sich 40.000 bis 160.000 EDW.

Beim Leichtglas-Mehrwegsystem II-01 tragen vor allem die durch die Distribution verursachten Emissionen (überwiegend NO_x sowie in geringerem Maße SO₂) zu den Ergebnissen in der Wirkungskategorie Versauerung bei. Bei den PET-Rücklaufsystemen II-03 und II-04 beträgt der Anteil der PET-Herstellung 60%, Bei den PET-Einwegsystemen II-05 und II-06 beträgt er etwa 75%. Diese Ergebnisse sind zu etwa zwei Dritteln durch SO₂- und zu etwa einem Drittel durch NO_x-Emissionen verursacht. Beim System 02 (Glas-Einweg) werden knapp 80% der Emissionen von Säurebildnern durch die Glasherstellung verursacht.

4.3.1.1.8 Weitere, nicht zu Indikatoren aggregierte Sachbilanz-Ergebnisse

Die Ergebnisse zu den gesundheitlich und ökotoxikologisch relevanten Parametern sind den Sachbilanz-Dateien zu entnehmen.

Von den Luftschadstoffen mit gesundheitsgefährdendem Potenzial sind vor allem SO₂ (36.000 bis 260.000 EDW), Dieselpartikel (75.000 bis 160.000 EDW), und Cadmium (15.000 bis 48.000 EDW) zu nennen. Im Vergleich hierzu werden Luftschadstoffe mit kanzerogenem Potenzial in geringerer Menge emittiert (3.400 bis 6.700 EDW).

Mengenmäßig bedeutsame Emissionen mit ökotoxischem Potenzial sind NO_x- (90.000 bis 230.000 EDW) und SO₂-Emissionen (36.000 bis 260.000 EDW).

Die bilanzierten Staubemissionen lassen zwar eine mengenmäßig große Bedeutung erkennen (90.000 bis 3.240.000 EDW), die Daten erscheinen aber für eine Bewertung nicht geeignet, da hierfür weitere Informationen sowohl zur Zusammensetzung der Stäube als auch zur lokalen Exposition erforderlich wären.

Die Hauptquellen dieser Einzelschadstoffe sind im wesentlichen die gleichen, die bereits zuvor bei der Sektoralanalyse in den Wirkungskategorien genannt wurden. So wird beim Leichtglas-Mehrwegsystem 01 in fast allen Parametern der überwiegende Anteil an den Emissionen durch die Distribution verursacht (Ausnahme SO₂, hier dominiert die Erzeugung der für das Flaschenspülen benötigten Energie). Beim System II-02 (Leichtglas-Einweg) verursacht die Glasherstellung und, in geringerem Maße, der Transport sowohl der leeren als auch der gefüllten Flaschen die meisten Emissionen. Bei den PET-Systemen

II-03 bis II-07 werden die Emissionen hauptsächlich durch die PET-Herstellung verursacht.

Der Parameter „Dieselpartikel,“ stammt ausschließlich aus Transportprozessen. Während hiervon beim Mehrwegsystem und bei den Rücklaufsystemen der größte Anteil durch die Distribution und Leergutrückführung verursacht wird, spielt bei den Einwegsystemen auch der Transport der leeren Verpackungen vom Hersteller zum Abfüller sowie die Entsorgung eine wichtige Rolle.

4.3.1.1.2 Paarweise Vergleiche zwischen einzelnen Verpackungssystemen

Die Bewertung der neu hinzugekommenen Verpackungssysteme erfolgt, wie oben beschrieben, vor allem mit dem Ziel des Vergleichs zwischen Mehrweg- und Einwegsystemen. Für den Untersuchungsbereich „Mineralwasser - Vorratskauf“ steht hierbei der Vergleich zur 0,7 l GDB-Weißglasflasche als dem Verpackungssystem mit dem größten Marktanteil im Vordergrund. Dieses Verpackungssystem, das im Rahmen der Phase 1 dieser Ökobilanz untersucht wurde [UBA 2000], soll in den nachfolgenden Systemvergleichen als Referenzsystem (im folgenden: „System I-01“) dienen, d.h. alle anderen Verpackungssysteme dieses Untersuchungsbereiches werden im Vergleich zu diesem System I-01 betrachtet. Bei der vergleichenden Bewertung sind die unter Abs. 4.1.2 genannten Einschränkungen zu berücksichtigen.

4.3.1.1.2.1 System II-01: MW-Leichtglasflasche (PU-beschichtet) 1,0 l

Das Leichtglas-Mehrwegsystem II-01 unterscheidet sich vom Referenzsystem I-01 vor allem in folgenden Punkten:

1. Das beim System II-01 um über 40% (füllgutbezogen) geringere Gewicht der Flasche (490 g/l gegenüber 840 g/l) trägt zur Materialeinsparung bei und reduziert die mit der Distribution verbundenen Umweltbelastungen.
2. System II-01 weist aufgrund des größeren Flaschenvolumens und der Euro-Palette eine um 20% bessere Raumauslastung (Füllgut pro Palette) auf, was sich auf alle transportabhängigen Parameter begünstigend auswirkt.

Diese Randbedingungen führen dazu, dass sich in allen untersuchten Wirkungskategorien für das Leichtglas-Mehrwegsystem II-01 im Vergleich zum Referenzsystem I-01 niedrigere Indikatorergebnisse ergeben. Die Werte liegen bis zu 50% unter denen des Referenzszenarios. Die Gründe hierfür liegen vor allem in den günstigeren Transportbedingungen.

Dieser Ergebnisvergleich ist vor dem Hintergrund der unter 4.1.2 beschriebenen Einschränkungen zu bewerten. Während das in Phase 1 angewendete Allokationsverfahren, wie oben beschrieben, im Falle des Systems I-01 keinen nennenswerten Einfluss auf das Ergebnis hat, ist hierbei hervorzuheben, dass die

Annahmen, die dem System II-01 (Leichtglas-Mehrwegsystem) zugrunde liegen, im Gegensatz zu denen des Systems I-01 nicht hinreichend auf ihre Repräsentativität und Richtigkeit überprüft werden konnten. So entstammen zwar die Angaben zur Zusammensetzung des Verpackungssystems sowie zur Art der einzelnen Packmittel und deren Gewichten aus einem existierenden Verpackungssystem, eine Reihe von Annahmen ist aber mit Unsicherheiten behaftet:

- Die Umlaufzahl von 50 wurde mit der für das 0,7 l GdB-Glas-Mehrwegsystem gleichgesetzt. Es gibt allerdings keine gesicherten Hinweise darüber, ob das Leichtglassystem diese hohe Umlaufzahl unter normalen Marktbedingungen erreichen kann.
- Die Daten für die Polymer-Beschichtung des Glases sind aus Gründen der Vertraulichkeit nicht überprüfbar; so lässt sich keine Aussage darüber treffen, ob die Daten als repräsentativ einzuschätzen sind oder ob die Angaben einer besonders guten Anlage zugrunde gelegt wurden.
- Die Kastengröße von sechs Flaschen á 1,0 l führt zu einem vergleichsweise hohen Gewicht (füllgutbezogen) des Mehrwegkastens von 0,175 kg/l (zum Vergleich System II-03 – Rücklauf 1,0 l: 0,1 kg/l). Hier sind auch andere Kastengrößen als die des hier – eher zufällig gewählten als repräsentativen - Verpackungssystems vorstellbar²⁴.

Die mit diesen Unsicherheiten verbundenen Fehler im Ergebnis sind gemessen an den deutlichen Unterschieden der Ergebnisse bei einem Vergleich mit der 0,7 l-Mehrweg-Glasflasche als gering einzuschätzen, da die Flaschenherstellung auch bei Unterstellung einer geringeren Umlaufzahl keinen großen Anteil am Gesamtergebnis hat. Die oben getroffene Bewertung wird somit nicht grundsätzlich in Frage gestellt, die 1,0 l-Mehrweg-Leichtglasflasche stellt aus Umweltsicht gegenüber dem derzeit marktführenden Mehrwegsystem eine deutliche Verbesserung dar.

Dagegen können mit den vorliegenden Daten keine Rangfolgen-Aussagen bezüglich der Vergleiche zwischen dem Leichtglas-Mehrwegsystem und den ebenfalls in Phase 1 untersuchten PET-Mehrwegsystemen getroffen werden da die Ergebnisse hier so dicht beieinander liegen, dass sich angesichts der oben dargestellten Unschärfen keine hinreichend sicheren Aussagen treffen lassen.

²⁴Allerdings wäre ein gefüllter 12er-Kasten Mehrweg-Leichtglas mit ca. 19 kg vergleichsweise schwer. Zum Vergleich: 12er-Kasten 0,7 GdB-Perlglas: ca. 17 kg, 12er-Kasten 1,0 Rücklaufflasche: unter 14 kg.

4.3.1.1.2.2 System II-02: EW-Leichtglasflasche (PE/EP-beschichtet) 1,0 l

Das System II-02 weist gegenüber dem in Phase 1 untersuchten Einweg-Weißglas-Verpackungssystem I-03 folgende ergebnisrelevanten Unterschiede auf:

1. Das Flaschengewicht der Einweg-Leichtglasflasche beträgt nur 67% der Einweg-Weißglasflasche I-03.
2. Die Gewichtsreduktion wird durch eine PE/EP-Beschichtung von 3 g je Flasche ermöglicht. Zusätzlich ist das Etikett des Systems II-02 aus 2 g PS zu berücksichtigen (die Einwegflasche in Phase 1 hatte ein Papieretikett).
3. System II-02 hat gegenüber System I-03 einen günstigeren Stapelplan (45 an Stelle von 40 Kartons pro Palette). Wie sich anhand des Systems 18 in Phase 1 zeigt, lässt sich eine solche Beladung aber auch mit herkömmlichen Glasflaschen realisieren, sie ist also nicht ursächlich dem Leichtglas zuzuschreiben.

Die Indikatorergebnisse für das System II-02 liegen mit Ausnahme der Wirkungskategorie Sommersmog signifikant unter denen des Einweg-Weißglassystems I-03 aus Phase 1. Die Ursachen hierfür sind in den - bedingt durch die Materialeinsparung - geringeren Emissionen bei der Glasherstellung und beim Transport zu sehen.

Der Vergleich mit dem Mehrweg-Referenzsystem aus Phase 1 (System I-01) zeigt dagegen deutliche Nachteile auf Seiten der Einwegflasche in allen untersuchten Wirkungskategorien. Die Belastungen liegen je nach Wirkungskategorie zwischen 50% und 170% höher als die entsprechenden für System I-01 ermittelten Werte. Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Systeme II-02 und I-01 liegen deutlich über dem Schwankungsbereich, der durch den Wechsel der Allokationsmethode (weniger als 1%, siehe Abs. 4.1.2), zu erwarten ist.

4.3.1.1.2.3 Systeme II-03 und II-04: PET-Rücklaufflasche 1,0 l und 1,5 l

Die untersuchten PET-Rücklaufsysteme zeichnen sich gegenüber dem 0,7 l-Glas-Mehrwegsystem I-01 aus Phase 1 vor allem durch folgende ergebnisrelevanten Unterschiede aus:

1. Die transportbedingten Umweltlasten sind aufgrund der besseren Raumauslastung der PET-Rücklaufsysteme (480 l bzw. 576 l gegenüber 403 l je Palette) und des deutlich niedrigeren spezifischen Verpackungsgewichts (180 g/l gegenüber 1.100 g/l) geringer als bei System I-01.
2. Die für das Mehrwegsystem ergebnisrelevanten Energieaufwendungen für das Flaschenspülen entfallen beim Rücklaufsystem.

3. Bei der Mehrweg-Glasflasche fallen die bei der Glasherstellung verursachten Umweltbelastungen nur gering ins Gewicht, da jede Flasche im Durchschnitt 50 mal verwendet wird (Primärmaterialverbrauch: 16,9 kg Glas/1000 l). Beim PET-Stoffkreissystem muss dagegen statistisch gesehen für jede zweite Flasche Primär-PET hergestellt werden (Primärmaterialverbrauch: 16,0 kg PET/1000 l (System II-03) und 11,7 kg PET/1000 l (System II-04)).

Ein Vergleich der Wirkungsindikatorergebnisse der Systeme II-03 und II-04 mit denen des Systems I-01 kommt zu folgenden Ergebnissen:

Mit Ausnahme der beiden Wirkungskategorien „Sommersmog“ und „Versauerung“ unterscheiden sich die Indikatorergebnisse der Rücklaufsysteme und die des 0,7 l-Mehrwegsystems nicht sehr stark voneinander. Die Ergebnisse der 1,5 l-Variante liegen – abgesehen von den beiden o.g. Ausnahmen - geringfügig unter denen des Mehrwegsystems, während sie für die 1,0 l-Variante bis maximal 30% darüber liegen.

In den Wirkungskategorien Sommersmog und Versauerung weisen die Rücklaufsysteme dagegen signifikant höhere Ergebnisse auf. Die Indikatorergebnisse zum Sommersmog betragen das Doppelte (System II-04) bzw. das Zweieinhalbfache (System II-03) des entsprechenden Wertes für System I-01. Der wichtigste Grund hierfür sind VOC-Emissionen, vor allem im Verlauf der Kunststoff-Vorkette. Die Indikatorergebnisse zur Versauerung übersteigen die des Systems I-01 um 50% (System II-04) bzw. 100% (System II-03). Die Ursache für diese Ergebnisse sind vor allem SO₂-Emissionen im Rahmen der PET-Herstellung.

Zusammengefasst ergeben sich für das 1,0 l-PET-Rücklauf-System II-03 gegenüber dem 0,7 l-Glas-Mehrwegsystem aus Umweltsicht Nachteile. Auch bei dem PET-Rücklauf-System mit 1,5 l-Gebinde (System II-04) sind insgesamt, wenn auch in geringerem Maße, Nachteile erkennbar. Hier stellt sich jedoch zusätzlich die grundsätzliche Frage der Vergleichbarkeit zwischen einer Verpackung von 0,7 l und einer von 1,5 l²⁵.

Die Ergebnisse stehen weiterhin unter dem in 4.1.2 beschriebenen Vorbehalt. Während der Wechsel des Allokationsverfahrens nur geringen Einfluss auf das Ergebnis hat, sind die Annahmen zum Recycling, d.h. die zu Beginn des Jahres 2001 angenommene Rückführquote von 95% und der angenommene Anteil an Sekundär-PET zur Flaschenherstellung von 50% bei großer Ergebnisrelevanz als relativ unsicher anzusehen.

²⁵ Der Vergleich ist nur zulässig, wenn beide Systeme funktionell äquivalent sind. Im konkreten Fall trifft dies nur dann zu, wenn mit der mehr als doppelt so großen Verpackung für den Verbraucher keine wesentliche Einbuße in der Funktion der Verpackung (z.B. Gewährleistung der Haltbarkeit des Getränks) verbunden ist.

Die aktuell nachgewiesene Rücklaufquote liegt bei 98,5%²⁶. Die angenommene Einsatzquote von 50% ist möglicherweise vor allem durch das derzeit begrenzte Angebot an Sekundär-PET bedingt. Eine Steigerung der Einsatzquote ist zukünftig nicht auszuschließen.

4.3.1.1.2.4 Systeme II-05 bis II-07: PET-Einwegflasche 1,5 l

Die in den Systemen II-05 bis II-07 untersuchten PET-Einwegflaschen unterscheiden sich zu den im vorhergehenden Abschnitt behandelten PET-Rücklaufsystemen dahingehend, dass hier nur ein geringer Teil des Materials im closed-loop verwertet wird (Sekundär-PET-Einsatz bei den Systemen II-05 und II-06: 5%, bei System II-07: 0%).

Im Falle der Systeme II-05 und II-07 werden die gebrauchten Verpackungen über das DSD erfasst und größtenteils rohstofflich verwertet (s. Abb. 2-4).

Beim Szenario II-06 wird von einem Vollzug der Pfandpflicht gemäß §8 Abs.1 VerpackV ausgegangen. Bedingt durch die bei Pfandpflicht höhere Erfassungsrate und die größere Sortenreinheit des über Pfandautomaten zurückgeführten Alt-PET ist hier eine höhere Verwertungsrate (Annahme: 95%) und aufgrund der sortenreinen Erfassung ein höheres Potenzial an werkstofflicher Verwertung zu erwarten.

System II-07 unterscheidet sich von System II-05 in einem um 20% geringeren Flaschengewicht, aufgrund dessen sich diese Flasche nur für kohlendioxidarme Wässer eignet.

Bei einem Vergleich der Ergebnisse dieser drei Systeme in Tabelle 4- 1 untereinander zeigt sich folgendes:

- Die bei einer Pfandpflicht (System II-06) zu erwartenden sowohl quantitativ als auch qualitativ günstigeren Bedingungen führen in fast allen Wirkungskategorien zu besseren Ergebnissen (Minderbelastungen zwischen 10 und 20%).
- Die Reduzierung des Flaschengewichts in System II-07 führt in fast allen Wirkungskategorien zu einer Verringerung der Belastungen von maximal 15%.

Der direkte Vergleich zu dem im vorangegangenen Abschnitt 4.3.1.1.2.3 beschriebenen 1,5 l PET-Rücklaufsystem (System II-04) lässt erkennen, dass das Einwegsystem selbst im günstigen Fall einer hohen werkstofflichen Verwertung (Pflichtpfand, System II-06) in fast allen Wirkungskategorien²⁷ etwas höhere

²⁶ Telefonische Mitteilung von H. Wolters, PETCYCLE, am 16.05.02.

²⁷ Ausnahme: Naturraumbeanspruchung. Grund hierfür sind die Papieretiketten beim Rücklaufsystem; für die Einwegsysteme wurden HDPE-Etiketten angenommen.

Belastungen aufweist. Hier macht sich beim Rücklaufsystem der mit 50% vergleichsweise hohe Einsatz an PET-Recyclat bemerkbar.

Der Vergleich des PET-Einwegsystems II-05 mit dem in Phase 1 untersuchten Mehrwegsystem I-01 zeigt, dass, mit Ausnahme der Wirkungskategorie Naturraumbeanspruchung, alle Indikatorergebnisse signifikant höher liegen als die des Mehrwegsystems. Wie bereits bei den PET-Rücklaufsystemen sind die Unterschiede in den Wirkungskategorien Sommersmog und Versauerung besonders groß (das 3,8- bzw. das 2,5-fache des Mehrwegsystems).

Die beiden PET-Einweg-Systeme mit veränderten Randbedingungen (Pflichtpfand, System II-06 und Gewichtsreduktion bei stillen Wässern, System II-07) zeigen in den meisten Wirkungskategorien ähnliche Indikatorergebnisse wie System I-01. Wie bei den zuvor genannten PET-Rücklaufsystemen fallen jedoch die deutlichen Mehrbelastungen in den Wirkungskategorien Sommersmog und Versauerung auf. Dagegen steht auf der Seite des Mehrwegsystems aufgrund des Papieretiketts eine Mehrbelastung bei der Naturraumbeanspruchung durch forstliche Nutzung, die aber wegen des geringen spezifischen Beitrags als nachrangig zu bewerten ist. Insgesamt gesehen lassen die untersuchten PET-Einwegsysteme gegenüber dem Mehrwegsystem aus Umweltsicht somit signifikante Nachteile erkennen.

Die Ergebnisse stehen unter dem in 4.1.2 beschriebenen Vorbehalt. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass der Wechsel des Allokationsverfahrens nur geringen Einfluss auf das Ergebnis hat²⁸. Auch die Unsicherheiten hinsichtlich zukünftiger Verwertungsverfahren stellen das Ergebnis nicht in Frage, da sich, wie gezeigt werden konnte, auch unter optimierten Bedingungen kein grundsätzlich anderes Ergebnis einstellt. Das Ergebnis ist somit als hinreichend gesichert zu bewerten.

4.3.1.2 Untersuchungsbereich Mineralwasser - Sofortverzehr

4.3.1.2.1 Diskussion der Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

Im Untersuchungsbereich „Verpackungssysteme für Mineralwasser - Sofortverzehr“ wurden folgende Verpackungssysteme neu untersucht:

System II-08 PET-Mehrwegflasche 0,5 l

System II-09 PET-Einwegflasche 0,5l

Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung sind als Absolutwerte in Tabelle 4- 3 und in Form von EDW (Einwohnerdurchschnittswerte, bezogen auf den Jahres-

²⁸ <1% für das zum Vergleich stehende Mehrwegsystem.

verbrauch an Mineralwasser im Untersuchungsbereich „Sofortverzehr,“) ²⁹ in Tabelle 4- 4 zusammengefasst. Die Daten wurden aus den in Kap. 3.2 genannten Dateien berechnet ³⁰.

Tabelle 4- 3: Untersuchungsbereich Mineralwasser Sofortverzehr –
Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut

Verpackungssysteme für Mineralwasser u.a. Wässer (Sofortverzehr)					
Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Angaben je 1000 l Füllgut)					
Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren					
(Für das Referenzszenario aus Phase 1: Gut-Lastschriftverfahren nach der Marktmix-Methode)					
System Nr.:		II-08 MW-PET 0,5 l	II-09 EW-PET 0,5 l		Zum Vergleich: 0,25 l MW-„Gastro“ (Referenzszenario I-07 aus Phase 1)
Aquat. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	2,2	8,3		2,8
Terr. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	74	129		97
Naturraum (Forst)	m ²	0,34	2,24		0,67
Naturraum (Deponie)	m ²	0,0001	0,0006		0,0012
Sommersmog	g Äq	284	866		201
Ressourcenbeanspr.	kg ROÄq	30	61		38
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Ä	105	198		167
Versauerung	g SO ₂ -Äq	766	2106		833

Tabelle 4- 4: Untersuchungsbereich Mineralwasser Sofortverzehr –
Indikatorergebnisse in EDW

Verpackungssysteme für Mineralwasser u.a. Wässer (Sofortverzehr)					
Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Angaben in EDW)					
Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren					
(Für das Referenzszenario aus Phase 1: Gut-Lastschriftverfahren nach der Marktmix-Methode)					
System Nr.:		II-08 MW-PET 0,5 l	II-09 EW-PET 0,5 l		Zum Vergleich: 0,25 l MW-„Gastro“ (Referenzszenario I-07 aus Phase 1)
Aquat. Eutrophierung		163	613		206
Terr. Eutrophierung		7.447	13.055		9.800
Naturraum (ges.)		45	295		90
Sommersmog		11.460	34.907		8.080
Ressourcenbeanspr.		7.000	14.320		8.840
Treibhauseffekt		4.572	8.637		7.290
Versauerung		7.888	21.686		8.580

4.3.1.2.1 Aquatische Eutrophierung

²⁹ Zur Berechnung der Einwohnerdurchschnittswerte siehe [UBA 2000], Kap. 3.3.1

³⁰ Die Daten entstammen der Tabelle [Wasser Sofortverzehr] aus der Datei [TABELLE VAL Neue Systeme 2001 UBA II-2.XLS], die Absolutwerte der Indikatorergebnisse finden sich dort in den Zeilen 1402 ff, die normierten Ergebnisse (Einwohnerdurchschnittswerte, EDW) in den Zeilen 1182 ff; Die Berechnung der sog. „Netto“-Werte erfolgt durch Einbeziehung der Lastschriften und Gutschriften: [System]+[LS]-[GS]; Die EDW-Daten des Referenzszenarios aus Phase 1 sind in [UBA 2000], Tab. 5-5, dokumentiert.

Die Ergebnisse der untersuchten Systeme weisen Werte zwischen 2,2 und 8,3 g PO₄-Äq_{aquat} pro f.E. (funktionelle Einheit, hier 1000 l Mineralwasser) auf. Hieraus errechnen sich 160 bis 610 EDW.

Die Ergebnisse werden beim PET-Mehrwegsystem II-08 im wesentlichen durch die Einleitungen von CSB-Frachten beim Flaschenspülen verursacht. Bei System II-09 (PET-Einwegflasche) trägt die PET-Herstellung mit etwas über der Hälfte und die Grundstoffherstellung für den als Transportverpackung dienenden Karton mit etwa 25% zu den Einleitungen mit aquatischem Eutrophierungspotenzial bei.

4.3.1.2.1.2 Terrestrische Eutrophierung

Die Ergebnisse der untersuchten Systeme liegen zwischen 74 und 129 g PO₄-Äq_{terr} pro funktioneller Einheit; hieraus errechnen sich 7.400 bis 13.000 EDW.

Die Ergebnisse werden in allen Systemen von NO_x-Emissionen dominiert, die bei Herstellungs- und Transportprozessen zu verzeichnen sind. Hierbei zeichnet sich folgender Unterschied zwischen Mehrweg- und Einwegverpackungen ab: Während die NO_x-Emissionen beim Mehrwegsystem zu über der Hälfte aus der Distribution der gefüllten Verpackungen stammen, hat diese bei der Einwegverpackung nur eine untergeordnete Bedeutung. Hier stammen die NO_x-Emissionen zu über 75% aus der PET-Herstellung.

4.3.1.2.1.3 Naturraumbeanspruchung

Die untersuchten Verpackungssysteme kommen in der Kategorie Naturraumbeanspruchung (Forst) auf Werte zwischen 0,3 und 2,4 m² je funktioneller Einheit, hieraus errechnen sich etwa 45 bis 300 EDW. Die Ergebnisse sind beim Einwegsystem II-08 zu etwa gleichen Teilen durch die Herstellung der Transportpalette und des Etiketts bedingt, beim Mehrwegsystem II-09 ausschließlich durch die Herstellung der Transportpalette.

In der Kategorie Naturraumbeanspruchung (Deponie) liegen die Ergebnisse in einer Größenordnung von 1 bis 6 cm².

4.3.1.2.1.4 Photochemische Oxidantienbildung/Sommersmog

Relevante Emissionen in dieser Wirkungskategorie sind Emissionen der sogenannten Vorläufersubstanzen, dies sind einerseits VOC (flüchtige organische Kohlenstoffverbindungen, über POCP charakterisiert und ausgedrückt in Ethen-Äquivalenten), andererseits NO_x (Stickoxide). In der Wirkungskategorie Photochemische Oxidantienbildung/Sommersmog werden diese Emissionen durch

³¹ Zur Berechnung der Einwohnerdurchschnittswerte siehe [UBA 2000], Kap. 3.3.1

geometrische Mittelwertbildung mit dem Wirkungsindikator NCPOCP zu NO_x -korrigierten Ethen-Äquivalenten ($\text{NO}_x/\text{C}_2\text{H}_4$ -Äq) zusammengefasst.

Die für die untersuchten Verpackungssystemen ermittelten relevanten Emissionen führen zu NCPOCP-Werten zwischen 280 und 870 g $\text{NO}_x/\text{C}_2\text{H}_4$ -Äq. pro funktioneller Einheit. Hieraus errechnen sich etwa 11.000 bis 35.000 EDW.

Kohlenwasserstoffemissionen treten vor allem im Zusammenhang mit der Herstellung von Kunststoffen sowie - in geringerem Maße - bei Transportprozessen auf. Beim PET-Einwegsystem (System II-09) stammen über 90% der VOC-Emissionen aus der PET-Erzeugung. Beim PET-Mehrwegsystem II-08 werden dagegen nur etwa 60% der VOC-Emissionen durch die PET-Herstellung verursacht. Daneben trägt die Kunststoffherstellung für Verschlüsse und Etiketten mit 20% sowie der Transport mit 12% zu den VOC-Emissionen bei. Beim Transport sind vor allem NO_x -Emissionen für die photochemische Oxidantienbildung von Bedeutung.

4.3.1.2.1.5 Ressourcenbeanspruchung

Die den Verpackungssystemen anzulastenden Verbräuche an nicht erneuerbaren Energieträgern belaufen sich auf Werte zwischen 30 und 60 kg Rohöl-Äquivalente (ROÄq) pro funktioneller Einheit. Hieraus errechnen sich 7.000 bis 14.000 EDW.

Der Verbrauch an nicht erneuerbaren Energieträgern hat unterschiedliche Ursachen: Während beim PET-Einwegsystemen II-09 Erdöl und -gas fast ausschließlich bei der Kunststoffherstellung eingesetzt wird (85% für die PET-Flasche, 10% für den Verschluss) und hier vor allem als feedstock Verwendung findet, entfällt beim PET-Mehrwegsystem II-08 nur etwa die Hälfte der eingesetzten nicht erneuerbaren Energieträger auf die Kunststoffherstellung (PET-Flasche 25%, Verschluss 20%, Etikett 7%). Daneben werden sie zu etwa einem Drittel durch die Distribution und zu 13% durch den Energiebedarf für das Flaschenspülen verursacht.

Aufgrund des großen Anteils am feedstock, den die nicht erneuerbaren Energieträger bei den PET-Systemen haben, ist das Indikatorergebnis hier besonders von der Art und Menge der Verwertung der gebrauchten Verpackungen abhängig. Die angerechnete Gutschrift beträgt beim Einwegsystem II-09 fast 25%, beim Mehrwegsystem II-08 etwa 22% des jeweiligen cut-off-Wertes.

4.3.1.2.1.6 Treibhauseffekt

Die durch die Untersuchungssysteme verursachten treibhausrelevanten Emissionen belaufen sich auf Werte zwischen 105 und 200 kg CO_2 -Äquivalente pro funktioneller Einheit. Hieraus ergeben sich 4.600 bis 8.600 EDW

Die Ergebnisse in der Wirkungskategorie Treibhauseffekt sind bei den untersuchten Systemen fast ausschließlich auf CO₂-Emissionen zurückzuführen.

In der sektoralen Verteilung der CO₂-Emissionen dominieren beim PET-Mehrwegsystem II-08 die Distribution und das Flaschenspülen mit jeweils einem Drittel des Ergebnis, beim PET-Einwegsystem II-09 verursacht die Herstellung des PET und der PET-Flasche mit etwa 75% den größten Anteil an den CO₂-Emissionen.

4.3.1.2.1.7 Versauerung

Die den Untersuchungssystemen zuzuschreibenden Emissionen säurebildender Stoffe, betragen zwischen 770 und 2.100 g SO₂-Äq pro funktioneller Einheit. Hieraus errechnen sich 7.900 bis 22.000 EDW.

Die sektorale Verteilung der SO₂-Emissionen ähnelt der zuvor beschriebenen des CO₂. Während beim PET-Mehrwegsystem vor allem die durch die Distribution (überwiegend NO_x sowie in geringerem Maße SO₂) und durch die Flaschenreinigung verursachten Emissionen zu den Ergebnissen in der Wirkungskategorie Versauerung beitragen, dominiert beim PET-Einwegsystem der Anteil der PET- und der PET-Flaschen-Herstellung.

4.3.1.2.1.8 Weitere, nicht zu Indikatoren aggregierte Sachbilanz-Ergebnisse

Die Ergebnisse zu den gesundheitlich und ökotoxikologisch relevanten Parametern sind den Sachbilanz-Dateien zu entnehmen.

Von den Luftschadstoffen mit gesundheitsgefährdendem Potenzial sind vor allem SO₂ (9.000 bis 35.000 EDW), Dieselpartikel (11.000 bis 22.000 EDW), und Cadmium (2.300 bis 3.200 EDW) zu nennen. Im Vergleich hierzu werden Luftschadstoffe mit kanzerogenem Potenzial nur in geringer Menge emittiert.

Mengenmäßig bedeutsame Emissionen mit ökotoxischem Potenzial sind NO_x- (14.000 bis 25.000 EDW) und SO₂-Emissionen (9.000 bis 35.000 EDW).

Die bilanzierten Staubemissionen lassen zwar eine mengenmäßig große Bedeutung erkennen (4.700 bis 21.000 EDW), die Daten erscheinen aber für eine Bewertung nicht geeignet, da hierfür weitere Informationen sowohl zur Zusammensetzung der Stäube als auch zur lokalen Exposition erforderlich wären.

Die Hauptquellen dieser Einzelschadstoffe sind im wesentlichen die gleichen, die bereits zuvor bei der Sektoralanalyse in den Wirkungskategorien genannt wurden. So wird beim PET-Mehrwegsystem II-08 in fast allen Parametern der überwiegende Anteil an den Emissionen durch die Distribution verursacht (Ausnahme SO₂, hier dominiert die Erzeugung der für das Flaschenspülen

benötigten Energie). Beim System II-09 (PET-Einweg) verursacht die PET-Herstellung die meisten Emissionen.

Der Parameter „Dieselpartikel,“ stammt ausschließlich aus Transportprozessen. Während hiervon beim Mehrwegsystem der größte Anteil durch die Distribution und Leergutrückführung verursacht wird, spielt bei den Einwegsystemen auch der Transport der leeren Verpackungen vom Hersteller zum Abfüller sowie die Entsorgung eine wichtige Rolle.

4.3.1.2.2 Paarweise Vergleiche zwischen einzelnen Verpackungssystemen

Die Bewertung der neu hinzugekommenen Verpackungssysteme erfolgt, wie oben beschrieben, vor allem mit dem Ziel des Vergleichs zwischen Mehrweg- und Einwegsystemen. Im Untersuchungsbereich „Mineralwasser - Sofortverzehr“ stehen sich die beiden untersuchten PET-Systeme (PET-Mehrweg II-08, PET-Einweg: II-09) gegenüber. Daneben ist aber auch der Vergleich zu der 0,25 l Grünglasflasche („Gastro“) von Interesse, die in Phase 1 als Referenzsystem I-07 diente. Bei der vergleichenden Bewertung mit dem letztgenannten System sind die unter Abs. 4.1.2 genannten Einschränkungen zu berücksichtigen.

4.3.1.2.2.1 Vergleich zwischen den Systemen II-08 und II-09

Die beiden untersuchten PET-Verpackungssysteme für Mineralwasser (Sofortverzehr) unterscheiden sich vor allem in folgenden Punkten:

1. Die PET-Mehrwegflasche in System II-08 wiegt - bei gleichem Füllvolumen - etwa doppelt so viel wie die PET-Einwegflasche in System II-09. Da sie im Mittel etwa 15 mal genutzt wird, beträgt der PET-Materialaufwand je funktionseller Einheit aber nur etwa 15% des Einwegsystems.
2. Beim Transport ist der Raumbedarf des Mehrwegsystems nur geringfügig höher als der des Einwegsystems. Vor allem aufgrund des höheren Gewichts der Mehrwegkästen ist das gesamte Verpackungssystem II-08 aber etwa dreimal so schwer wie das System II-09, was sich ungünstig auf alle transportabhängigen Parameter auswirkt.

Diese Randbedingungen führen insgesamt zu z.T. erheblich niedrigeren Indikatorergebnissen für das PET-Mehrwegsystem II-08 im Vergleich zum PET-Einwegsystem II-09 in allen untersuchten Wirkungskategorien (siehe Tabelle 4-3, Seite 182).

4.3.1.2.2.2 Vergleich System II-08 zum Referenzsystem aus Phase 1

Da der Untersuchungsrahmen in Phase 1 (Status-Quo-Analyse) zielgemäß auf marktgängige Verpackungssysteme beschränkt war, stand für den Untersu-

chungsbereich Mineralwasser (Sofortverzehr) mit der 0,25 l-„Gastro“-Flasche (System I-07) lediglich ein Mehrwegsystem zur Verfügung, das aufgrund seines auf den Gastronomiebereich beschränkten Einsatzes als Referenzsystem nur beschränkt tauglich erschien. Die Vergleichbarkeit dieses Systems mit anderen Verpackungssystemen für den Sofortverzehr, insbesondere für den Freizeitbereich, wurde wegen der Nicht-Wiederverschließbarkeit und des relativ geringen Füllgutvolumens von mehreren Seiten in Frage gestellt.

In Phase 2 wurde mit dem 0,5 l-PET-Mehrwegsystem (II-08) ein Verpackungssystem untersucht, das wegen seines relativ geringen Gewichts, seines zweckmäßigen Füllvolumens und der Möglichkeit des Wiederverschließens als grundsätzlich für den Freizeitbereich geeignet und als eine potenzielle Alternative zu den hier marktüblichen Einwegverpackungen angesehen werden kann.

Das 0,5 l-PET-Mehrwegsystem (II-08) unterscheidet sich von dem in Phase 1 untersuchten 0,25 l-Glas-Mehrweg-System (System I-07) vor allem in folgenden Punkten:

1. Der Materialaufwand für die 0,5 l-PET-Mehrwegflasche beträgt pro funktioneller Einheit (1000 l Füllgut) bei der zugrunde gelegten Umlaufzahl von 15 etwa 5,7 kg PET. Dem stehen bei der 0,25 l-„Gastro“-Flasche in System I-07 bei unterstellten 29 Umläufen etwa 35 kg Grünglas gegenüber.
2. Beim Transport zeigt das PET-Mehrwegsystem gegenüber dem Glas-Mehrwegsystem sowohl in der Raumauslastung als auch im Gesamtgewicht deutliche Vorteile. Die pro Palette beförderte Getränkemenge ist bei PET-Mehrweg fast doppelt so hoch, das Gewicht des PET-Mehrwegsystems beträgt beim Transport pro funktioneller Einheit weniger als 25% des Gewichts des Glas-Mehrwegsystems.

Der Vergleich der Indikatorergebnisse beider Systeme (siehe Tabelle 4- 3, Seite 182) zeigt signifikante Vorteile auf Seiten des PET-Mehrwegsystems bei allen Wirkungskategorien mit Ausnahme der Wirkungskategorie „Sommersmog“. Die Mehrbelastungen auf Seiten des Glassystems liegen zwischen 10% und 100%.

Dieser Ergebnisvergleich ist vor dem Hintergrund der unter 4.1.2 beschriebenen Einschränkungen zu bewerten. Während das in Phase 1 angewendete Allokationsverfahren, wie in Kap. 4.1.2 beschrieben, im Falle des Systems I-07 keinen nennenswerten Einfluss auf das Ergebnis hat, ist hierbei hervorzuheben, dass die Annahmen, die dem System II-08 (PET-Mehrwegsystem) zugrunde liegen, im Gegensatz zu denen des Systems I-07 nicht hinreichend auf ihre Repräsentativität und Richtigkeit überprüft werden konnten. So entstammen zwar die Angaben zur Zusammensetzung des Verpackungssystems sowie zur Art der ein-

zelenen Packmittel und deren Gewichten aus einem existierenden Verpackungssystem, eine Reihe von Annahmen ist aber mit Unsicherheiten behaftet:

- Die Umlaufzahl von 15 wurde aufgrund der Erfahrungen mit einem gering verbreiteten System nur eines Abfüllers festgelegt. Es ist nicht auszuschließen, dass etablierte PET-Systeme auch zu höheren Umlaufzahlen kommen können³².
- Dagegen ist der Einsatz von 100% Recycling-HDPE für den Getränkekasten als optimistische Annahme zu bewerten. In Phase 1 wurde hierbei von 50% Recyclat ausgegangen.

Aufgrund der deutlichen Unterschiede der Ergebnisse kann aber davon ausgegangen werden, dass die Berücksichtigung der Unsicherheiten das Gesamtergebnis nicht grundlegend beeinflusst. Das 0,5 l-PET-Mehrwegsystem stellt gegenüber dem in Phase 1 untersuchten und als Referenzsystem zugrunde gelegte 0,25 l-Grünglas-Mehrwegsystem („Gastro“) aus Umweltsicht eine deutliche Verbesserung dar.

4.3.1.2.2.3 Vergleich System II-09 zum Referenzsystem aus Phase 1

Der Vergleich des PET-Einwegsystems mit dem Referenzsystem aus Phase 1 erscheint angebracht, da auch dieses – für ein Mehrwegsystem relativ ungünstige – System I-07 (0,25 l-Mehrweg-Grünglas „Gastro“) den Schutz als „ökologisch vorteilhafte Getränkeverpackung“ nach §9 VerpackV genießt.

Die beiden Systeme unterscheiden sich vor allem in folgenden ergebnisrelevanten Punkten:

1. Der Materialaufwand für die 0,5 l-PET-Einwegflasche beträgt pro funktioneller Einheit (1000 l Füllgut) 42 kg PET. Dem stehen bei der 0,25 l-„Gastro“-Flasche in System I-07 bei unterstellten 29 Umläufen etwa 35 kg Grünglas gegenüber.
2. Beim Transport zeigt das PET-Einwegsystem gegenüber dem Glas-Mehrwegsystem sowohl in der Raumauslastung als auch im Gesamtgewicht deutliche Vorteile. Die pro Palette beförderte Getränkemenge ist bei PET-Mehrweg mehr als doppelt so hoch, die Masse des PET-Einwegsystems beträgt pro funktioneller Einheit nur etwa 7% der Masse des Glas-Mehrwegsystems.

Ein Vergleich der Ergebnisse dieser beiden Systeme in Tabelle 4- 3 auf Seite 182 macht aber insgesamt deutlich, dass beim PET-Einwegsystem die

³² Da zu Mehrweg-Getränkeverpackungen im außer-Haus-Bereich allgemein nur wenige Erfahrungen vorliegen, sind Annahmen über die realistischere erreichbare Höhe der Umlaufzahlen als relativ unsicher zu bewerten.

Nachteile im Materialbedarf die Vorteile beim Transport bei weitem übersteigen. Auch gegenüber dem relativ ungünstigen Mehrwegsystem 0,25 l-Mehrweg-Grünglas „Gastro“ kommt das PET-Einwegsystem II-09 zu signifikant höheren Werten. Die Unterschiede liegen zwischen 20% (Treibhauseffekt) und einem Ergebnis in mehr als vierfacher Höhe (Sommersmog).

4.3.1.3 Untersuchungsbereich Kohlensäurehaltige Erfrischungsgetränke - Sofortverzehr

4.3.1.3.1 Diskussion der Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

Im Untersuchungsbereich „Verpackungssysteme für Kohlensäurehaltige Erfrischungsgetränke - Sofortverzehr“ wurden folgende Verpackungssysteme neu untersucht:

System II-10 Glas-Mehrwegflasche 0,5 l

System II-11 Aluminiumdose 0,5 l

System II-12 Weißblechdose 0,5l

Zu den beiden letztgenannten Systemen wurden außerdem Sensitivitätsuntersuchungen durchgeführt, in denen die Verwertungsquote verringert wurde³³:

Szenario II-33 Weißblechdose 0,5l, Verwertungsquote von 90% auf 84%

Szenario II-34 Aluminiumdose 0,5l, Verwertungsquote von 84% auf 79%

Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung sind als Absolutwerte in Tabelle 4- 5 und in Form von EDW (Einwohnerdurchschnittswerte, bezogen auf den Jahresverbrauch an CO₂-haltigen Erfrischungsgetränken im Untersuchungsbereich „Sofortverzehr,“) in Tabelle 4- 6 zusammengefasst. Die Daten wurden aus den in Kap. 3.2 genannten Dateien berechnet³⁴.

³³ Zur Begründung siehe Kap. 2.1.8.1

³⁴ Die Daten entstammen der Tabelle [Limo Sofortverzehr] aus der Datei [TABELLE VAL Neue Systeme 2001 UBA II-2.XLS], die Absolutwerte der Indikatorergebnisse finden sich dort in den Zeilen 1402 ff, die normierten Ergebnisse (Einwohnerdurchschnittswerte, EDW) in den Zeilen 1182 ff; Die Berechnung der sog. „Netto“-Werte erfolgt durch Einbeziehung der Lastschriften und Gutschriften: [System]+[LS]-[GS]; Die EDW-Daten des Referenzszenarios aus Phase 1 sind in [UBA 2000], Tab. 5-9, dokumentiert.

Tabelle 4- 5: Untersuchungsbereich Kohlensäurehaltige Erfrischungsgetränke (Sofortverzehr)
 –Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut

Verpackungssysteme für CO₂-haltige Erfrischungsgetränke (Sofortverzehr) Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Angaben je 1000 l Füllgut) Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren (Für das Referenzszenario aus Phase 1: Gut-Lastschriftverfahren nach der Marktmix-Methode)					
System Nr.:		II-10 MW-Glas 0,5 l	II-11 Alu- Dose 0,5 l	II-12 Weißbl.- Dose 0,5 l	Zum Vergleich: 0,33 l MW-„Coca-Cola“ (Referenzszenario I-21 aus Phase 1)
Aquat. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	2,5	6,3	11,6	3,2
Terr. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	53	47	78	106
Naturraum (Forst)	m ²	0,80	3,01	3,00	1,0
Naturraum (Deponie)	m ²	0,0008	0,0004	0,0006	0,0018
Sommersmog	g Äq	125	141	157	202
Ressourcenbeanspr.	kg ROÄq	23	34	47	39
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Ä	98	211	365	171
Versauerung	g SO ₂ -Äq	485	878	1.439	869
System Nr.:			II-34 Alu- Dose 0,5 l	II-33 Weißbl.- Dose 0,5 l	Sensitivitätsanalysen
Aquat. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq		6,3	11,6	Recyclingraten reduziert: Aluminium: von 84% auf 79% Weißblech: von 90% auf 84%
Terr. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq		48	78	
Naturraum (Forst)	m ²		3,01	3,00	
Naturraum (Deponie)	m ²		0,0005	0,0008	
Sommersmog	g Äq		143	157	
Ressourcenbeanspr.	kg ROÄq		36	48	
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Ä		222	367	
Versauerung	g SO ₂ -Äq		924	1.445	

 Tabelle 4- 6: Untersuchungsbereich Kohlensäurehaltige Erfrischungsgetränke (Sofortverzehr)
 –Indikatorergebnisse in EDW

Verpackungssysteme für CO₂-haltige Erfrischungsgetränke (Sofortverzehr) Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Angaben in EDW) Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren (Für das Referenzszenario aus Phase 1: Gut-Lastschriftverfahren nach der Marktmix-Methode)					
System Nr.:		II-10 MW-Glas 0,5 l	II-11 Alu- Dose 0,5 l	II-12 Weißbl.- Dose 0,5 l	Zum Vergleich: 0,33 l MW-„Coca-Cola“ (Referenzszenario I-21 aus Phase 1)
Aquat. Eutrophierung		497	1.268	2.332	649
Terr. Eutrophierung		14.555	12.882	21.351	28.348
Naturraum (ges.)		288	1.081	1.079	371
Sommersmog		13.764	15.522	17.225	22.222
Ressourcenbeanspr.		14.934	21.879	30.131	25.148
Treibhauseffekt		11.663	25.053	43.417	20.364
Versauerung		13.615	24.659	40.378	24.378
System Nr.:			II-34 Alu- Dose 0,5 l	II-33 Weißbl.- Dose 0,5 l	Sensitivitätsanalysen
Aquat. Eutrophierung			1.269	2.335	Recyclingraten reduziert: Aluminium: von 84% auf 79% Weißblech: von 90% auf 84%
Terr. Eutrophierung			13.197	21.471	
Naturraum (ges.)			1.081	1.079	
Sommersmog			15.709	17.296	
Ressourcenbeanspr.			22.924	30.400	
Treibhauseffekt			26.349	43.688	
Versauerung			25.922	40.563	

4.3.1.3.1.1 Aquatische Eutrophierung

Die Ergebnisse der untersuchten Systeme weisen Werte von 2,5 bis 11,6 g PO₄-Ä_{quat} pro f.E. auf. Hieraus errechnen sich 500 bis 2.300 EDW.

Die Ergebnisse stammen beim Mehrwegsystem II-10 zu zwei Dritteln aus Phosphor- Stickstoff- und CSB-Frachten beim Flaschenspülen. Bei den Einwegsystemen tragen Nitrat-Einleitungen bei der Grundstoffherstellung für den als Transportverpackung dienenden Karton maßgeblich zum Ergebnis bei (bei Aluminium 70%, bei Weißblech 25%). In System II-12 ist vor allem die Weißblech- und die Dosenherstellung mit zusammen etwa 60% an den Einleitungen mit Eutrophierungspotenzial beteiligt.

4.3.1.3.1.2 Terrestrische Eutrophierung

Die Ergebnisse der untersuchten Systeme liegen bei 47 bis 78 g PO₄-Ä_{terr} pro f.E.; hieraus errechnen sich 13.000 bis 21.000 EDW.

Die Ergebnisse werden von NO_x-Emissionen dominiert, die bei Herstellungs- und Transportprozessen zu verzeichnen sind. Diese NO_x-Emissionen stammen beim Mehrwegsystem II-10 zu 60% aus der Distribution; bei den Einwegsystemen wird der überwiegende Teil der NO_x-Emissionen durch die Herstellung der Primärverpackungen und ihrer Ausgangsmaterialien verursacht (System II-11: Weißblech 73%, Aluminium 12%, System II-12: Aluminium 80%).

4.3.1.3.1.3 Naturraumbeanspruchung

Wie in Kap. 4.3.1.1.3 auf Seite 172 beschrieben, gehen die forstwirtschaftliche Nutzung von Naturraum und die Deponieflächenbelegung (im folgenden als „Naturraumbeanspruchung (Forst)“, und „Naturraumbeanspruchung (Deponie)“, bezeichnet) getrennt voneinander in die Bewertung ein.

Die untersuchten Verpackungssysteme kommen in der Kategorie Naturraumbeanspruchung (Forst) auf Werte von 0,8 bis 3 m² je f.E., hieraus errechnen sich etwa 290 bis 1.100 EDW. Die Ergebnisse werden beim Mehrwegsystem zu 60% durch die Herstellung der Transportpaletten und zu 40% durch die Herstellung der Etiketten verursacht. Bei den beiden Dosensystemen fällt vor allem die Vorkette der Wellpappetrays ins Gewicht³⁵.

³⁵ Die massenmäßig bedeutsamen Wellpappe (13,5 kg je funktioneller Einheit) besteht zu 100% aus Recyclingmaterial. Ihr wird somit konventionsgemäß 50% der Umweltbelastungen der Primärpapier-Herstellung per Lastschrift übertragen.

In der Kategorie Naturraumbeanspruchung (Deponie) liegen die Ergebnisse je funktioneller Einheit bei 4 bis 8 cm².

4.3.1.3.1.4 Photochemische Oxidantienbildung/Sommersmog

Relevante Emissionen in dieser Wirkungskategorie sind Emissionen der sogenannten Vorläufersubstanzen, dies sind einerseits VOC (flüchtige organische Kohlenstoffverbindungen, über POCP charakterisiert und ausgedrückt in Ethen-Äquivalenten), andererseits NO_x (Stickoxide). In der Wirkungskategorie Photochemische Oxidantienbildung/Sommersmog werden diese Emissionen durch geometrische Mittelwertbildung mit dem Wirkungsindikator NCPOCP zu NO_x-korrigierten Ethen-Äquivalenten (NO_x/C₂H₄-Äq) zusammengefasst.

Die für die untersuchten Verpackungssysteme ermittelten Emissionen führen zu NCPOCP-Werten zwischen 130 und 160 g NO_x/C₂H₄-Äq pro f.E., hieraus errechnen sich 14.000 bis 17.000 EDW.

Kohlenwasserstoff- und NO_x-Emissionen treten bei der Herstellung von Kunststoffen sowie bei Transportprozessen auf. Während beim Glas-Mehrwegsystem II-10 etwa 50% der relevanten Emissionen aus der Distribution stammen, hat dieser Anteil bei den beiden Dosen-Systemen keinen nennenswerten Einfluss. Hier werden Kohlenwasserstoff- und NO_x-Emissionen zu über 80% durch die Herstellung der Packstoffe und der Verpackungen verursacht.

4.3.1.3.1.5 Ressourcenbeanspruchung

Die den Verpackungssystemen anzulastenden Verbräuche an nicht erneuerbaren Energieträgern betragen 23 bzw. 47 kg Rohöl-Äquivalente (ROÄq) pro f.E., hieraus errechnen sich 25.000 bzw. 60.000 EDW.

Der Verbrauch an nicht erneuerbaren Energieträgern hat unterschiedliche Ursachen: Während beim Glas-Mehrwegsystem die Distribution mit einem Drittel und das Spülen mit einem Viertel am stärksten zum Verbrauch nicht erneuerbarer Energieträger beitragen, sind bei beiden Dosensystemen etwa 90% des Energieträgereinsatzes durch die Herstellung der Packmittel und der Verpackungen bedingt.

4.3.1.3.1.6 Treibhauseffekt

Die durch die Untersuchungssysteme verursachten treibhausrelevanten Emissionen belaufen sich auf Werte zwischen 100 und 370 kg CO₂-Äq pro f.E.; hieraus errechnen sich 12.000 bis 40.000 EDW.

Die Ergebnisse in der Wirkungskategorie Treibhauseffekt zeigen das gleiche Muster wie die oben beschriebenen Ergebnisse zur Ressourcenbeanspruchung. Während beim Glas-Mehrwegsystem die Distribution mit einem Drittel und das

Spülen mit einem Viertel am stärksten zu den CO₂-Emissionen beiträgt, sind bei beiden Dosensystemen etwa 90% dieser Emissionen durch die Herstellung der Packmittel und der Verpackungen bedingt.

4.3.1.3.1.7 Versauerung

Die den Untersuchungssystemen zuzuschreibenden Emissionen säurebildender Stoffe betragen 500 bis 1.400 g SO₂-Äq pro f.E.; hieraus errechnen sich 14.000 bis 40.000 EDW.

Auch die Indikatorergebnisse zur Versauerung bestätigen den in den beiden vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Befund. Während beim Glas-Mehrwegsystem die Distribution mit einem Drittel und das Spülen mit einem Viertel am stärksten zu den Emissionen beiträgt, sind bei beiden Dosensystemen etwa 90% durch die Herstellung der Packmittel und der Verpackungen bedingt.

4.3.1.3.1.8 Weitere, nicht zu Indikatoren aggregierte Sachbilanz-Ergebnisse

Die Ergebnisse zu den gesundheitlich und ökotoxikologisch relevanten Parametern sind den Sachbilanz-Dateien (siehe Kap. 4.1) zu entnehmen.

Von den Luftschadstoffen mit gesundheitsgefährdendem Potenzial sind vor allem Dieselpartikel (5.000 bis 41.000 EDW), SO₂ (14.000 bis 69.000 EDW), und Cadmium (7.000 bis 29.000 EDW) zu nennen.

Mengenmäßig bedeutsame Emissionen mit ökotoxischem Potenzial sind NO_x- (24.000 bis 41.000 EDW) und SO₂-Emissionen (14.000 bis 69.000 EDW).

Die bilanzierten Staubemissionen lassen zwar eine mengenmäßig große Bedeutung erkennen (61.000 bis 83.000 EDW), die Daten erscheinen aber für eine Bewertung nicht geeignet, da hierfür weitere Informationen sowohl zur Zusammensetzung der Stäube als auch zur lokalen Exposition erforderlich wären.

4.3.1.3.2 Paarweise Vergleiche zwischen einzelnen Verpackungssystemen

Die Bewertung der neu hinzugekommenen Verpackungssysteme erfolgt, wie oben beschrieben, vor allem mit dem Ziel des Vergleichs zwischen Mehrweg- und Einwegsystemen. Im Untersuchungsbereich „Verpackungssysteme für Kohlensäurehaltige Erfrischungsgetränke - Sofortverzehr“ stehen die beiden 0,5 l-Getränkedosensysteme (II-11 und II-12) der 0,5 l-Mehrweg-Glasflasche (II-10) gegenüber. Daneben ist aber auch der Vergleich zu der 0,33 l Glasflasche („Coca-Cola“) von Interesse, die in Phase 1 als Referenzsystem I-22 diente. Bei der vergleichenden Bewertung mit dem letztgenannten System sind die unter Abs. 4.1.2 genannten Einschränkungen zu berücksichtigen.

4.3.1.3.2.1 System II-10: 0,5 l-Weißglas-Mehrwegsystem

Das 0,5 l-Mehrwegsystem II-10 stellt gegenüber dem in Phase 1 untersuchten System I-21 (0,33 l-Mehrweg „Coca-Cola“) eine deutliche Verbesserung dar:

1. Aufgrund der um 15% leichteren Flasche bei einem um 50% höheren Füllvolumen beträgt der Materialbedarf an Weißglas pro funktioneller Einheit (bei einer Umlaufzahl von 21 für beide Systeme) bei System II-10 nur etwas über die Hälfte des für das in Phase 1 untersuchte System I-21.
2. Auch bei den für Mehrwegsystemen besonders bedeutsamen Transportbedingungen erweist sich das 0,5 l-Mehrwegsystem als deutlich überlegen: Die pro Palette transportierte Füllgutmenge ist um über 25% höher, das zu transportierende Gewicht des gesamten Verpackungssystems ist pro funktioneller Einheit aber um über 40% geringer.

Vor allem die günstigeren Transportbedingungen führen dazu, dass System II-10 in allen Wirkungskategorien zu deutlich geringeren Indikatorergebnissen kommt (siehe Tabelle 4- 5, Seite 191). Die Werte liegen zwischen 20% und 50% unter denen des Mehrwegsystems I-21 aus Phase 1 der Ökobilanz.

4.3.1.3.2.2 System II-11: 0,5 l-Aluminiumdose

Die Berechnungen für die 0,5 l-Aluminiumdose führen zu Indikatorergebnissen, die gegenüber der in Phase 1 im System I-24 untersuchten 0,33 l-Aluminiumdose³⁶ um etwa ein Drittel günstiger sind. Da einerseits beim Aluminiumdosensystem der Hauptanteil der Umweltlasten durch die Herstellung des Aluminiums verursacht wird, andererseits die untersuchte 0,5 l-Dose bei einem um ein Drittel größeren Füllvolumen sogar geringfügig leichter ist als die in Phase 1 untersuchte 0,33 l-Dose, ist die Größenordnung der Unterschiede nachvollziehbar.

Vom 0,5 l-Glas- Mehrwegsystem II-10 unterscheidet sich das Verpackungssystem II-11 vor allem in folgenden Punkten:

1. Für die 0,5 l-Glas-Mehrwegflasche in System II-10 ist der Materialaufwand je funktioneller Einheit bei 21 Umläufen geringfügig höher als für die Aluminiumdose in System II-11.
2. Beim Transport zeigt die Aluminiumdose bessere Masse- und Raumauslastungen als das Mehrwegsystem. Die pro Palette transportierte Füllgutmenge ist nahezu doppelt so groß, das Verpackungsgewicht beträgt je Füllgutmenge nur etwa 8% dessen des Mehrwegsystems.

³⁶ Angepasstes Vergleichsszenario (siehe Kap. 2.1.5.1)

Die bei der Aluminiumherstellung im Vergleich zu der Glasherstellung pro Materialmenge erheblich höheren Umweltbelastungen führen jedoch dazu, dass das Verpackungssystem II-11 (Aluminiumdose 0,5 l) in fast allen Wirkungskategorien z.T. erheblich höhere Indikatorergebnisse als das Mehrwegsystem II-10 aufweist. z.B. mehr als doppelt so hohe Treibhausgas-Emissionen (siehe Tabelle 4- 5, Seite 191). Einzige Ausnahme ist die Wirkungskategorie Terrestrische Eutrophierung: hier machen sich beim Mehrwegsystem die schlechteren Distributionsbedingungen mit höheren NO_x-Emissionen bemerkbar, die zu einem etwa 10% höheren Indikatorergebnis führen. Insgesamt überwiegen jedoch deutlich die auf Seiten des Aluminiumdosensystems ermittelten Mehrbelastungen.

Die Ergebnisse der im Szenario II-34 durchgeführten Sensitivitätsanalyse lassen erkennen, dass die Annahme einer geringeren Recyclingrate (79% an Stelle von 86%) zu Indikatorergebnissen führt, die um maximal 5% höher sind als der Ausgangswert³⁸.

4.3.1.3.2.3 Vergleich der Weißblechdose mit dem Mehrwegsystem

Im Gegensatz zu der im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Aluminiumdose ist bei der Weißblechdose mit der Erhöhung des Füllvolumens von 0,33 l auf 0,5 l auch eine Erhöhung des Materialeinsatzes um 4 g Weißblech je Dose verbunden. Der Aluminiemeinsatz für den Deckel ist bei beiden Dosen gleich. Bezogen auf die funktionelle Einheit resultiert hieraus eine Materialeinsparung von 23% Weißblech und 33% Aluminium.

Die Ergebnisse für das System II-12 (Weißblechdose 0,5 l) bestätigen den im vorangegangenen Abschnitt dargestellten engen Zusammenhang zwischen dem Materialbedarf und den meisten Wirkungsindikatoren. Die Indikatorergebnisse liegen zwischen 16% und 32% unter denen des in Phase untersuchten 0,33 l-Weißblechdosensystems I-23⁴⁰.

Vom 0,5 l-Glas- Mehrwegsystem II-10 unterscheidet sich das Verpackungssystem II-12 vor allem in folgenden Punkten:

1. Für die 0,5 l-Glas-Mehrwegflasche in System II-10 ist der Materialaufwand je funktioneller Einheit bei 21 Umläufen etwa halb so groß wie für die Weißblechdose in System II-12.

³⁸ Ausnahme: Eine um 28% höhere Naturraumbeanspruchung (Deponie), die aber wegen ihres geringen spezifischen Beitrags als vernachlässigenswert anzusehen ist.

⁴⁰ Angepasstes Vergleichsszenario (siehe Kap. 2.1.5.1)

2. Beim Transport zeigt die Weißblechdose bessere Masse- und Raumauslastungen als das Mehrwegsystem. Die pro Palette transportierte Füllgutmenge ist nahezu doppelt so groß, das Verpackungsgewicht beträgt je Füllgutmenge nur etwa 12% dessen des Mehrwegsystems.

Die bei der Weißblechherstellung im Vergleich zu der Glasherstellung pro Materialmenge erheblich höheren Umweltbelastungen führen jedoch dazu, dass das Verpackungssystem II-12 (Weißblechdose 0,5 l) in allen Wirkungskategorien zu signifikant höheren Indikatorergebnissen als das Mehrwegsystem II-10 kommt; so sind z.B. die durch das Weißblechdosen-System II-12 verursachten Treibhausgas-Emissionen nahezu viermal so hoch wie beim Mehrwegsystems II-10 (siehe Tabelle 4- 5, Seite 191).

Die Ergebnisse der im Szenario II-33 durchgeführten Sensitivitätsanalyse lassen erkennen, dass die Annahme einer geringeren Recyclingrate (84% an Stelle von 90%) zu Indikatorergebnissen führt, die um maximal 1% höher sind als der Ausgangswert⁴¹.

4.3.2 Teilziel 2: Optimierte Verpackungssysteme

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Szenarien betrachtet, in denen verschiedene in Phase 1 oder im vorangegangenen Abschnitt der Phase 2 untersuchte Verpackungssysteme unter technisch verbesserten Bedingungen untersucht wurden.

Die Darstellung und Interpretation der Ergebnisse erfolgt im direkten Vergleich der optimierten Verpackungssysteme zu den jeweiligen Verpackungssystemen ohne diese Optimierung (nachfolgend „Basisszenarien“ genannt). Ein Vergleich zwischen unterschiedlichen Verpackungssystemen ist nicht Gegenstand dieses Teilziels.

Um mögliche durch den Wechsel der Allokationsmethode (siehe Kap. 1.2.6) verursachte Verfälschungen der Ergebnisse auszuschließen, wurden die Basisszenarien aus Phase 1 mit der aktuellen Allokationsmethode neu berechnet (im Folgenden „angepasstes Basisszenario“ genannt). Bei den beiden Getränkedosensystemen wurde in diesem angepassten Basisszenario außerdem die Vorkette der Lackherstellung einbezogen (siehe Kap. 2.1.5.1).

⁴¹ Ausnahme: Eine um 34% höhere Naturraumbeanspruchung (Deponie), die aber wegen ihres geringen spezifischen Beitrags als vernachlässigenswert anzusehen ist.

4.3.2.1 Untersuchungsbereich Mineralwasser - Vorratskauf

Im Untersuchungsbereich „Verpackungssysteme für Mineralwasser - Vorratskauf“ wurden folgende Optimierungspotenziale für Verpackungssysteme untersucht:

- Technologieverbesserung bei der Glasschmelze (Szenario II-13, Abs. 4.3.2.1.1)
- Reduzierung des Flaschengewichts und Erhöhung des Recyclateinsatzes bei der PET-Einwegflasche (Szenario II-21, Abs. 4.3.2.1.2)

4.3.2.1.1 Glas-Einwegflasche 1,0 l: Schmelzwanne Typ „Oxy-Fuel“ (Szenario II-13)

Wie aus Tab. 2-27 ersichtlich ist, weist die „Oxy-Fuel“-Schmelzwanne im Vergleich zu herkömmlicher Technologie bei mehreren Randbedingungen Veränderungen auf, die sich vorteilhaft auf die Ökobilanz auswirken:

- Substitution von schwerem Heizöl durch Erdgas.
- Reduzierung des Energieverbrauchs um 15% (therm.) bzw. 10% (elektr.).
- Reduzierung des Neuglasbedarfs um etwa die Hälfte durch eine Erhöhung des Fremdscherbeneinsatzes von 59% auf 75%.

Aufgrund des großen Anteils der Glasherstellung am Gesamtergebnis bei Einwegflaschen zeigt die verbesserte Glasschmelztechnologie im Vergleich zu dem in Phase 1 unter repräsentativen mittleren Technologiebedingungen untersuchten Glas-Einwegsystem deutlich günstigere Ergebnisse, wie Abb. 3-5 verdeutlicht.

Auffällig ist hierbei das um 23% geringere Indikatorergebnis der Wirkungskategorie Versauerung, bei dem sich die Substitution von schwerem Heizöl durch Erdgas besonders bemerkbar macht.

Auch bei den deutlichen Reduktionen in den Wirkungskategorien Sommersmog, terrestrische Eutrophierung, Treibhauseffekt und Verbrauch fossiler Energieträger machen sich die o.g. geänderten Randbedingungen bemerkbar.

Zusammenfassend kann der „Oxy-Fuel“-Technologie aus Umweltsicht ein besonders hohes Optimierungspotenzial zugesprochen werden.

4.3.2.1.2 PET-Einwegflasche 1,5 l: Reduzierung des Flaschengewichts und Erhöhung des Recyclateinsatzes (Szenario II-21)

Das in Kap. 4.3.1.1.2.4 behandelte 1,5 l-PET-Einwegflaschen-System II-05 wurde in zwei Punkten variiert:

- Das Flaschengewicht wurde von 35 g auf 32 g verringert,

- Der Anteil an Sekundär-PET wurde von 5% auf 50% erhöht.

Tabelle 4- 7 zeigt die Ergebnisse der Szenarien II-05 und II-21 im Vergleich zueinander.

Tabelle 4- 7: Untersuchungsbereich Mineralwasser Vorratskauf –
Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut

Verpackungssysteme für Mineralwasser (Vorratshaltung) Optimierungsrechnung für die 1,5 l-PET-Einwegflasche Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut) Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren				
System Nr.:		II-05 (5% Recyclat; Flaschengew. = 35 g)	II-21 (50% Recyclat; Flaschengew. = 32 g)	Verbesserung um:
Aquat. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	2,86	1,83	36%
Terr. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	71	46	35%
Naturraum (Forst)	m ²	0,46	0,46	0%
Naturraum (Deponie)	cm ²	3,1	3,1	0%
Sommersmog	g Äq	471	280	40%
Ressourcenbeanspr.	kg ROÄq	33	23	32%
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Äq	104	85	18%
Versauerung	g SO ₂ -Äq	1134	746	34%

Die Indikatorergebnisse des Optimierungsszenarios II-21 sind in den meisten Wirkungskategorien deutlich geringer als im Referenzszenario II-05. Sie liegen mit Ausnahme der Wirkungskategorie Naturraum und Treibhauseffekt zwischen 32% und 40% unter denen des Referenzszenarios. Etwas geringer mit 18% ist die durch die Optimierung erzielte Reduktion in der Wirkungskategorie Treibhauseffekt. Die Wirkungskategorie Naturraum ist durch die Systemvariation nicht betroffen.

Bei einem Vergleich mit der in System II-07 untersuchten leichteren PET-Flasche zeigt sich, dass die signifikant besseren Ergebnisse des Optimierungsszenarios nur zu einem kleinen Teil dem geringeren Flaschengewicht zuzuschreiben sind⁴². Die wesentliche Ursache für die geringeren Umweltbelastungen ist vielmehr in dem hohen Anteil an sekundärem PET bei der Flaschenherstellung zu sehen.

⁴² Siehe Kap. 4.3.1.1.2.4; Die in System II-07 durch die Gewichtsreduzierung erreichten Verbesserungen liegen bei 15%.

4.3.2.2 Untersuchungsbereich Kohlensäurehaltige Erfrischungsgetränke - Sofortverzehr

Im Untersuchungsbereich „Verpackungssysteme für Kohlensäurehaltige Erfrischungsgetränke - Sofortverzehr“ wurden folgende Optimierungspotenziale für Verpackungssysteme untersucht:

Aluminiumdose 0,33 l:

- Reduzierung des Dosenbodygewichts um 28% auf 9 g (Szenario II-14, Abs. 4.3.2.2.1)
- Reduzierung des Strombedarfs bei der Elektrolyse von 15 kWh/kg Primäraluminium auf 13 kWh/kg Primäraluminium (Szenario II-15, Abs. 4.3.2.2.2)
- Erhöhung des Sekundär-Aluminiumanteils im Dosendeckel von 0% auf 23,5% (Szenario II-16, Abs. 4.3.2.2.3)

Weißblechdose 0,33 l:

- Reduzierung des Dosenbodygewichts um 28% auf 20 g (Szenario II-17, Abs. 4.3.2.2.4)
- Erhöhung des Sekundär-Aluminiumanteils im Dosendeckel von 0% auf 23,5% (Szenario II-18, Abs. 4.3.2.2.5)

Zur Darstellung des Optimierungspotentials werden die Indikatorergebnisse dieser Szenarien in den nachfolgenden Abschnitten mit den Ergebnissen der entsprechenden Systeme aus Phase 1 verglichen (I-23: 0,33 l-Weißblechdose, I-24: 0,33 l-Aluminiumdose). Diese im folgenden als „Basisszenario“ bezeichneten Systeme wurden, wie in Kap. 2.1.5.1 beschrieben, aus Gründen der Vergleichbarkeit angepasst.

4.3.2.2.1 Aluminiumdose 0,33 l: Gewichtsreduktion (Szenario II-14)

Durch das gegenüber dem Ausgangsszenario um 28% geringere Gewicht des Dosenbodies reduziert sich der Bedarf an Aluminium von 37,9 auf 27,5 kg je funktioneller Einheit. Der überwiegende Anteil dieses Materials ist Sekundäraluminium, der Primäraluminiumeinsatz für den Body reduziert sich nur geringfügig von 3,8 auf 2,7 kg pro funktioneller Einheit.

Der größte Teil des im Aluminiumdosensystem eingesetzten Primäraluminiums wird zur Herstellung des zu 100% aus Primäraluminium bestehenden Dosendeckels benötigt. Da dessen Gewicht in dem Optimierungsszenario vereinbarungsgemäß jedoch nicht reduziert wurde, verringert sich der auf das Gesamtsystem bezogene Einsatz an Primäraluminium nur von 13,7 auf 12,6 kg je

funktioneller Einheit.

Für die Einsparung an Sekundäraluminium (Reduzierung um 28% von 34,8 kg auf 24,8 kg je funktioneller Einheit) wird das System gemäß Allokationsmethode dagegen nur um 50% der bei der Herstellung von Primäraluminium verursachten Umweltlasten entlastet.

Aufgrund der hohen Bedeutung der Primäraluminiumproduktion schlägt sich die Materialreduzierung quantitativ auf alle Wirkungskategorien mit Ausnahme der Aquatischen Eutrophierung und der Naturraumbeanspruchung (Forst) nieder, wie Tabelle 4- 8 zeigt. Die Indikatorergebnisse zeigen gegenüber dem angepassten⁴³ Basisszenario I-24 Abnahmen zwischen 12% und 19%, sie liegen somit zwischen den Massereduzierungen von Primäraluminium und Sekundäraluminium mit 9% bzw. 28%.

Tabelle 4- 8: Untersuchungsbereich Kohlensäurehaltige Erfrischungsgetränke - Sofortverzehr - Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut

Optimierungsrechnung für die 0,33 l-Aluminiumdose: Reduzierung des Dosenbody-Gewichtes um 28% Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut) Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren				
System Nr.:		I-24 (angepasstes Basisszenario)	II-14 (Gewicht des Dosenbody = 9g)	Verbesserung um:
Aquat. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	6,4	6,4	0%
Terr. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	69	59	15%
Naturraum (Forst)	m ²	2,97	2,97	0%
Naturraum (Deponie)	cm ²	7,79	6,33	19%
Sommersmog	g Äq	212	176	17%
Ressourcenbeanspr.	kg ROÄq	55	48	13%
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Äq	341	297	13%
Versauerung	g SO ₂ -Äq	1375	1205	12%

4.3.2.2.2 Aluminiumdose 0,33 l: Reduzierter Strombedarf bei der Elektrolyse (Szenario II-15)

In Szenario II-15 wurde die für die Elektrolyse zur Gewinnung von Primäraluminium erforderliche elektrische Energie gegenüber dem Basisszenario I-24 von 15 kWh_{el}/t Al um etwa 9% auf 13 kWh_{el}/t Al gesenkt. Wie Tabelle 4- 9 zeigt, zeigt diese Senkung bezogen auf das Gesamtsystem nur geringe Verbesserungen. Der Grund hierfür ist der mit 27% relativ geringe Anteil an eingesetztem Primär-Aluminium.

⁴³ Siehe Kap. 2.1.5.1

Tabelle 4- 9: Untersuchungsbereich Kohlensäurehaltige Erfrischungsgetränke - Sofortverzehr
- Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut

Optimierungsrechnung für die 0,33 l-Aluminiumdose: Reduzierung des Energieeinsatzes (el.) um 9% Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut) Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren				
System Nr.:		I-24 (angepasstes Basisszenario)	II-15 (E _{el} = 13 kWh / t Al)	Verbesserung um:
Aquat. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	6,4	6,4	0%
Terr. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	69	67	3%
Naturraum (Forst)	m ²	2,97	2,97	0%
Naturraum (Deponie)	cm ²	7,79	7,78	0%
Sommersmog	g Äq	212	208	2%
Ressourcenbeanspr.	kg ROÄq	55	54	2%
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Ä	341	329	4%
Versauerung	g SO ₂ -Äq	1375	1357	1%

4.3.2.2.3 Aluminiumdose 0,33 l: Dosendeckel mit Sekundäraluminium-Anteil (Szenario II-16)

In dem in Phase 1 berechneten Aluminiumdosen-Szenario I-23 dienen über zwei Drittel des im gesamten Systems eingesetzten Primäraluminiums zu Herstellung des Dosendeckels, obwohl dieser an der Gesamtmasse der Getränkedose nur einen Anteil von ca. 20% hat. In Szenario II-16 wurde daher untersucht, welche Auswirkungen ein anteiliger Einsatz von Sekundäraluminium für den Dosendeckel auf die Ergebnisse hat.

Durch die Substitution von Primäraluminium durch von außen zugefügtes Sekundäraluminium in Höhe von 23,5% und durch internes Recycling in Höhe von 10% sinkt der Primäraluminium-Bedarf für den Dosendeckel von 9,9 auf 6,8 kg je funktioneller Einheit. Bezogen auf das Gesamtsystem bedeutet dies eine Absenkung des Primäraluminium-Einsatzes von 13,7 kg auf 10,6 kg je funktioneller Einheit.

Tabelle 4-10 zeigt die durch diesen Mehreinsatz an Sekundäraluminium bewirkte Verbesserung der Indikatorergebnisse. Die Ergebnisse liegen in den Wirkungskategorien Ressourcenbeanspruchung, Treibhauseffekt und Versauerung zwischen 12% und 14% unter denen des angepassten Basisszenarios. In der Wirkungskategorie Terrestrische Eutrophierung ist das Ergebnis um 7% niedriger. Die deutliche Verringerung des Ergebnisses in der Wirkungskategorie der Naturraumbeanspruchung (Deponie) ist durch die verbesserte interne Schrottrückführung bedingt.

Tabelle 4-10: Untersuchungsbereich Kohlensäurehaltige Erfrischungsgetränke - Sofortverzehr
- Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut

Optimierungsrechnung für die 0,33 l-Aluminiumdose: Erhöhung des Sekundär-Aluminiumanteils im Dosendeckel Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut) Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren				
System Nr.:		I-24 (angepasstes Basisszenario)	II-16 (Dosendeckel mit 23,5% Sek-Alu)	Verbesserung um:
Aquat. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	6,4	6,4	0%
Terr. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	69	64	7%
Naturraum (Forst)	m ²	2,97	2,97	0%
Naturraum (Deponie)	cm ²	7,79	5,18	33%
Sommersmog	g Äq	212	203	4%
Ressourcenbeanspr.	kg ROÄq	55	48	12%
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Äq	341	295	13%
Versauerung	g SO ₂ -Äq	1375	1185	14%

4.3.2.2.4 Weißblechdose 0,33 l: Gewichtsreduktion (Szenario II-17)

Das Gewicht des Dosenbodys wurde in Szenario II-17 gegenüber dem Basis-szenario I-23 um 28% von 26,9 g auf 20 g verringert. Hieraus resultiert ein Weißblechbedarf von 78 kg je funktioneller Einheit (gegenüber 108 kg im Ba-sisszenario I-23).

Während eine Gewichtsreduktion um 28% bei der Aluminiumdose, wie in Abs. 4.3.2.2.1 beschrieben, 12% bis 19% geringere Ergebnisse zur Folge hatte, führt eine gleich hohe Gewichtsreduktion bei der Weißblechdose zu deutlich stärkeren Umweltentlastungen, wie Tabelle 4-11 zeigt. Die Ergebnisse des optimierten Systems II-17 liegen mit Ausnahme der Aquatischen Eutrophierung und der Naturraumbeanspruchung (Forst) zwischen 20% und 25% unter denen des an-gepassten Basisszenarios I-23 aus Phase 1. Der Grund für diese fast proportio-nal zur Gewichtsreduzierung verlaufenden Umweltentlastungseffekte ist der überragende Anteil der Weißblech- und der Weißblechdosenherstellung an den Ergebnissen des Gesamtsystems (siehe hierzu auch die Ergebnisse zu den Sekt-oralanalysen in [UBA 2000], S. 201).

Tabelle 4-11: Untersuchungsbereich Kohlensäurehaltige Erfrischungsgetränke - Sofortverzehr
- Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut

Optimierungsrechnung für die 0,33 l-Weißblechdose: Reduzierung des Dosenbody-Gewichtes um 28% Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut) Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren				
System Nr.:		I-23 (angepasstes Basisszenario)	II-17 (Gewicht des Dosenbody = 20 g)	Verbesserung um:
Aquat. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	13,8	11,7	16%
Terr. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	106	81	24%
Naturraum (Forst)	m ²	2,90	2,90	0%
Naturraum (Deponie)	cm ²	13,65	10,36	24%
Sommersmog	g Äq	197	158	20%
Ressourcenbeanspr.	kg ROÄq	67	51	24%
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Äq	535	401	25%
Versauerung	g SO ₂ -Äq	2009	1567	22%

4.3.2.2.5 Weißblechdose 0,33 l: Dosendeckel mit Sekundäraluminium-Anteil (Szenario II-18)

Durch die teilweise Substitution des Primäraluminiums im Dosendeckel durch Sekundäraluminium (Einsatzquote: 23,5%) geht der Bedarf an Primäraluminium von 8,9 kg auf 6,8 kg je funktioneller Einheit zurück.

Tabelle 4-12 zeigt die bei einem entsprechenden Sekundäraluminium-Einsatz in Szenario II-18 erhaltenen Ergebnisse im Vergleich zum Basisszenario I-23 aus Phase 1. Der vergleichsweise geringe Anteil, den die Aluminiumherstellung an den Ergebnissen des Weißblechdosensystems hat, führt dazu, dass diese Verbesserung bei der Aluminiumherstellung nur einen relativ geringen Einfluss auf die relevanten Indikatorergebnisse hat.

Tabelle 4-12: Untersuchungsbereich Kohlensäurehaltige Erfrischungsgetränke - Sofortverzehr
- Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut

Optimierungsrechnung für die 0,33 l-Weißblechdose: Erhöhung des Sekundär-Aluminiumanteils im Dosendeckel Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut) Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren				
System Nr.:		I-23 (angepasstes Basisszenario)	II-18 (Dosendeckel mit 23,5% Sek-Alu)	Verbesserung um:
Aquat. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	13,8	13,8	0%
Terr. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	106	105	1%
Naturraum (Forst)	m ²	2,90	2,90	0%
Naturraum (Deponie)	cm ²	13,65	13,65	0%
Sommersmog	g Äq	197	195	1%
Ressourcenbeanspr.	kg ROÄq	67	65	3%
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Äq	535	522	2%
Versauerung	g SO ₂ -Äq	2009	1957	3%

4.3.2.3 Untersuchungsbereich Saft

Im Untersuchungsbereich „Verpackungssysteme für Saft - Vorratskauf“ wurden folgende Optimierungspotenziale für das Verpackungssystem „Getränkekarton, 1,0 l“ (System I-16) untersucht:

- Gewichtsreduktion um 11% (Szenario II-19, Abs. 4.3.2.3.1)
- Verwertung des PE/Al-Rejects (Szenario II-20, Abs. 4.3.2.3.2)

Zur Darstellung des Optimierungspotentials werden die Indikatorergebnisse dieser Szenarien in den nachfolgenden Abschnitten mit den Ergebnissen des entsprechenden Systems I-16 aus Phase 1 verglichen. Dieses im folgenden als „Basisszenario“ bezeichnete System wurde, wie in Kap. 3.3.5 beschrieben, aus Gründen der Vergleichbarkeit angepasst.

4.3.2.3.1 Getränkekarton 1,0 l: Gewichtsreduktion (Szenario II-19)

In Szenario II-19 wurde das Gewicht des Getränkekartons um 11% von 29,3 g auf 26,0 g reduziert. Die Reduktion erfolgte für alle drei Verbundkomponenten Karton, Polyethylen und Aluminium gleichermaßen proportional.

Tabelle 4-13 zeigt die Ergebnisse dieser Optimierungsanalyse. Die Indikatorergebnisse liegen, abgesehen von der Wirkungskategorie Naturraumbeanspruchung (Deponie), in der sich die Materialreduzierung von 11% fast vollständig quantitativ niederschlägt, um 4% bis 7% unter denen des angepassten Basisszenarios.

Tabelle 4-13: Untersuchungsbereich Saft – Vorratskauf - Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut

Optimierungsrechnung für den 1,0 l Getränkekarton: Reduzierung des Materialgewichts um 11% Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut) Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren				
System Nr.:		I-16 (angepasstes Basisszenario)	II-19 (Gewicht 26,0 g)	Verbesserung um:
Aquat. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	20,5	19,6	4%
Terr. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	31	29	6%
Naturraum (Forst)	m ²	19,57	18,79	4%
Naturraum (Deponie)	cm ²	4,92	4,44	10%
Sommersmog	g Äq	126	117	7%
Ressourcenbeanspr.	kg ROÄq	17	16	6%
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Ä	85	80	6%
Versauerung	g SO ₂ -Äq	412	388	6%

4.3.2.3.2 Getränkekarton 1,0 l: PE/Al-Rejectverwertung (Szenario II-20)

Die Verwertung des nach der Abtrennung von der Zellstofffaser anfallenden Gemisches aus Polyethylen und Aluminium, des sog. „Rejects“, durch Vergasung des Polyethylens führt zu Aluminium und Energie, die am Standort wieder genutzt wird. In der Ökobilanz macht sich die Gewinnung dieser Sekundärprodukte durch eine erhöhte Gutschrift bemerkbar.

Tabelle 4-14 zeigt die Ergebnisse dieser Optimierungsanalyse. Die Indikatorergebnisse liegen in den Wirkungskategorien Ressourcenbeanspruchung, Treibhauseffekt und Versauerung mit 9% bzw. 16% deutlich unter denen des Basisszenarios I-16. In den Wirkungskategorien Aquatische Eutrophierung und Naturraumbeanspruchung (Forst) liegen die in Szenario II-20 erhaltenen Indikatorergebnisse dagegen um 6% bzw. 7% über den Vergleichswerten. Die übrigen Indikatoren zeigen keine nennenswerten Veränderungen.

Die höheren Indikatorergebnisse in den Wirkungskategorien Aquatische Eutrophierung und Naturraumbeanspruchung (Forst) sind durch eine geringere Recycling-Gutschrift begründet, die wiederum auf eine geringere Faserausbeute aus dem Aufbereitungsprozess zurückzuführen ist. Diese geringere Faserausbeute ist jedoch nicht als eine notwendige Konsequenz aus dem hier betrachteten Rejectverwertungsprozess anzusehen, es handelt sich vielmehr um Abweichungen in den den unterschiedlichen Prozessen zugrunde liegenden Daten. Da diese Indikatorergebnisse aber aufgrund ihres geringen spezifischen Beitrags als nachrangig zu bewerten sind⁴⁴, sind die genannten Mehrbelastungen für die

⁴⁴ ökologische Priorität für beide Wirkungskategorien (gem. [UBA 1999]): „mittel“
aquat. Eutrophierung: spez. Beitrag: E, ökologische Gefährdung: B, distance to target: C
Naturraum (Forst): spez. Beitrag: E, ökologische Gefährdung: D, distance to target: A

Endaussage vernachlässigbar.

Der Nutzen der stofflichen bzw. energetischen Verwertung des in dem Verbundmaterial enthaltenen Aluminiums und Polyethylens spiegelt sich dagegen – über die Gutschriftrechnung⁴⁵ – in den Wirkungskategorien Ressourcenbeanspruchung, Treibhauseffekt und Versauerung wieder. Aufgrund dieser Ergebnisse stellt sich die Verwertung der PE/Al-Rejecte aus Umweltsicht insgesamt als vorteilhaft dar.

Tabelle 4-14: Untersuchungsbereich Saft – Vorratskauf - Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut

Optimierungsrechnung für den 1,0 l Getränkekarton: Verwertung des PE/Al-Rejects Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut) Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren				
System Nr.:		I-16 (angepasstes Basisszenario)	II-20 (PE/Al-Rejectverwertung)	Verbesserung / Verschlechterung um:
Aquat. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	20,5	21,7	-6%
Terr. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	31	31	0%
Naturraum (Forst)	m ²	19,57	20,99	-7%
Naturraum (Deponie)	cm ²	4,92	4,92	0%
Sommersmog	g Äq	126	125	1%
Ressourcenbeanspr.	kg ROÄq	17	15	16%
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Äq	85	78	9%
Versauerung	g SO ₂ -Äq	412	375	9%

4.3.3 Veränderungen der Rahmenbedingungen

Es wurden Rahmenbedingungen variiert, bei denen entweder ergebnisrelevante Datenunsicherheiten anzunehmen sind oder sich zukünftig ergebnisrelevante Veränderungen abzeichnen oder bereits eingetreten sind. Es wurden hierbei nur diejenigen Verpackungssysteme untersucht, bei denen von einer deutlichen Ergebnisrelevanz der jeweiligen Randbedingungen auszugehen ist. Im Einzelnen wurden folgende Randbedingungen variiert:

- Energiegewinnung: Strommix mit verändertem Wasserkraft-Anteil bei der Aluminiumherstellung (Szenarien II-22 und II-23, Abs. 4.3.3.1).
- Abfallwirtschaft: Wegfall der Deponierung unbehandelter Abfälle lt. TA Siedlungsabfall ab 2005 am Beispiel des Getränkekartons, der PET-

⁴⁵ Pro funktioneller Einheit werden die (vermiedenen) Umweltbelastungen zur Herstellung von 732 g Primäraluminium (50% von 1,465 kg, Annahme: Al-Ausbeute = 100%) und von 200 MJ Erdgas gutgeschrieben.

Einwegflasche und der Weißblechdose (Szenarien II-25 bis II-27, Abs. 4.3.3.2).

- Transporte: Verminderte Kraftstoffverbräuche und Emissionen der Lkw-Flotte im Jahre 2005 am Beispiel der Glas-Mehrweg-, der PET-Einweg- und PET-Rücklaufflasche (Szenarien II-28 bis II-29, Abs. 4.3.3.3).
- Recycling: Höhere Recyclingquote am Beispiel des Getränkekartons (Szenario II-24, Abs. 4.3.3.4)

Die Untersuchungen der veränderten Rahmenbedingungen beruhen besonders beim Strommix auf Annahmen und Zukunftsprognosen. Sie sind daher naturgemäß mit relativ großen Unsicherheiten behaftet.

4.3.3.1 Variation des Energiesplits

Mit der Variation des für die Aluminiumherstellung zu Grunde zu legenden Stromsplits wurde der - u.a. vom Critical Review betonten - Tatsache Rechnung getragen, dass hier einerseits große Unsicherheiten in den getroffenen Annahmen bestehen, dass andererseits diese Annahmen einen großen Einfluss auf das Ergebnis haben.

Im Gegensatz zu den in den nachfolgenden Kapiteln beschriebenen Variations-szenarien, in denen Situationen unter zukünftig tatsächlich zu erwartenden Randbedingungen untersucht werden, handelt es sich bei der Variation des Energiesplits also um eine Sensitivitätsanalyse mit dem Ziel, die Schwankungsbreiten eines unter unsicheren Annahmen getroffenen Ergebnisses zu ermitteln.

Die Variation der Anteile unterschiedlicher Stromerzeugungssysteme an dem Energiemix wurde auf Primäraluminiumimporte aus Russland beschränkt, da für diesen Bereich keine nachprüfbaren Daten vorlagen. Hierbei wurde der Anteil der Wasserkraft innerhalb des für Russland angenommenen Energiemixes im Szenario II-22 („Hydro+“) auf 100% angehoben, im Szenario II-23 („Hydro-“) wurde er auf 0% abgesenkt und durch Steinkohlekraftwerke ersetzt.

Bezogen auf den Gesamtmix erhöht sich der Wasserkraftanteil in Szenario II-22 im Vergleich zum Basisszenario I-24 um 10%, während der Anteil der fossilen Energieträger um 9% sinkt. In Szenario II-23 ist der Anteil der Wasserkraft um 27% geringer und der Anteil fossiler Energieträger um 28% höher als im Basis-szenario I-24 (siehe hierzu auch Tab. 2-29)

Tabelle 4-15 zeigt die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalyse. Die Variation des Stromerzeugungsmixes wirkt sich erwartungsgemäß nur auf die von der Energieerzeugung aus fossilen Quellen betroffenen Wirkungskategorien aus, da Umweltbelastungen aus der Wasserkraftgewinnung (z.B. die damit verbundene Naturraumbeanspruchung) keine Berücksichtigung in der Ökobilanz fanden.

Die Ergebnisse zeigen, dass unterschiedliche Annahmen zum Energieerzeugungsmix bei der Primäraluminiumerzeugung die Ergebnisse erkennbar beeinflussen. Aufgrund des hohen Anteils des Sekundäraluminiums bei Aluminiumdosen wirkt sich dieser Parameter aber auf das Gesamtergebnis nicht entscheidend aus (größte Auswirkung: ca. 10% höhere THG-Emissionen bei einem um 28% höheren Anteil an fossilen Energieträgern).

Im vorliegenden Fall d.h. unter Zugrundelegung der Extreme: „0% / 100% Wasserkraft in Russland“ ist der Varianzbereich der Ergebnisse, der in Richtung einer Verschlechterung weist (1,9% bis 9,9%) , größer als der, der eine Verbesserung der Ergebnisse enthält (1,0% bis 2,3%).

Tabelle 4-15: Untersuchungsbereich Kohlensäurehaltige Erfrischungsgetränke - Sofortverzehr
- Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut

Sensitivitätsanalyse für die 0,33 l-Aluminiumdose: Variation des Strommixes für das in Russland produzierte Primäraluminium Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut) Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren						
System Nr.:		I-24 (angep. Basisszenario)	II-22 (Wasserkraft* =100%)	Verbesserung um:	II-23 (Wasserkraft* =0%)	Verschlechterung um:
Aquat. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	6,4	6,4	0,0%	6,4	0,0%
Terr. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	69	67	2,1%	71	3,6%
Naturraum (Forst)	m ²	2,97	2,97	0,0%	2,97	0,0%
Naturraum (Deponie)	cm ²	7,79	7,92	-1,7%	7,94	1,9%
Sommersmog	g Äq	212	208	1,8%	217	2,2%
Ressourcenbeanspr.	kg ROÄq	55	54	1,2%	57	3,4%
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Ä	341	333	2,3%	375	9,9%
Versauerung	g SO ₂ -Äq	1375	1360	1,0%	1413	2,8%

*Anteil des für die Elektrolyse des aus Russland importierten Primäraluminiums aus Wasserkraft gewonnenen Stroms

4.3.3.2 Veränderungen der abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingung

Laut TA Siedlungsabfall und Abfallablagerungsverordnung ist nach Ablauf der Übergangsbestimmungen ab Juni 2005 die Vorbehandlung von Abfällen vor ihrer Ablagerung auf Deponien Vorschrift. Dies hat insofern eine Veränderung der Rahmenbedingungen der Ökobilanz zur Folge, als der aktuell zugrundeliegende Abfallwirtschafts-Split (64% Deponie, 36% MVA) dann durch eine - zum überwiegenden Teil thermische - Behandlung der Abfälle zu ersetzen sein wird.

In den Szenarien II-24 bis II-26 wurde untersucht, wie sich diese veränderten abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen auf die Indikatorergebnisse der Systeme 1,0 l-Getränkekarton (II-25), 1,5 l-PET-Einwegflasche (II-26) und 0,33 l-Weißblechdose (II-27) auswirken. Näherungsweise wurde hierbei eine vollständige thermische Vorbehandlung (d.h. ein Abfallwirtschafts-Split: 0% Deponie, 100% MVA) angenommen.

Dieser veränderte Abfallwirtschafts-Split hat vor allem folgende ergebnisrelevante Konsequenzen:

- Reduzierung der mit der Ablagerung verbundenen Umweltbelastungen: Hier sind vor allem der Deponieraumbedarf und treibhausrelevante Methanemission betroffen.
- Energiegewinn durch die Abfallverbrennung beim Getränkekarton und der PET-Einwegflasche.
- Zusätzliche Emissionen durch die Abfallverbrennung.
- Zusätzliche Rückgewinnung von Weißblech-Schrott in der MVA.

Die Tabellen Tabelle 4-16 bis Tabelle 4-18 zeigen die Indikatorergebnisse der Szenarien im Vergleich zu den jeweiligen Basisszenarien. Die Ergebnisse bestätigen die o.g. mit der Umstellung von der Ablagerung auf die thermische Behandlung verbundenen Effekte:

- In der Kategorie Naturraumbeanspruchung (Deponie) werden sich die Indikatorergebnisse bei allen Systemen signifikant um 84% bis 94% reduzieren.
- In der Kategorie Treibhauseffekt entfallen die Methanemissionen, die beim Basisszenario mit 14% zum Indikatorergebnis beitragen.
- Der Energiegewinn durch die Verbrennung der Abfälle wirkt sich nur geringfügig auf die Ergebnisse aus.
- Bei den durch die Abfallverbrennung verursachten Emissionen ist vor allem eine Zunahme der CO₂-Emissionen bei der PET-Einwegflasche zu erkennen. Demgegenüber führt die Abfallverbrennung beim Getränkekarton aufgrund des hohen Anteils an regenerativem Kohlenstoff und der damit verbundenen Substitution fossiler Energieträger insgesamt zu einer Reduzierung der für die Wirkungskategorie Treibhauseffekt relevanten CO₂-Emissionen aus fossilen Quellen.
- Die zusätzliche Rückgewinnung von Weißblech-Schrott in der MVA führt über die hierfür erteilte Gutschrift zu geringen Verbesserungen aller wesentlichen Indikatorergebnisse.

Tabelle 4-16: Untersuchungsbereich Saft – Vorratskauf - Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut

Prognose für den 1,0 l Getränkekarton: 100% thermische Behandlung der Verpackungsabfälle Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut) Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren				
System Nr.:		I-16 (angepasstes Basisszenario)	II-25 (vollständige therm. Behandlung)	Verbesserung um:
Aquat. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	20,5	20,4	0%
Terr. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	31	31	1%
Naturraum (Forst)	m ²	19,57	19,57	0%
Naturraum (Deponie)	cm ²	4,92	0,31	94%
Sommersmog	g Äq	126	121	4%
Ressourcenbeanspr.	kg ROÄq	17	16	7%
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Äq	85	72	16%
Versauerung	g SO ₂ -Äq	412	398	3%

Tabelle 4-17: Untersuchungsbereich Mineralwasser – Vorratskauf
- Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut

Prognose für die 1,5 l PET-Einwegflasche: 100% thermische Behandlung der Verpackungsabfälle Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut) Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren				
System Nr.:		II-5 (Basisszenario)	II-26 (vollständige therm. Behandlung)	Verbesserung / Verschlechterung um:
Aquat. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	2,9	2,8	1%
Terr. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	71	71	0%
Naturraum (Forst)	m ²	0,46	0,46	0%
Naturraum (Deponie)	cm ²	3,15	0,49	84%
Sommersmog	g Äq	471	470	0%
Ressourcenbeanspr.	kg ROÄq	33	32	3%
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Äq	104	110	-5%
Versauerung	g SO ₂ -Äq	1134	1125	1%

Tabelle 4-18: Untersuchungsbereich Kohlensäurehaltige Erfrischungsgetränke - Sofortverzehr
- Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut

Prognose für die 0,33 l Weißblechdose: 100% thermische Behandlung der Verpackungsabfälle Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut) Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren				
System Nr.:		I-16 (angepasstes Basisszenario)	II-27 (vollständige therm. Behandlung)	Verbesserung um:
Aquat. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	13,8	13,8	1%
Terr. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	106	104	2%
Naturraum (Forst)	m ²	2,90	2,90	0%
Naturraum (Deponie)	cm ²	13,65	1,81	87%
Sommersmog	g Äq	197	193	2%
Ressourcenbeanspr.	kg ROÄq	67	66	2%
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Äq	535	524	2%
Versauerung	g SO ₂ -Äq	2009	1980	1%

4.3.3.3 Zukünftige Emissionsgrenzwerte im Transportbereich

Die Umsetzung der EURO-Normen, die für Neufahrzeuge bestimmte Emissionsgrenzwerte vorschreiben, wird es im Laufe der nächsten Jahre zu einem spürbaren Rückgang der durch Transportvorgänge verursachten Kraftstoffverbräuche und Emissionen kommen. In einer Sensitivitätsuntersuchung wurde der Einfluss dieses Effekts auf die Ergebnisse der Ökobilanz für Getränkeverpackungen untersucht. Als Bilanzzeitpunkt wurde, u.a. auch um eine gewisse Vergleichbarkeit mit den oben dargestellten Veränderungen in der Abfallwirtschaft zu erhalten, das Jahr 2005 festgelegt.

Wie in Kap. 2.3.4 dargestellt, wurden die für das Jahr 2005 zu erwartenden Kraftstoffverbräuche und Emissionen mit dem Modell TREMOD prognostiziert. Die Veränderungen gegenüber dem Basisjahr 1996 sind u.a. in Tab. 2-31 dokumentiert.

Tabelle 4-19 bis Tabelle 4-21 zeigen die Indikatorergebnisse für die Verpackungssysteme 0,7 l-Glas-Mehrwegflasche (Szenario II-28), 1,5 l-PET-Einwegflasche (Szenario II-29b) und 1,5 l-PET-Rücklaufflasche (Szenario II-29a).

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass sich die oben genannten Verbesserungen im Verkehrsbereich erwartungsgemäß deutlich auf die Ergebnisse des Mehrwegsystems niederschlagen werden. Die Umwelteinflüsse in den Wirkungskategorien Terrestrische Eutrophierung, Sommersmog und Versauerung⁴⁶, werden

⁴⁶ In diesen drei Wirkungskategorien zeigten alle in Phase 1 untersuchten Mehrwegsysteme im direkten Vergleich zu den jeweiligen Einwegsystemen die – im Vergleich zu den anderen Wirkungskategorien – ungünstigsten Ergebnisse, da hier die Belastungen aus dem Transport besonders zum Tragen kommen.

um 27% bis 36% zurückgehen. Auch in den Kategorien Ressourcenbeanspruchung und Treibhauseffekt wird sich die verbesserte Situation deutlich bemerkbar machen.

Auf das PET-Einwegsystem haben Parametervariationen im Transportbereich keinen nennenswerten Ergebniseinfluss, da der Transport nur geringfügig zum Gesamtergebnis beiträgt. Die Ergebnisse des PET-Rücklaufsystems verbessern sich dagegen leicht, da hier die Umweltbelastungen aus Transporten wegen der ungünstigeren Logistik einen wahrnehmbaren Anteil an der Gesamtbelastung haben.

Tabelle 4-19: Untersuchungsbereich Mineralwasser – Vorratskauf
- Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut

Prognose für die 0,7 l-Glas-Mehrwegflasche: Transportmix 2005 Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut) Systemallokation: Gut-/Lastschrift-Verfahren (Marktmix) ⁴⁷				
System Nr.:		I-01 (Basisszenario)	II-28 (Transportmix 2005)	Verbesserung um:
Aquat. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	2,5	2,5	0%
Terr. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	57	37	36%
Naturraum (Forst)	m ²	1,02	1,02	0%
Naturraum (Deponie)	cm ²	3,14	3,14	0%
Sommersmog	g Äq	125	84	33%
Ressourcenbeanspr.	kg ROÄq	21	20	7%
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Äq	84	79	6%
Versauerung	g SO ₂ -Äq	452	332	27%

⁴⁷ Aus Praktikabilitätsgründen wurde in den Szenarien I-01 und II-28 – im Gegensatz zu allen anderen Szenarien - mit der in Phase 1 angewendeten Marktmix-Methode gerechnet. Für die hier interessierende Differenz zwischen den Szenarien ist diese methodische Abweichung ohne Belang.

Tabelle 4-20: Untersuchungsbereich Mineralwasser – Vorratskauf
- Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut

Prognose für die 1,5 l PET-Einwegflasche: Transportmix 2005 Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut) Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren				
System Nr.:		II-05 (Basissze- nario)	II-29b (Transportmix 2005)	Verbesserung um:
Aquat. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	2,9	2,9	0%
Terr. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	71	69	2%
Naturraum (Forst)	m ²	0,46	0,46	0%
Naturraum (Deponie)	cm ²	3,15	3,15	0%
Sommersmog	g Äq	471	465	1%
Ressourcenbeanspr.	kg ROÄq	33	33	0%
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Äq	104	104	0%
Versauerung	g SO ₂ -Äq	1134	1125	1%

Tabelle 4-21: Untersuchungsbereich Mineralwasser – Vorratskauf
- Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut

Prognose für die 1,5 l PET-Rücklaufflasche: Transportmix 2005 Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut) Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren				
System Nr.:		II-04 (Basissze- nario)	II-29a (Transportmix 2005)	Verbesserung um:
Aquat. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	2,0	2,0	0%
Terr. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	43	40	9%
Naturraum (Forst)	m ²	0,91	0,91	0%
Naturraum (Deponie)	cm ²	1,11	1,11	0%
Sommersmog	g Äq	240	227	5%
Ressourcenbeanspr.	kg ROÄq	20	20	1%
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Äq	82	81	1%
Versauerung	g SO ₂ -Äq	671	649	3%

4.3.3.4 Höhere Recyclingquote beim Getränkekarton

Da sich die Recyclingquote für den Getränkekarton seit der Phase 1 der Ökobilanz von seinerzeit 58% auf 64% erhöht hat, wurde in Szenario II-24 der Einfluss dieser Erhöhung auf die Indikatorergebnisse untersucht.

Tabelle 4-22 zeigt die Ergebnisse dieser Untersuchung. Die Indikatorergebnisse verbessern sich gegenüber dem Basisszenario I-16 aus Phase 1 vor allem in einem um 11% geringeren Deponiebedarf sowie – bedingt durch die höhere Recycling-Gutschrift – in Reduktionen der für die Zellstoff-Herstellung relevanten Indikatoren Aquatische Eutrophierung und Naturraumbedarf (Forst) um

je 4%. Der Rückgang in der Kategorie Treibhauseffekt ist vor allem auf verringerte Methanemissionen aus der Deponie zurückzuführen.

Tabelle 4-22: Untersuchungsbereich Saft – Vorratskauf - Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut

Sensitivitätsrechnung für den 1,0 l Getränkekarton: Recyclingquote: 64% statt 58% Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut) Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren				
System Nr.:		I-16 (angepasstes Basisszenario)	II-24 (Recycling-Quote: 64%) Behand-	Verbesserung um:
Aquat. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	20,5	19,7	4%
Terr. Eutrophierung	g PO ₄ -Äq	31	31	1%
Naturraum (Forst)	m ²	19,57	18,70	4%
Naturraum (Deponie)	cm ²	4,92	4,35	11%
Sommersmog	g Äq	126	125	1%
Ressourcenbeanspr.	kg ROÄq	17	17	0%
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Äq	85	84	2%
Versauerung	g SO ₂ -Äq	412	412	0%

4.3.4 Variation der Distributionsdistanz unter Einbeziehung des Füllguts

In allen bisher behandelten Untersuchungsszenarien der „Ökobilanz für Getränkeverpackungen II“ werden bei der Distribution der gefüllten Verpackungen vom Abfüller zum Einzelhandel (ggfs. unter Einbeziehung mehrstufiger Distribution über den Fachgroßhandel und Zwischenlager) methodengemäß nur der Anteil an Umweltlasten berücksichtigt, der den jeweiligen Verpackungssystemen zuzurechnen ist, während der durch das Füllgut verursachte Anteil keine Berücksichtigung findet. Diese Aufteilung zwischen Verpackungssystem und Füllgut wird rechnerisch mit der in [UBA 2000] in Kap. 2.4.3 beschriebenen Allokationsregel realisiert.

Diese - für Ökobilanzen von Verpackungen allgemein übliche - Vorgehensweise führt bei der Interpretation der Ergebnisse im vorliegenden Fall zu folgenden Einschränkungen:

1. Bestimmte Fragestellungen lassen sich mit den ausschließlich auf Verpackungssysteme bezogenen Ergebnissen nicht zufriedenstellend beantworten. So sind z.B. bei der für den Verbraucher aus Umweltsicht zu treffenden Wahl zwischen zwei Produkten unterschiedlich entfernter Herkunft nicht nur die durch das Verpackungssystem, sondern die durch das Gesamtsystem (Verpackung und Füllgut) verursachten Umweltbelastungen relevant.
2. Bei der in Phase 1 dieses Projekts durchgeführten Distributionsanaly-

se wurden bezüglich der Distributionsentfernungen signifikante Unterschiede zwischen Einweg- und Mehrwegsystemen festgestellt. Bei allen in Phase 1 und – mit Ausnahme der nachfolgenden Szenarien – auch in Phase 2 durchgeführten Untersuchungen wurden diese Unterschiede jedoch unberücksichtigt gelassen, d.h. es wurde eine für das gesamte Getränkesegment durchschnittliche Distributionsentfernung ohne Differenzierung nach Einweg- und Mehrwegsystemen zu Grunde gelegt. Mit dieser Entscheidung wurde implizit angenommen, dass die festgestellten Unterschiede in den Distributionsentfernungen ursächlich nicht durch die Art der Verpackung hervorgerufen werden (sondern z.B. durch spezifische Verbraucherwünsche oder unterschiedlich große Marktdurchdringung des jeweiligen Füllguts). Die bisher in dieser Ökobilanz erhaltenen Ergebnisse sind daher nur unter der Einschränkung dieser Annahme zu sehen.

Auf das Problem der Allokation zwischen Verpackungssystem und Füllgut bei Distributionsprozessen wurde bereits in der Auswertung zu Phase 1 hingewiesen (siehe [UBA 2000], Kap. 5.3.3). Auch das kritische Gutachtergremium regt eine differenziertere Betrachtung in diesem Punkt an (siehe ebd. Anh. 1, Kap. 7). Mit der im folgenden vorgenommenen Einbeziehung des Füllguts in die Untersuchung wird den o.g. Einschränkungen wie folgt Rechnung getragen:

1. Der mit der bisherigen Verfahrensweise praktisch ausgeschlossene Vergleich⁴⁸ zwischen unterschiedlich verpackten Produkten unterschiedlich entfernter Herkunft wird grundsätzlich ermöglicht.
2. Der ergebnisrelevante Einfluss der –von mehreren Seiten in Frage gestellten – o.g. Annahme, dass die ermittelten Unterschiede in den Distributionsentfernungen nicht durch die Art der Verpackung begründet sind, lässt sich im Sinne einer Sensitivitätsanalyse überprüfen⁴⁹.

Die Einbeziehung des Füllguts wurde am Beispiel folgender Verpackungssysteme berechnet:

- 0,7 l-Glas-Mehrwegflasche (Szenario II-30, Abs.).
- 1,5 l-PET-Rücklaufflasche (Szenario II-31, Abs.).

⁴⁸ Ein solcher Vergleich ist zwar grundsätzlich nicht ausgeschlossen, führt aber wegen der Beschränkung auf das Verpackungssystem zu Ergebnissen ohne praxisrelevante Aussagekraft.

⁴⁹ Die Durchführung von Sensitivitätsanalysen bei – grundsätzlich nicht objektiv begründbaren – Allokationsentscheidungen ist lt. ISO 14041 vorgeschrieben. Die Erweiterung der Systemgrenzen, wie sie hier mit der Einbeziehung des Füllguts praktiziert wird, wird in ISO 14041 explizit als Lösungsmöglichkeit zur Vermeidung von Allokationen vorgeschlagen.

- 1,5 l-PET-Einwegflasche (Szenario II-32, Abs.).

Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung liegen in parametrisierter Form vor, mit der sich folgende von der Distributionsentfernung d abhängigen Gerdengleichungen bilden lassen:

	$I = I_0 + d \cdot I_{vp} + d \cdot I_{fg}$ $I = I_0 + d \cdot (I_{vp} + I_{fg}) \quad (\text{Gl.1})$
mit	
	I : Indikatorergebnis incl. Füllgut für die Distributionsentfernung d I_0 : Indikatorergebnis ohne Distribution I_{vp} : Indikatorergebnis je Kilometer Distribution, Verpackungsanteil I_{fg} : Indikatorergebnis je Kilometer Distribution, Füllgutanteil d : Distributionsentfernung in km

Die nachfolgende Tabelle 4-23 stellt die Parameter I_0 , I_{vp} und I_{fg} für die drei untersuchten Systeme dar. Die Darstellung beschränkt sich auf die Wirkungskategorien, die von Transportprozessen betroffen sind. Die übrigen Wirkungskategorien (Aquatische Eutrophierung, Naturraumbeanspruchung) zeigen bei einer Variation der Distributionsentfernung keinerlei Veränderungen.

Tabelle 4-23: Untersuchungsbereich Mineralwasser – Vorratskauf
– Variation der Distributionsentfernung unter Einbeziehung des Füllguts

Einbeziehung des Füllguts bei der Distribution			
Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (Indikatorergebnisse je 1000 l Füllgut) Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren			
Szenario Nr. II-30 0,7 Glas Mehrweg	Indikatorergebnisse ohne Distribution (I₀)	Indikatorergebnisse Distribution Verp. (I_{vp})	Indikatorergebnisse Distribution Füllgut (I_{fg})
Kumulierter Energieaufwand	702 MJ (KEA _{foss.})	2,39 MJ (KEA _{foss.}) /km	1,54 MJ (KEA _{foss.}) /km
Terr. Eutrophierung	13 g PO ₄ -Äq	0,23 g PO ₄ -Äq /km	0,15 g PO ₄ -Äq /km
Sommersmog	43 g Äq	0,43 g Äq / km	0,29 g Äq / km
Treibhauseffekt	49 kg CO ₂ -Äq	0,18 kg CO ₂ -Äq /km	0,12 kg CO ₂ -Äq /km
Versauerung	188 g SO ₂ -Äq	1,38 g SO ₂ -Äq /km	0,89 g SO ₂ -Äq /km
Szenario Nr. II-31 1,5 PET Rücklauf	Indikatorergebnisse ohne Distribution (I₀)	Indikatorergebnisse Distribution Verp. (I_{vp})	Indikatorergebnisse Distribution Füllgut (I_{fg})
Kumulierter Energieaufwand	1.266 MJ (KEA _{foss.})	0,471 MJ (KEA _{foss.}) /km	1,54 MJ (KEA _{foss.}) /km
Terr. Eutrophierung	35 g PO ₄ -Äq	0,044 g PO ₄ -Äq /km	0,15 g PO ₄ -Äq /km
Sommersmog	223 g Äq	0,088 g Äq / km	0,29 g Äq / km
Treibhauseffekt	75 kg CO ₂ -Äq	0,036 kg CO ₂ -Äq /km	0,12 kg CO ₂ -Äq /km
Versauerung	619 g SO ₂ -Äq	0,269 g SO ₂ -Äq /km	0,89 g SO ₂ -Äq /km
Szenario Nr. II-32 1,5 PET Einweg	Indikatorergebnisse ohne Distribution (I₀)	Indikatorergebnisse Distribution Verp. (I_{vp})	Indikatorergebnisse Distribution Füllgut (I_{fg})
Kumulierter Energieaufwand	2.046 MJ (KEA _{foss.})	0,147 MJ (KEA _{foss.}) /km	1,38 MJ (KEA _{foss.}) /km
Terr. Eutrophierung	67 g PO ₄ -Äq	0,014 g PO ₄ -Äq /km	0,13 g PO ₄ -Äq /km
Sommersmog	464 g Äq	0,028 g Äq / km	0,25 g Äq / km
Treibhauseffekt	101 kg CO ₂ -Äq	0,011 kg CO ₂ -Äq /km	0,11 kg CO ₂ -Äq /km
Versauerung	1.113 g SO ₂ -Äq	0,085 g SO ₂ -Äq /km	0,81 g SO ₂ -Äq /km

Für die weitere Auswertung wird an Stelle des bisher betrachteten Wirkungsin-
diktors „Rohöläquivalenzwert“ der „Kumulierte Energieaufwand, fossil“
(KEA_{foss.}) herangezogen, der sich von erstgenanntem darin unterscheidet, dass
die eingesetzten Energieträger über ihren Energieinhalt - ohne Berücksichti-
gung ihrer Knappheit – aggregiert werden.

Die in Tabelle 4-23 dargestellten Ergebnisse verdeutlichen die grundsätzlichen
Unterschiede zwischen Mehrweg- Einweg- und Rücklaufsystemen mit Bezug
auf die von ihnen im Rahmen der Distribution verursachten Umweltbelastun-
gen: Während das Einwegsystem im Vergleich zum Mehrwegsystem bei den
Distributions-unabhängigen Umweltbelastungen I₀ zu doppelten bis zehnfachen
Indikatorergebnissen kommt, sind die Indikatorergebnisse, die dem jeweiligen
Verpackungssystem pro transportiertem Kilometer angelastet werden, beim
Mehrwegsystem etwa um den Faktor 15 höher. Die Gründe hierfür sind einer-
seits beim Einwegsystem der höhere Packstoffbedarf, andererseits beim Mehr-
wegsystem das höhere spezifische Verpackungsgewicht beim Transport
(1088 kg gegenüber 64 kg bezogen auf 1000 l Füllgut), das zu einer geringeren
Füllgut-Auslastung der Transportfahrzeuge führt. Die Ergebnisse für das Rück-
laufsystem liegen zwischen denen dieser beiden Systeme. Der - durch das hohe

Maß an closed-loop-Recycling bedingt –geringere Packstoffeinsatz reduziert die Distributions-unabhängigen Umweltbelastungen gegenüber dem Einwegsystem auf etwa die Hälfte. Dagegen führt das beim Transport höhere spezifische Verpackungsgewicht von 180 kg je funktioneller Einheit zu etwa dreifach höheren distributionsbedingten Umweltbelastungen gegenüber dem „reinen“ Einwegsystem.

Da durch die Allokation alle verpackungsspezifischen Umweltbelastungen vollständig den jeweiligen Verpackungssystemen angerechnet werden, verwundert es auf den ersten Blick, dass die dem Füllgut pro funktioneller Einheit und Distributionskilometer anzulastenden Indikatorergebnisse (letzte Spalte der Tabelle 4-23) zwischen den Systemen nicht identisch sind. Der zu erkennende geringfügige Unterschied zwischen dem Einwegsystem einerseits und dem Mehrweg- und dem Rücklaufsystem andererseits hinsichtlich der dem Füllgut anzulastenden Indikatorergebnisse wird durch den günstigeren Transportfahrzeug-Mix bei Einwegsystemen hervorgerufen⁵⁰.

4.3.4.1 „break-even“-Betrachtungen

Im folgenden wird auf Grundlage der in Tabelle 4-23 dargestellten Ergebnisse ermittelt, bei welcher Distributionsentfernung die Indikatorergebnisse jeweils zweier zum Vergleich stehender Verpackungssysteme gerade gleich groß sind (im Folgenden „break-even-point“ genannt). Hierzu werden gemäß Gl.1 (S. 217) die Indikatorergebnisse I der beiden zu vergleichenden Systeme gleichgesetzt und die so entstandene Gleichung nach der Distributionsentfernung d aufgelöst:

⁵⁰ Siehe z.B. [UBA 2000], Tab. 2-10: Die „Transportanteile nach Fahrzeugen“ sind bei Mehrweg und Einweg unterschiedlich. Für das Rücklaufsystem wurde der für Mehrwegsysteme ermittelte Transportmix angenommen.

$$I_1 = I_2$$

$$I_{0,1} + d \cdot I_{Vp,1} + d \cdot I_{Fg,1} = I_{0,2} + d \cdot I_{Vp,2} + d \cdot I_{Fg,2}$$

$$d = (I_{0,2} - I_{0,1}) / (I_{Vp,1} + I_{Fg,1} - I_{Vp,2} - I_{Fg,2}) \quad (\text{Gl.2})$$

mit

I: Indikatorergebnisse incl. Füllgut für die Distributionsentfernung d

(Index 1, 2: Zum Vergleich stehende Verpackungssysteme)

I_0 : Indikatorergebnisse ohne Distribution

I_{Vp} : Indikatorergebnisse je Kilometer Distribution, Verpackungsanteil

I_{Fg} : Indikatorergebnisse je Kilometer Distribution, Füllgutanteil

d: Distributionsentfernung in km

Beim Vergleich zwischen den drei untersuchten Verpackungssysteme ergeben sich mit Gl. 2 die in der nachfolgenden Tabelle 4-24 dargestellten Distributionsentfernungen, bei der die verglichenen Systeme bezüglich der jeweiligen Wirkungskategorien zu gleich hohen Indikatorergebnissen kommen.

Tabelle 4-24: Untersuchungsbereich Mineralwasser – Vorratskauf
– „break-even“- Distributionsentfernungen

„break-even“-Distributionsentfernungen Distributionsentfernungen, bei denen die Indikatorergebnisse für je zwei verglichene Verpackungssysteme gleich groß sind Systemallokation: 50%-Gut-/Lastschrift-Verfahren			
verglichene Systeme:	0,7 Glas-Mehrweg vs. 1,5 PET-Rücklauf	0,7 Glas-Mehrweg vs. 1,5 PET-Einweg	1,5 PET-Rücklauf vs. 1,5 PET-Einweg
Kumulierter Energieaufwand	293 km	558 km	1.607 km
Terr. Eutrophierung	117 km	238 km	742 km
Sommersmog	520 km	948 km	2.483 km
Treibhauseffekt	178 km	283 km	703 km
Versauerung	389 km	673 km	1.857 km

Bei Distributionsentfernungen unter dieser „break-even“-Entfernung überwiegt I_0 , d.h. das System mit dem höheren Distributions-unabhängigen Indikatorergebnis I_0 kommt zu der höheren Gesamtbelastung. Bei Distributionsentfernungen über der „break-even“-Entfernung zeigt das System mit dem höheren Distributions-abhängigen Indikatorergebnis I_{Vp} eine höhere Gesamtbelastung.

Die Ergebnisse zeigen zum Teil große Unterschiede zwischen den Wirkungska-

tegorien. So ist die „break-even“-Entfernung für die durch den Transport dominierten Kategorie Terrestrische Eutrophierung geringer als für die Sommer-smog, bei der die PET-Herstellung das Ergebnis maßgeblich beeinflusst.

Für den Indikator $KEA_{foss.}$ liegt die „break-even“-Entfernung in der Mitte (z.T. sogar nahe beim ungewichteten arithmetischen Mittel) der Einzelergebnisse, da hier sowohl Transport-abhängige als auch –unabhängige Prozesse eine Rolle spielen. Er soll daher bei den weiteren Betrachtungen als „screening“-Indikator für eine jeweils erste grobe Abschätzung eingesetzt werden⁵¹.

4.3.4.2 Distributions-abhängige Vergleiche

Für den Indikator kumulierter Energieaufwand (fossil) KEA_{foss} errechnen sich mit Gl. 1 (Seite 217) folgende Distributions-abhängigen Ergebnisse⁵²:

- 0,7 l-Glas-Mehrwegflasche: $702 \text{ MJ} + d * (2,39 + 1,54) \text{ MJ/km}$
- 1,5 l-PET-Rücklaufflasche: $1.266 \text{ MJ} + d * (0,47 + 1,54) \text{ MJ/km}$
- 1,5 l-PET-Einwegflasche: $2.046 \text{ MJ} + d * (0,15 + 1,38) \text{ MJ/km}$

(d: Distributionsentfernung in km)

Abbildung 4- 1 zeigt diese Ergebnisse in grafischer Form. Diese Grafik lässt sich wie folgt interpretieren:

- Die Schnittpunkte der Geraden entsprechen den in Tabelle 4-24 dargestellten „break-even-points“ zwischen den jeweiligen Verpackungssystemen. Bei höheren Entfernung führt das System mit der größeren Geradensteigung (dem größeren Distributions-abhängigen Anteil $I_{vp}+I_{fg}$) zu einem höheren fossilen Energieverbrauch.
- Im Gegensatz zu der bisher erfolgten rein Verpackungs-bezogenen Betrachtung lassen sich durch die Einbeziehung des Füllguts auch Vergleiche zwischen Verpackungssystemen bei unterschiedlichen Distributions-entfernungen durchführen. So lässt sich z.B. ermitteln, bei welchen zwei unterschiedlichen Distributionsentfernungen zwei Systeme zu gleich hohen Indikatorergebnissen kommen (siehe das Beispiel in Abbildung 4- 1: Der Energiebedarf des Systems I-01 (Glas-Mehrwegflasche) ist bei einer

⁵¹ Ein solcher „screening“-Indikator erscheint hier sinnvoll und erforderlich, da die Einbeziehung aller Wirkungsindikatoren in die entfernungsbezogene (und damit nicht mehr eindimensionale) Untersuchung nicht praktikabel wäre. Bei einer tiefergehenden Betrachtung ist das mit diesem „screening“ erhaltene Ergebnis anschließend einer Untersuchung unter Berücksichtigung aller Wirkungskategorien zu unterziehen.

⁵² Bezogen auf eine funktionelle Einheit einschließlich Füllgut.

Distributionsentfernung von 400 km ebenso hoch wie der des Systems II-04 (PET-Rücklaufflasche) bei 502 km).

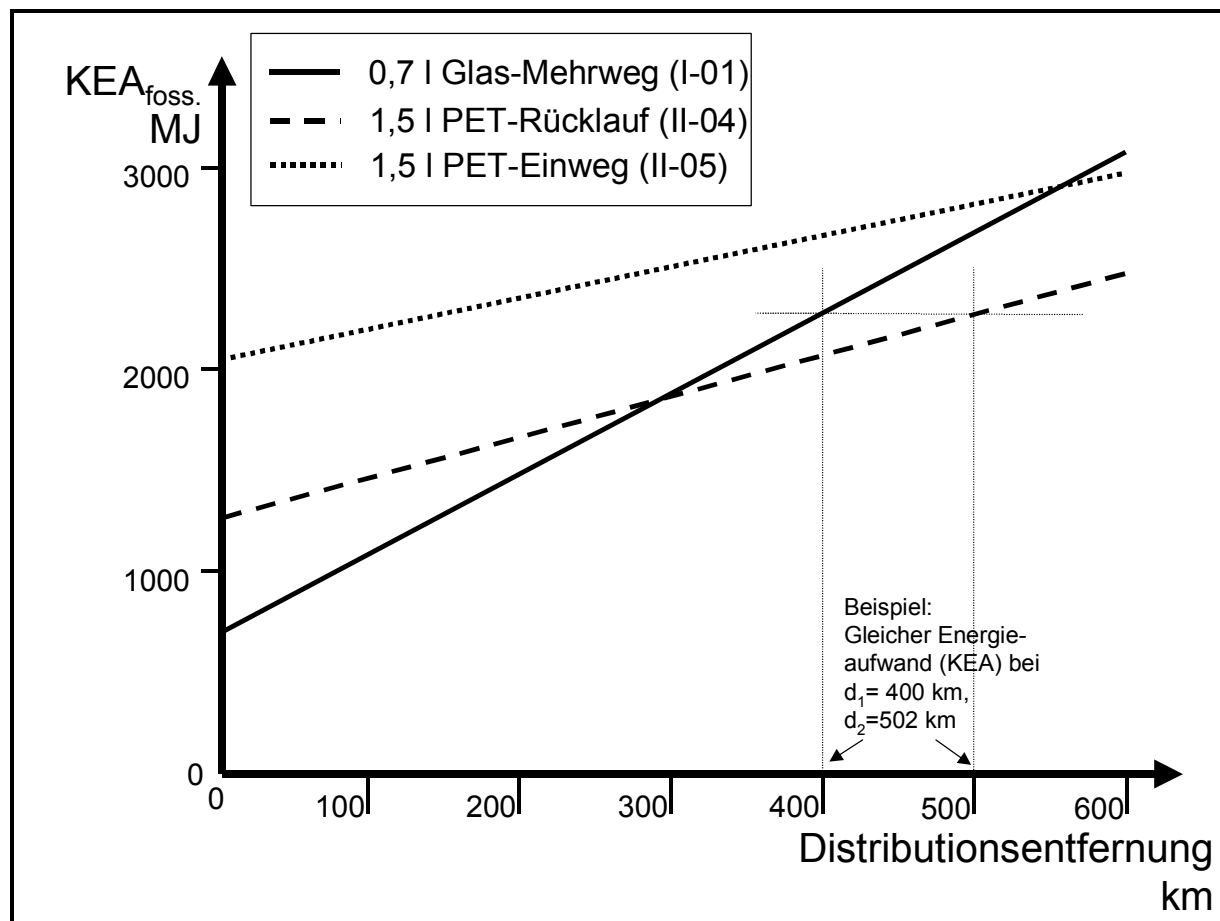


Abbildung 4- 1: Untersuchungsbereich Mineralwasser – Vorratskauf
–Kumulierter Energieaufwand (KEA_{fossil}) je funktionelle Einheit in Abhängigkeit von der Distributionsentfernung

4.3.4.3 Übertragbarkeit der Ergebnisse

Mit den im Rahmen dieser Untersuchung gewonnenen Füllgut-bezogenen entfernungsabhängigen Indikatorergebnissen I_{Fg} lassen sich näherungsweise⁵³ auch für alle in Phase 1 dieser Ökobilanz untersuchten Verpackungssysteme solche Distributions-abhängigen Vergleiche durchführen.

Hierfür ist es zunächst erforderlich, die Indikatorergebnisse der in Phase 1 durchgeführten Sektoralanalysen in Distributions- abhängige (Sektor „Distribu-

⁵³ I_{Fg} ist zwar unabhängig vom jeweiligen Verpackungssystem, aber abhängig von der Zusammensetzung der bei der Distribution eingesetzten Transportfahrzeuge und dem Rückfahrtanteil. Diese können für verschiedene Füllgutbereiche unterschiedlich sein. Wie die Ergebnisse für I_{Fg} in Tabelle 4-24 nahe legen, ist dieser Unterschied aber als gering anzusehen.

tion“) und –unabhängige (Summe über alle übrigen Sektoren) Anteile zu trennen. Die Summe der Distributions-unabhängigen Ergebnisse ist I_0 in Gl. 1; die Division des Ergebnisses aus dem Sektor Distribution durch die mittlere Transportentfernung (berechnet aus den Tab. 2-10 bis 2-13 in [UBA 2000]) führt zu I_{vp} .

Im Folgenden wird diese Vorgehensweise am Beispiel des Vergleichs zwischen der 0,7 l-Glas-Mehrwegflasche (System I-01) und dem 1,0 l-Getränkekarton (System, I-06), beides Verpackungssysteme für Mineralwasser, dargestellt⁵⁴.

Die Geradengleichungen für den Indikator KEA (fossil) dieser beiden Systeme lauten:

- 0,7 l-Glas-Mehrwegflasche⁵⁵: $702 \text{ MJ} + d * (2,39 + 1,54) \text{ MJ/km}$
- 1,0 l-Getränkekarton⁵⁶: $1.121 \text{ MJ} + d * (0,13 + 1,39) \text{ MJ/km}$

Bei der (in Phase 1 angesetzten) über den gesamten Getränkebereich Mineralwasser (Vorratshaltung) - sowohl Einweg- als auch Mehrwegsysteme - gemittelten Distributionsentfernung von 193 km ergibt sich:

- 0,7 l-Glas-Mehrwegflasche: $702 \text{ MJ} + 193 \text{ km} * (2,39 + 1,54) \text{ MJ/km}$
= 1.463 MJ
- 1,0 l-Getränkekarton: $1.121 \text{ MJ} + 193 \text{ km} * (0,13 + 1,39) \text{ MJ/km}$
= 1.414 MJ

Bei den in der Distributionsanalyse⁵⁷ ermittelten unterschiedlichen mittleren Distributionsentfernungen für Glas-Mehrweg (188,5 km) und Einweg-Karton (304,4 km) ergibt sich:

- 0,7 l-Glas-Mehrwegflasche: $702 \text{ MJ} + 188,5 \text{ km} * (2,39 + 1,54) \text{ MJ/km}$
= 1.445 MJ
- 1,0 l-Getränkekarton: $1.121 \text{ MJ} + 304,4 \text{ km} * (0,13 + 1,39) \text{ MJ/km}$
= 1.583 MJ

Während der Getränkekarton im erstgenannten Fall zu einem um etwa 3% günstigeren Ergebnis kommt, führt die Berücksichtigung unterschiedlichen Distributionsentfernungen zu einem um etwa 10% ungünstigeren Ergebnis.

Wie zu Beginn des Abschnitts 4.3.4 auf Seite 215 dargelegt wurde, stellt die Berechnung mit unterschiedlichen Entfernungen eine Sensitivitätsanalyse zu

⁵⁴ Es wurden die Ergebnisse der in Phase 2 mit 50/50-Allokation neu berechneten Szenarien herangezogen.

⁵⁵ Datenquelle: Tabelle 4-23

⁵⁶ Datenquellen: I_0 und I_{vp} aus der Ergebnisdatei zu Phase 1 berechnet, I_{Fg} aus Tabelle 4-23

⁵⁷ Siehe [UBA 2000], Materialsammlung, Bericht Nr. 6, S. 9 ff

der in Phase 1 erfolgten Berechnung mit gleicher Distributionsentfernung dar. Während in Phase 1 implizit davon ausgegangen wurde, dass die Entfernungsdifferenzen nicht durch die Verpackungssysteme verursacht werden, schreibt die Berechnung mit unterschiedlichen Entfernungen diese dem jeweiligen Verpackungssystem vollständig zu.

4.4 Beurteilung der Ergebnisse

4.4.1 Datensicherheit, Repräsentativität

Abgesehen von wenigen beschriebenen Ausnahmen wurden für die Untersuchungen in Phase 2 die Ausgangsdaten aus Phase 1 verwendet. Für diese Daten wird auf die dort gemachten Ausführungen zur Datensicherheit und Repräsentativität verwiesen ([UBA 2000], S. 339 ff).

Im Unterschied zur Phase 1 der Ökobilanz für Getränkeverpackungen II geht es in Phase 2 nicht darum, bestehende marktrepräsentative Verpackungssysteme zu untersuchen. Gegenstand der Untersuchung sind dagegen einzelne Systeme und Szenarien, die auf unterschiedlich abgesicherten Datengrundlagen basieren (siehe hierzu Kap. 2).

Da sich die vier Teilziele bezüglich der Fragestellungen und damit auch in den Hintergrunddaten stark voneinander unterscheiden, wird zur Beurteilung der Datensicherheit und Repräsentativität sowie der Möglichkeiten und Grenzen der hieraus abzuleitenden Schlussfolgerungen im Folgenden nach diesen vier Teilzielen unterschieden.

Teilziel 1 (neu aufgenommene Verpackungssysteme):

Zur Beschreibung der Datengrundlage wird auf Kap. 2.1 verwiesen.

Die Daten für die bei Einweg-Verpackungssystemen relevanten Sektoren Packmittel- und Verpackungsherstellung wurden zum Teil für diesen Teil der Studie neu erhoben (Bezugszeitraum 2000/2001), zum Teil entstammen sie den gleichen Datenquellen, die für die Berechnungen in Phase 1 zugrunde lagen (siehe Tab. 2-23). Einige der neu erhobenen Daten stammen aus Einzelquellen oder wurden geschätzt, hierbei handelt es sich aber nicht um ergebnisrelevante Prozesse. Die Qualität dieser Datenbasis ist insgesamt mit der aus Phase 1 vergleichbar. Sie ist als hinreichend repräsentativ anzusehen.

Daneben sind für Einweg-Verpackungssysteme die Annahmen zum Recycling von Bedeutung. Für die Verwertungsquoten wurde eine aktuelle Schätzung der GVM im Auftrag der AGVU zu Grunde gelegt. Die Angaben lie-

gen zum Teil erheblich über denen in Phase 1 für das Bezugsjahr 1996 angenommenen Werten. Für die Systeme Aluminium- und Weißblechdose wurden in den Szenarien II-33 und II-34 Sensitivitätsanalysen mit geringeren Quoten durchgeführt.

Die Sekundärrohstoff-Einsatzquote spielt vor allem bei den PET-Einweg- und Rücklaufsystemen eine große Rolle. Da beide Systeme noch relativ neu sind, lassen sich keine abgesicherten Angaben über die auf lange Sicht zu erwartenden Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Sekundär-PET treffen. Für die PET-Rücklaufsysteme II-03 und II-04 wurde eine Einsatzquote von 50%, für die Einwegsysteme II-05 und II-06 eine Einsatzquote von 5% angenommen. Wie die Ergebnisse der Optimierungsrechnung in Szenario II-21 zeigen, würde sich eine Erhöhung dieser Einsatzquote entscheidend auf das Ergebnis auswirken. Die aus den vorliegenden Ergebnissen ableitbaren Schlussfolgerungen sind daher nur im Zusammenhang mit den hier zu Grunde gelegten Einsatzquoten zu sehen.

Für den für Mehrwegsysteme relevanten Sektor Distribution wurden die bereits in Phase 1 erhobenen Daten (Bezugsjahr 1996) verwendet. Bei der Distribution zeigte sowohl die Variation der Distributionsentfernung (Szenario II-30) als auch der Fahrzeugflotte (Szenario II-28) eine erhebliche Ergebnisrelevanz. Es ist davon auszugehen, dass vor allem die für das Bezugsjahr 1996 erhobenen und damit relativ veralteten Annahmen zu Kraftstoffverbrauch und Emissionsfaktoren die Ergebnisse zu Ungunsten der Mehrwegsysteme beeinflussen. Zur Entwicklung der Distributionsstrukturen (v.a. der mittleren Entfernung zwischen Abfüller und Einzelhandel) liegen keine aktuellen Angaben vor. Die aus den vorliegenden Ergebnissen ableitbaren Schlussfolgerungen stehen unter dem Vorbehalt, dass sich die in Phase 1 zu Grunde gelegten Distributionsstrukturen seither nicht wesentlich verändert haben.

Teilziel 2 (optimierte Verpackungssysteme):

Bei den speziell für das Teilziel 2 zu Grunde gelegten Randbedingungen (v.a. Gewichtsreduktionen und technische Neuerungen) handelt es sich zielgemäß nicht um repräsentative Daten. Wie aus Tab. 2-26 und 2-28 deutlich hervorgeht, sind diese Optimierungen erst in Einzelfällen tatsächlich realisiert oder für die Zukunft geplant.

Ausschließliches Ziel der hierbei durchgeführten Untersuchungen ist es, den Einfluss der Optimierungen auf die Ergebnisse der Ökobilanz zu ermitteln. Die mit diesen Szenarien erhaltenen Ergebnisse sind daher ausschließlich

im Zusammenhang mit den jeweiligen Annahmen als „wenn-dann“-Aussagen zu interpretieren.

Vor dem Hintergrund dieser Einschränkung sind die Daten als abgesichert zu bewerten. Die Annahmen erscheinen grundsätzlich realisierbar, zum Teil sind sie bereits vereinzelt realisiert.

Teilziel 3 (Zukünftig veränderte Randbedingungen):

Der überwiegende Teil der in diesem Bereich für die Zukunft angenommenen Randbedingungen (Ausnahmen: Szenarien II-22 bis II-24) ist - im Gegensatz zu Teilziel 2 – entweder gesetzlich vorgegeben (TA Siedlungsabfall) oder über plausible Modellrechnungen aus gesetzlichen Vorgaben abgeleitet (Transportmodell für 2005 auf der Grundlage der Grenzwerte der EURO-Normen). Es handelt sich hierbei also um realistische Prognosen, die aber ausschließlich die auf Grund der jeweilig genannten zukünftigen Randbedingungen veränderten Ökobilanz-Ergebnisse beschreiben⁵⁸.

Bei den Szenarien II-22 und II-23 handelt es sich um eine Sensitivitätsanalyse zur Ermittlung der durch einen unsicheren Datensatz hervorgerufenen Fehlerbandbreite. Die zu Grunde gelegten Annahmen zum Energiemix sind nicht repräsentativ, sie beschreiben lediglich zwei theoretisch mögliche Extremwerte.

Die in Szenario II-24 für den Getränkekarton neu einbezogene Verwertungsquote von 64% erscheint durch den Mengenstromnachweis des DSD hinreichend abgesichert.

Teilziel 4 (Variation der Distributionsentfernung, Einbeziehung des Füllguts):

Für dieses Teilziel wurden keine neuen Daten erhoben oder Randbedingungen festgelegt. Die für Phase 1 erhobenen Daten zu Distributionsstruktur und Transportmix sowie zu Treibstoffbedarf und Emissionsfaktoren wurden parametrisiert und linear extrapoliert mit dem Ziel, Ergebnisse in Abhängigkeit von der Distributionsentfernung zu erhalten.

Der linearen Extrapolation liegt die Annahme zu Grunde, dass sich die Zusammensetzung der Transportfahrzeuge bei unterschiedlichen Entfernungen nicht maßgeblich unterscheidet. Die Ergebnisse sind somit unter diesem Vorbehalt zu sehen.

⁵⁸ D.h. es ist weder möglich noch war es beabsichtigt, Prognosen zu bestimmten absoluten Ergebnissen (z.B. für das 0,7 l Mehrwegsystem im Jahre 2005) zu treffen, da hierbei auch die Veränderung der anderen Randbedingungen hätte prognostiziert werden müssten.

Durch die Einbeziehung des Füllguts - insbesondere bei größeren Entfernungen – erhält die Modellierung der Transportmixes sowie die angenommenen Treibstoffverbräuche und Emissionsfaktoren ein noch höheres Gewicht. Da einerseits für letztere als Bezugsjahr 1996 angesetzt wurde, andererseits in den Szenarien II-28 und II-29 gezeigt werden konnte, dass die Entwicklung bis 2005 hier zu einem deutlichen Rückgang der Indikatorergebnisse führen wird⁵⁹, ist davon auszugehen, dass die Abhängigkeiten der Ergebnisse von der Distributionsentfernung (d.h. die Geradensteigungen in den einzelnen Grafiken) bei Annahme der aktuellen Emissionssituation schwächer ausfallen würden.

4.4.2 Vergleichbarkeit der Systeme, Datenkonsistenz

Das Problem der eingeschränkten Vergleichbarkeit zwischen Systemen aus Phase 1 und solchen aus Phase 2 wurde bereits ausreichend beleuchtet (siehe z.B. Kap. 4.1.2). Es konnte gezeigt werden, dass alle Vergleiche mit den in Phase 1 als Referenzszenarien dienenden Mehrwegsystemen mit relativ geringen Fehlern behaftet sind, die die Ergebnisse nicht substantiell in Frage stellen.

Für die Vergleichbarkeit zwischen Verpackungssystemen gelten die bereits in Phase 1 an entsprechender Stelle ([UBA 2000], S. 431) formulierten Vorbehalte bezüglich der Vergleichbarkeit von Verpackungen unterschiedlicher Füllvolumina (z.B. zwischen 0,7 l- und 1,5 l-Flaschen), füllgutspezifischer Einschränkungen (System II-07 ist ausschließlich für stilles Wasser geeignet) und unterschiedlicher Einsatzbereiche (z.B. außer-Haus-Verzehr gegenüber Gastronomiebereich).

Im Gegensatz zu Phase 1 war es nicht das Ziel der Untersuchungen in Phase 2, mit „konsistenten“ Daten (i.S.v. durchgängig gleicher Zeitbezug und vergleichbare Technologie) zu arbeiten. Aus diesem Grund haben die Ergebnisse über die eigentlichen Untersuchungsziele hinaus keine oder nur geringe Aussagekraft⁶⁰. Bezogen auf das jeweilige Untersuchungsziel sind die den zum Vergleich stehenden Szenarien zu Grunde liegenden Daten jedoch als hinreichend konsistent anzusehen.

4.4.3 Einschränkungen

Die aus den Ergebnissen der vorliegenden Ökobilanz ableitbaren Aussagen unterliegen folgenden Einschränkungen:

⁵⁹ Gemeint sind hier die Emissionen **je gefahrenem Kilometer**, nicht die durch den Getränketransport **insgesamt** verursachten Umweltlasten. Letztere sind außerdem von der Entwicklung des Getränkeverbrauchs und der durchschnittlichen Distributionsentfernung abhängig.

⁶⁰ Es wäre z.B. nicht zulässig, den „Getränkarton 2005“ (System II-25) mit der „Mehrwegflasche 2005“ (System II-28) zu vergleichen.

- Die Ergebnisse haben nur auf der Grundlage und im Zusammenhang mit der vorher festgelegten Funktion Gültigkeit. Sie verlieren diese Gültigkeit, wenn die Verpackungssysteme darüber hinaus (etwa aufgrund einer besonderen Eigenschaft des Füllguts) weitere Funktionen erfüllen müssen. So sind die Ergebnisse zu System II-07 (PET-Flasche, 28 g) auf stilles Wasser beschränkt, da dieses Verpackungssystem aus Stabilitätsgründen nicht für CO₂-haltiges Wasser geeignet ist.
- Die Datenkategorien „Staub“ und „AOX“, die sich für einige der betrachteten Systeme als mengenmäßig sehr relevant erweisen, sind Summenparameter, die sowohl ökologisch bedenkliche als auch harmlose Einzelstoffe umfassen. Sie können daher hinsichtlich ihrer ökologischen Relevanz nicht beurteilt werden. Alle Ergebnisse und daraus abgeleiteten Aussagen sind unter dieser Einschränkung zu verstehen.

4.4.4 Sensitivitätsprüfung

An mehreren Stellen der Untersuchung wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt mit der Absicht, Hinweise zur Stabilität der Ergebnisse zu erhalten, d.h. zu ermitteln, wie die Ergebnisse auf Schwankungen von Eingangsdaten und Randbedingungen reagieren.

Wie in Kap. 4.1 ausgeführt wurde, erfolgte die Phase 2 der Ökobilanz für Getränkeverpackungen II unter anderem mit dem Ziel, die in Phase 1 [UBA 2000] betrachteten Verpackungssysteme unter veränderten Bedingungen (verbesserte Verpackungssysteme (Teilziel 2), veränderte Rahmenbedingungen (Teilziel 3)) zu untersuchen und damit Aussagen zur Ergebnisrelevanz dieser Veränderungen zu erhalten. Diese Teilziele sind somit als Sensitivitätsanalysen zu den Untersuchungen der Phase 1 zu verstehen.

Die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalysen sind im Einzelnen in den Kapiteln 4.3.2 und 4.3.3 eingehend dokumentiert und sollen daher hier nicht weiter behandelt werden. Sie zeigen die erwartet hohe Ergebnisrelevanz des Materialgewichts und des Recyclings bei Einwegverpackungen sowie der Distribution bei Mehrwegverpackungen.

Das Problem der Zuordnung (Allokation) von Umweltlasten im Falle von open-loop-Recycling wurde bereits in Kap. 1.2.6 beschrieben. Laut ISO 14041 ist eine Sensitivitätsanalyse durchzuführen, „wenn mehrere alternative Allokationsverfahren zulässig erscheinen“. Um den Einfluss der Wahl des Allokationsverfahrens auf die Ergebnisse zu ermitteln, wurde parallel zu dem gewählten „50/50“-Verfahren auch mit dem „cut-off“-Verfahren gerechnet.

Der Einfluss der Allokationsmethode auf die Ergebnisse lässt sich am besten an Hand der grafischen Ergebnisdarstellungen in den Kapiteln 3.2 und 3.3 erläutern.

tern⁶¹. Hier zeigt sich, dass dieser Einfluss je nach Wirkungskategorie und Verpackungsart sehr verschieden ist:

- **Aquatische Eutrophierung:** In dieser Kategorie sind vor allem CSB-Frachten aus der Zellstoffherstellung von Bedeutung. Verpackungssysteme, die Frischfaserpapier (z.B. als Etikett) einsetzen, werden auf Grund der stofflichen Verwertung mit dem 50/50-Verfahren entlastet (z.B. System II-1). Die Anwendung des cut-off-Verfahrens erhöht die Ergebnisse bei diesen Systemen z.T. erheblich (z.B. +33% bei System II-10).
Verpackungssystemen, in denen dagegen Altpapier (z.B. als Wellpappe-Karton) eingesetzt wird, wird mit dem 50/50-Verfahren ein Teil der Umweltlasten aus dem vorgelagerten (Primär-) Lebensweg übertragen. Bei Anwendung des cut-off-Verfahrens werden die Ergebnisse dieser Systeme um diesen Beitrag entlastet (bis zu etwa 35%, z.B. bei System II-11).
- **Terrestrische Eutrophierung:** In dieser Kategorie fallen vor allem NO_x-Frachten aus der Energieumwandlung ins Gewicht. Die im Rahmen der Systemallokation gutgeschriebenen Frachten richten sich nach der Höhe der zur Packstoff- und Verpackungsherstellung erforderlichen (und damit durch das Recycling eingesparten) Energie sowie der Menge des im open-loop verwerteten Materials.
Bei Mehrwegsystemen ist der Einfluss des Allokationsverfahrens vergleichsweise gering (1 bis 2% bei den (Leicht-) Glas-Mehrwegsystemen II-1 und II-10, 10% beim PET-Mehrwegsystem II-8).
Bei Einwegsystemen ist der Einfluss des Allokationsverfahrens je nach Art des Materials sehr unterschiedlich. Als Extremwert sei das System II-6 (bepfandetes PET-Einweg) genannt, bei dem sich das Ergebnis bei einer Berechnung mit cut-off-Allokation um ca. 40% erhöht. Bei Aluminium (System II-11) und Einweg-Leichtglas (System II-2), zwei Materialien, die zum großen Teil als quasi-closed-loop modelliert werden, wirkt sich das Allokationsverfahren nur mit etwa 2% auf das Ergebnis aus.
- **Naturraumbeanspruchung (Forst):** Da die Ergebnisse in dieser Kategorie vor allem von der Menge der eingesetzten Papier- und Pappprodukte abhängen, werden sie in ähnlicher Weise – wenn auch in erheblich stärkerem Maße – durch das Allokationsverfahren beeinflusst, wie es oben bei der Wirkungskategorie Aquatische Eutrophierung beschrieben wurde. So kommen Verpackungssysteme, in denen Frischfaserzellstoff eingesetzt wird, bei Berechnung mit cut-off-Allokation zu bis zu dreifach hö-

⁶¹ Hinweis: In diesen Grafiken werden die nach dem cut-off-Verfahren berechneten Ergebnisse als „System“, die nach dem 50/50-Verfahren berechneten Ergebnisse als „Netto“ bezeichnet.

heren Ergebnissen (II-1, II-10), während sich das Ergebnis bei Systemen, die in großem Maße Altpapier einsetzen, mit der cut-off Regel auf einen Bruchteil reduziert (auf etwa ein Sechstel bei den Systemen II-11 und II-12).

- **Naturraumbeanspruchung (Deponie):** Da die Allokation der zu beseitigenden Abfälle bei beiden Verfahren gleich ist, unterscheiden sich die Ergebnisse nicht.
- **Sommersmog:** Das Allokationsverfahren beeinflusst vor allem die Ergebnisse der PET-Systeme in Abhängigkeit vom Anteil und der Qualität des open-loop-Recyclings. So führt das cut-off-Verfahren bei System II-6 (bepfandetes PET-Einweg) zu einem um fast 50% höheren Ergebnis; die Stoffkreislaufsysteme II-03 und II-04 kommen beim cut-off-Verfahren zu einem um 30% höheren Ergebnis, bei den Einwegsystemen II-05, II-07 und II-09 sowie beim Mehrwegsystem II-08 sind es jeweils etwa 10%. Bei der Weißblechdose II-12 erhöht sich das Ergebnis bei cut-off um 6%. Für alle übrigen Verpackungssysteme zeigt das Allokationsverfahren nur einen geringen Einfluss auf die Ergebnisse (bis max. 4%).
- **Ressourcenbeanspruchung:** Ähnlich wie im vorangegangenen Abschnitt sind auch hier vor allem die PET-Systeme in Abhängigkeit vom Anteil und der Qualität des open-loop-Recyclings betroffen. So führt das cut-off-Verfahren bei System II-6 (bepfandetes PET-Einweg) zu einem um 45% höheren Ergebnis; die Stoffkreislaufsysteme II-03 und II-04 kommen beim cut-off-Verfahren zu einem um 35% höheren Ergebnis, bei den Einwegsystemen II-05, II-07 und II-09 sowie beim Mehrwegsystem II-08 sind es jeweils etwa 30%. Bei der Weißblechdose II-12 erhöht sich das Ergebnis bei cut-off um 15%. Für alle übrigen Verpackungssysteme zeigt das Allokationsverfahren nur einen geringen Einfluss auf die Ergebnisse (bis max. 6%).
- **Treibhauseffekt:** Auch diese Wirkungskategorie wird, wie oben unter Terrestrische Eutrophierung beschrieben, stark von der zur Herstellung des Packstoffes und der Verpackung erforderlichen Energie bestimmt. So führt das cut-off-Verfahren bei System II-6 (bepfandetes PET-Einweg) zu einem um 21% höheren Ergebnis; die Stoffkreislaufsysteme II-03 und II-04 kommen beim cut-off-Verfahren zu einem um 11% höheren Ergebnis, bei den Einwegsystemen II-05, II-07 und II-09 sowie beim Mehrwegsystem II-08 sind es 7 bis 9%. Bei der Weißblechdose II-12 erhöht sich das Ergebnis bei cut-off um 11%, bei der Aluminiumdose II-11 um 7%. Für die Glas-Verpackungssysteme zeigt das Allokationsverfahren nur einen geringen Einfluss auf die Ergebnisse (bis max. 4%).

- Versauerung: Es zeigt sich die gleiche Tendenz wie bei Terrestrische Eutrophierung und Treibhauseffekt: Das cut-off-Verfahren führt bei System II-6 (bepfandetes PET-Einweg) zu einem um 34% höheren Ergebnis; die Stoffkreislauflsysteme II-03 und II-04 kommen beim cut-off-Verfahren zu einem um 22% höheren Ergebnis, bei den Einwegsystemen II-05, II-07 und II-09 sowie beim Mehrwegsystem II-08 sind es 8 bis 14%.

Bei der Weißblechdose II-12 erhöht sich das Ergebnis bei cut-off um 8%, bei der Aluminiumdose II-11 um 7%. Für die Glas-Verpackungssysteme zeigt das Allokationsverfahren nur einen geringen Einfluss auf die Ergebnisse (bis max. 3%).

4.4.5 Identifizierung signifikanter Parameter

Die Untersuchungen zu Phase 2 und hier vor allem die neu aufgenommenen Verpackungssysteme (Teilziel 1) bestätigen im Wesentlichen die auf Grund der Untersuchungen zu Phase 1 getroffenen Feststellungen hinsichtlich der Ergebnisrelevanz verschiedener Daten- und Wirkungskategorien sowie Lebenswegabschnitten (Sektoren).

Es zeigte sich, dass bei den meisten der untersuchten Systemen die Ergebnisse jeweils nur von wenigen Sektoren und den dort vorliegenden Randbedingungen dominiert werden:

- Bei Mehrwegsystemen stehen die durch die Distribution hervorgerufenen Belastungen an erster Stelle. Diese sind im wesentlichen von der Distributionsentfernung und von der Raumauslastung des Transportfahrzeuges abhängig. Bei Einwegsystemen hat die Distribution nur einen geringen Einfluss auf das Gesamtergebnis. Diese Aussagen stehen allerdings unter dem Vorbehalt, dass nur Verpackungssysteme (ohne Füllgut) untersucht werden. Wird das Gesamtsystem „Verpackung plus Füllgut“ betrachtet (siehe Kap. 4.3.4), kommt der Distributionsentfernung auch bei Einwegsystemen eine erhebliche Bedeutung zu.
- Daneben hat bei Mehrwegsystemen die Reinigung der gebrauchten Verpackungen vor ihrer Wiederbefüllung und hier vor allem der Energieverbrauch zur Erwärmung des Reinigungswassers einen großen Einfluss auf das Gesamtergebnis.
- Bei Einwegsystemen wird das Ergebnis der Ökobilanz von der Herstellung des Packstoffes dominiert, die bei den meisten Mehrwegsystemen nur von nachrangiger Bedeutung ist (Ausnahme: Mehrwegsysteme mit relativ geringer Umlaufzahl wie z.B. das PET-Mehrwegsystem II-08). Deutliche Optimierungen aus Umweltsicht können im Falle von Einweg-

verpackungen daher durch Materialreduzierungen erreicht werden.

- Daneben wurde für Einwegsysteme die hohe Ergebnisrelevanz von Menge und Qualität der stofflichen Verwertung bestätigt. In mehreren Sensitivitätsanalysen konnte gezeigt werden, dass der Anteil der aus dem System einer stofflichen Verwertung zugeleiteten Abfälle (Recyclingquote), die Qualität der gewonnenen Sekundärrohstoffe (z.B. bei einer werkstofflichen gegenüber einer rohstofflichen Verwertung) sowie der Anteil der im System eingesetzten Sekundärrohstoffe (Sekundärrohstoffeinsatzquote) die Ergebnisse entscheidend beeinflusst.

Allgemein ist festzuhalten, dass die Ergebnisse fast ausschließlich durch Energieprozesse und die damit verbundenen Rohstoffverbräuche und Emissionen bestimmt werden. Dies gilt sowohl für Einwegsysteme, bei denen der Energieverbrauch für die Packstoff- und Verpackungsherstellung ins Gewicht fällt, als auch für Mehrwegsysteme, in denen Transporte und das Flaschenspülen von vorrangiger Bedeutung ist. So verwundert es auch nicht, dass die durch Energieprozesse beeinflussten Wirkungskategorien zu tendenziell ähnlichen Ergebnissen führen.

Wegen seiner hohen Ergebnisrelevanz sollte dem Energieaufwand in zukünftigen Untersuchungen von Verpackungssystemen ein hohes Gewicht beigemessen werden. Als Indikator bietet sich hierfür der KEA (kumulierter Energieaufwand) an.

4.4.6 Signifikanz der Ergebnisse

Die Bewertungsmethode des Umweltbundesamtes [UBA 1999] sieht u.a. vor, die den untersuchten Systemen zuzuschreibenden Umweltbelastungen mit der gesamten Umweltsituation oder anderen Umweltproblemfeldern ins Verhältnis zu setzen. Der Zweck dieser sog. Signifikanzanalyse ist vor allem, den angesprochenen (z.B. umweltpolitischen) Entscheidungsträger in die Lage zu versetzen, den umweltpolitischen Nutzen einer Entscheidung einzuschätzen.

Mit der Darstellung der Ergebnisse in Einwohnerdurchschnittswerten (EDW), wie sie in den Ergebnissen zur Wirkungsabschätzung dokumentiert ist, ist es möglich, einen Eindruck von der Größenordnung der Ergebnisse zu erhalten. Hierbei ist zu beachten, dass sich die Angaben auf den jährlichen Getränkekonsum in dem jeweiligen Untersuchungsbereich beziehen. Sie beschreiben also den (hypothetischen) Fall, der einträte, wenn der gesamte Jahresverbrauch des jeweiligen Getränkesegments in dieses Verpackungssystem abgefüllt würde.

Die Größenordnung der Differenz zwischen den Ergebnissen zweier Systeme lässt sich am Beispiel des Vergleichs zwischen den Systemen II-01 (1,0 l-

Leichtglas-Mehrwegflasche) und II-05 (1,5 l-PET-Einwegflasche) darstellen: Hier erreicht z.B. in der Wirkungskategorie Treibhauseffekt das System II-01: 34.000 EDW, für das System I-05 wurden 63.000 EDW ermittelt, hieraus ergibt sich eine Differenz von 29.000.

Dies bedeutet: Würde das gesamte in Deutschland pro Jahr abgefüllte Mineralwasser (ca. 8 Mrd. Liter) einmal in 1,0 l Leichtglas-Mehrwegflaschen, das andere Mal in 1,5 l PET-Einwegflaschen abgefüllt, so würde dies die Emission an Treibhausgasen um den gleichen Betrag reduzieren, wie er von einer Stadt in der Größenordnung von 30.000 Einwohnern verursacht wird.

4.5 Zusammenfassende Schlussfolgerungen und Empfehlungen

4.5.1 Zusammenfassende Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen über neu aufgenommene Verpackungssysteme

- Alle neu aufgenommenen Verpackungssysteme zeigen gegenüber den in Phase 1 untersuchten vergleichbaren Systemen aus Umweltsicht Verbesserungen. Diese Verbesserungen sind vor allem auf geringere spezifische Materialaufwände zurückzuführen, die durch dünnere Wandstärken und/oder größere Füllvolumina erzielt werden.
- Besonders deutlich erscheinen diese Verbesserungen bei den Mehrwegverpackungen in den Sofortverzehr-Segmenten. Die in der Auswertung zu Phase 1 getroffene Behauptung, dass seinerzeit relativ ungünstige Verpackungssysteme als Mehrweg-Referenzsysteme gewählt wurden, wird hier durch die Ergebnisse bestätigt.
- Die in Phase 1 aus Umweltsicht festgestellten Vorteile von Mehrwegsystemen gegenüber Einwegsystemen (Ausnahme: Getränkekarton) werden insgesamt bestätigt. Dies gilt auch für PET-Einwegsysteme.
- Auch gegenüber dem PET-Rücklaufsystem zeigen sich unter den hier angenommenen Randbedingungen (Rücklaufquote: 95%, Sekundär-PET-Einsatzquote: 50%) Vorteile auf Seiten des Glas-Mehrwegsystems; diese Aussage wird auch durch die derzeit in der Praxis zu beobachtenden Rücklaufquoten von über 98% nicht substanziell in Frage gestellt. Inwieweit sich aber zukünftig wesentlich höhere Recyclat-Einsatzquoten als 50% realisieren lassen, die die Aussagen zu Gunsten der PET-Rücklaufsysteme verändern würden, bleibt abzuwarten.

4.5.2 Zusammenfassende Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen optimierter Verpackungssysteme

- Alle untersuchten Optimierungsszenarien ergaben im Vergleich zu den Ausgangsszenarien (teilweise deutlich) bessere Untersuchungsergebnisse.
- Hervorzuheben sind hierbei die Verbesserungen durch erhöhte Recyclateinsätze, wie sich im Falle der PET-Einwegflasche und des Aluminium-Getränkedosendeckels zeigt.
- Die Oxy-Fuel-Technologie führt bei der Glasherstellung zu deutlichen Emissions- und Energiebedarfsreduktionen, die sich auf die Ergebnisse des Glas-Einwegsystems günstig auswirken.
- Reduzierungen des Verpackungsgewichte führen bei den Getränkedosen (bei Weißblech in stärkerem Maße als bei Aluminium) sowie beim Getränkekarton aus Umweltsicht zu deutlichen Verbesserungen.
- Bei den PET-Einwegsystemen lassen sich weitere Optimierungen vor allem mit einem verstärkten Einsatz von Sekundär-PET (im closed-loop-recycling) erreichen. Daneben spielen Qualität und Menge der Verwertung der Verpackungsabfälle im open-loop eine Rolle.
- Mit allen hier getroffenen Feststellungen ist allerdings keine Antwort auf die Frage verknüpft, in welchem Maße und in welchem Zeitraum die Verpackungsoptimierungen im Einzelnen realisierbar sind.
- Vergleiche zwischen unterschiedlichen Verpackungssystemen waren im Rahmen dieses Teilziels nicht vorgesehen. Hierfür wäre es erforderlich gewesen, bei allen zu vergleichenden Systemen die Randbedingungen und zukünftigen Entwicklungen für den gleichen Zeitpunkt zu prognostizieren, was (laut Ziel- und Rahmenfestlegung) nicht Gegenstand dieses Teils der Untersuchung war.

4.5.3 Zusammenfassende Schlussfolgerungen aus der Betrachtung zukünftig zu erwartender Randbedingungen

- Die Vorgaben der Abfallablagerversordnung ab Juni 2005 werden zu einem fast vollständigen Rückgang der durch die untersuchten Verpackungssysteme belegten Deponieflächen führen. Darüber hinaus tragen sie durch einen verbesserten Energie- und Materialgewinn sowie - beim Getränkekarton - durch Vermeidung von Methanemissionen aus der Deponie zu einer zum Teil deutlichen Reduktion der sonstigen Umweltbelastungen bei.
- Die bis zum Jahr 2005 zu erwartenden Verbesserungen im Verkehrsbereich hinsichtlich Treibstoffverbrauch und Emissionsfaktoren werden beim untersuchten Mehrwegsystem zu erheblich geringeren Umweltbelastungen führen. Beim PET-Rücklaufsystem zeigen sich diese Effekte

ebenso, wenn auch in deutlich geringerem Maße. Auf die Ergebnisse der übrigen Einwegsysteme haben diese Verbesserungen im Verkehrsbereich keinen nennenswerten Effekt.

- Angesichts der beim Mehrwegsystem aufgrund der o.g. Verbesserungen im Verkehrsbereich zu erwartenden deutlichen Reduktionen der Umweltbelastungen von 1996 bis 2005 ist bereits zum jetzigen Zeitpunkt von erheblichen Verbesserungen gegenüber den auf 1996 bezogenen Ergebnissen in [UBA 2000] auszugehen.
- Die Untersuchungen zukünftiger Randbedingungen wurden anhand ausgewählter Verpackungssysteme durchgeführt. Die hieraus abgeleiteten Schlussfolgerungen sind daher nur eingeschränkt auf andere Verpackungssysteme übertragbar. Relevante Parameter bei den Aussagen zum Einfluss der Abfallablagerversordnung sind die Mengen und die Zusammensetzungen⁶² der Abfälle zur Ablagerung. Bei den Aussagen zum Einfluss zukünftiger Transportbedingungen sind (füllgutbezogen) Gewicht und Volumen des Verpackungssystem sowie die spezifische Zusammensetzung der Transportkette von Bedeutung.

4.5.4 Schlussfolgerungen aus der Variation der Distributionsentfernung

- Die hier entwickelte Methode der Variation der Distributionsentfernung unter Berücksichtigung des Füllguts eröffnet die Möglichkeit, unterschiedliche Verpackungssysteme aus unterschiedlich entfernten Herkunftsorten miteinander zu vergleichen.
- Mit dem Indikator KEA_{foss} (kumulierter Energieaufwand (fossil)) lassen sich Aussagen in erster Näherung (z.B. über „break-even“-Distributionsentfernungen) treffen.

4.5.5 Empfehlungen

Umweltpolitische Entscheidungsträger:

Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen im Wesentlichen die in Phase 1 getroffenen Schlussfolgerungen und Empfehlungen.

Die Entwicklung sollte insbesondere im Hinblick auf PET-Rücklaufsysteme aufmerksam beobachtet werden. Die Ergebnisse zeigen unter den angenommenen Randbedingungen erkennbare Nachteile, eine zukünftige Verbesserung die-

⁶² Hier ist v.a. der Heizwert der Abfälle, ihr Emissionsverhalten bei der Verbrennung sowie die Unterscheidung zwischen fossilen und biogenen Rohstoffen zu beachten.

ser Randbedingungen kann allerdings nicht ausgeschlossen werden.

Für PET-Einwegsysteme sind entsprechende Randbedingungen (Sekundär-PET-Einsatz von deutlich über 50% sowie hochwertiges Recycling mit Erfassungsquoten nahe 100%) zumindest mittelfristig nicht anzunehmen. Eine erneute Untersuchung erscheint erst angezeigt, wenn diese Randbedingungen in realistische Nähe gerückt sind. Bis dahin sind die untersuchten PET-Einwegsysteme gegenüber Mehrwegsystemen aus Umweltsicht als ungünstiger zu bewerten.

Verpackungshersteller:

Verpackungssysteme lassen sich aus Umweltsicht vor allem durch eine optimierte Kreislaufrückführung der Packstoffe, insbesondere durch einen verstärkten Einsatz von Sekundärrohstoffen verbessern.

Vor allem bei PET-Einwegsystemen besteht hier ein erhebliches Optimierungspotential.

Daneben wirken sich weitere Materialreduzierungen und einzelne technische Verbesserungen günstig auf die Ökobilanz von Verpackungssystemen aus.

Verbraucher (-verbände):

Beim Getränkekauf ist aus Umweltsicht nicht nur die Frage des zu wählenden Verpackungssystems, sondern insbesondere auch die Frage der Entfernung vom Abfüllort von entscheidender Bedeutung. Diese bisher weitestgehend isoliert voneinander betrachteten Aspekte lassen sich mit der hier vorgestellten Methode zusammenführen. Die grafische Darstellung des KEA_{foss} in Abhängigkeit von der Distribution lässt sich für jedes untersuchte Verpackungssystem und damit auch für jeden Vergleich zweier Verpackungssysteme erstellen. Damit eröffnet sich bei einer konkreten Kaufentscheidung die Möglichkeit, zwischen Produkten mit unterschiedlich entfernten Herkunftsorten und unterschiedlichen Verpackungssystemen ökologische Abwägungen vorzunehmen.

Literatur

- [AGVU 2001] AGVU (Hrsg.): Untersuchung der ökonomischen Effizienz und Lenkungswirkung eines Pflichtpfandes auf nicht wiederbefüllbare Getränkeverpackungen. Bonn, 1. Februar 2001.
- [APME 1997] APME (European Center for Plastics in the Environment): Ecoprofiles of the European Plastics Industry. Report 9 Polyurethane, Brussels, 1997.
- [ATV 1998] Abwassertechnische Vereinigung (Hrsg.): Regelwerk Abwasser – Abfall, ATV-Merkblatt M766 Abwasser der Erfrischungsgetränke, der Fruchtsaft-Industrie und der Mineralbrunnen. Hennef, 1998.
- [Borken 1999] Borken, J.: Entwicklungen der Fahrleistungen und Emissionen des Straßengüterverkehrs 1990 bis 2015. Verband der Automobilindustrie e.V., Frankfurt a. M., 1999.
- [Briem et al 2000] Briem, S. et. al: Development of energy demand and energy-related CO₂-emissions in melt electrolysis for primary aluminium production. In: Aluminium. 76 (2000) 6, S. 502ff.
- [BUWAL 1998] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.): Ökoinventare für Verpackungen; Schriftenreihe Umwelt Nr. 250. Bern, 1998.
- [DSD 01/2002] Mitteilung des DSD an ReCarton am 22.1.2002.
- [EAA 1996] European Aluminium Association (Hrsg.): Ecological Profile Report for the European Aluminium Industry. Brussels (B), 1996.
- [EAA 2000] European Aluminium Association (Hrsg.): Ecological Profile Report for the European Aluminium Industry. Brussels (B), 2000.
- [ETH 1996] ETH-Zürich: Ökoinventare für Energiesysteme. 3. Auflage. Zürich, 1996.
- [Fachgespräch PET, Jan. 2001] Protokoll zum Fachgespräch PET am 31. Januar 2001 in Köln.
- [FKN 02/2002] Schreiben des FKN vom 22. Feb. 2002.
- [FVB 1998] Schreiben der FV Behälterglasindustrie e. V. vom 16. 11. 1998.
- [FVB 1999] Schreiben der FV Behälterglasindustrie e.V., Düsseldorf vom Jan.1999.
- [FVB 06/2001] Fachvereinigung Behälterglasindustrie e.V., Düsseldorf, Juni 2001.
- [FVB 12/2001] telefonische Rücksprache mit Herrn Frerker FV Behälterglasindustrie e.V., Düsseldorf, 14.12.2001.
- [GDB 1999]. M. Schonert (Prognos), A. Schorb (IFEU): Ökobilanzen für PET-Flaschen. Im Auftrag der Genossenschaft Deutscher Brunnen. Bonn, 1999.
- [GEMIS 1997] Hessisches Ministerium für Wirtschaft und Technik (Hrsg.): Fritsche, U. et al. Gesamtemissionsmodell integrierter Systeme(GEMIS), Version 3.0, Wiesbaden, 1997.
- [GVM 1997a] GVM: Recycling-Bilanz für Verpackungen 1996. 5. Ausgabe, Dez. 1997.
- [GVM 1997b] GVM, interne Berechnung im Kontext der Studie: Entwicklung der Abfallbelastung durch Getränkeverpackungen. i.A. der AGVU, Bonn. Juni 1997.
- [GVM 2001] Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung: Pro-Kopf-Verbrauch und Verwertung von Verpackungen in Deutschland im Jahre 1999. Im Auftrag der Bundesregierung. Stand 05/2001. Korrekturen vorbehalten

[GVM 01/2001]	Mitteilung der Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung zur Entwicklung der PET-Systeme. Schreiben vom 22. Januar 2001.
[GVM 05/2001]	Mitteilung der Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung: Ergebnisse der Recycling-Bilanz für Verpackungen – Privater Endverbrauch 1999, angepasst auf die in der Recyclingbilanz 1996 und Phase 1 des Projektes getroffenen Materialzuordnungen. Mai 2001.
[IK 02/2001]	Schreiben von Herrn Dr. Bruder (Industrieverband Kunststoffverpackungen) vom 15. Feb. 2001.
[Infras 1999]	INFRAS: „Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs Version 1.2“, im Auftrag des Umweltbundesamts (UBA), Berlin und Bundesamts für Umwelt, Wald und Landwirtschaft (BUWAL), Bern, 1999.
[IZG 07/2001]	Telefonische Mitteilung von Dr. Roger, Informationszentrum Glas GmbH, Bad Wurzach, 11. Juli 2001.
[Klöpffer 1996]	Klöpffer, Walter: Allocation Rule for Open-Loop Recycling in Life Cycle Assessment. In: Int. J. LCA 1 (1) 1996, S. 27-31
[NN 1997]	In: Getränkefachgroßhandel 9/97, S. 659
[PETCYCLE 1999]	Ostermayer, A. et al. (IFEU): Ökobilanz der PET-Stoffkreislaufflasche und anderer Getränkeverpackungssysteme. Im Auftrag der PETCYCLE Arbeits- und Entwicklungsgemeinschaft, Bad Neuenahr, August 1999.
[PETCYCLE 06/2001]	Telefonische Mitteilung von Herrn Wolters (PETCYCLE) nach Referenz der Kastenhersteller vom 6. Juni 2001.
[PETCYCLE 03/2001]	Schreiben von Herrn Könn (PETCYCLE) zum Rezyklateinsatz, inkl. Anlagen zum Rezyklateinsatz bei verschiedenen Abfüllern, 21. März 2001.
[Schmalbach 1998]	Schmalbach-Lubeca. Continental Can Europe: Ökobilanz für neue Getränkedosen. Internes Papier. Braunschweig, September 1998.
[TÜV 2000]	Bericht zur Ermittlung der Gesamtweißblechmenge aus Müllverbrennungsanlagen für das Erhebungsjahr 2000. Durchgeführt von der TÜV Anlagen-technik GmbH im Auftrag des Informationszentrum Weißblech e.V., Düsseldorf.
[UBA 1995]	Umweltbundesamt (Hrsg.): Ökobilanz für Getränkeverpackungen. Datengrundlagen. Berlin, 1995. Unveröffentlicht.
[UBA 1998]	Umweltbundesamt (Hrsg.): Ökobilanz Graphischer Papiere, Endbericht Heidelberg, 1998. Die Studie befindet sich derzeit im Review-Prozeß nach ISO 14040 und ist anschließend zur Veröffentlichung vorgesehen.
[UBA 1999]	Umweltbundesamt: Bewertung in Ökobilanzen. Entwurf des Arbeitskreises Bewertung in Ökobilanzen am Umweltbundesamt Berlin. Berlin, 1999.
[UBA 2000]	Projektgemeinschaft: Prognos, IFEU, GVM, packforce®: Ökobilanz von Getränkeverpackungen II. Endbericht zu Phase 1. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Berlin: Umweltbundesamt, August 2000.
[UBA 2001]	Umweltbundesamt (Auftraggeber): Grundlagen für eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Verwertung von Verkaufsverpackungen. Ufoplan 298 33719. Projektgemeinschaft HTP-Aachen und ifeu-Heidelberg 2001. Unveröffentlicht.

- [Udo de Haes et al. 1996] H. A. Udo de Haes (Hrsg.): Towards a Methodology for Life Cycle Assessment. Setac-Europe, Brussels, Sep. 1996.
- [Udo de Haes et al. 1999] H. A. Udo de Haes (Hrsg.): Setac-Europe. In: Int. J. LCA 4 (1999) 66-74, 167-174
- [Welle, Franz 1998] F. Welle, R. Franz: Recyclate für den Lebensmitteldirektkontakt. In Verpackungs-Rundschau Nr. 1 (1998) S. 36-39

ANHANG 1

Abschlussbericht zum Critical Review nach ISO 14040

Ökobilanz für Getränkeverpackungen II

Phase 2

Schlussbericht

- Kritische Prüfung nach ISO 14040- FKZ 201 92 342

**an das
Umweltbundesamt Berlin**

Geschäftszeichen Z 1.6-30 727/21

von

**Prof. Dr. Walter Klöpffer
(Vorsitz)
Frankfurt am Main**

**Prof. Dr. Birgit Grahl
Lübeck**

**Dipl.-Ing. Carl-Otto Gensch
Freiburg**

Juli 2002

1 Veranlassung und begutachtete Texte

Der Gutachterkreis kam auf Veranlassung des Umweltbundesamtes Berlin (UBA) zustande, um den Forderungen der Norm ISO EN DIN 14040 [1a] Genüge zu tun. Diese Norm verlangt die Durchführung einer kritischen Prüfung nach § 7.3.3 für solche Ökobilanzen, die vergleichende Aussagen über Produktsysteme machen und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Vergleichende Aussagen sind solche, die die Überlegenheit eines von mindestens zwei vergleichend untersuchten Produktsystemen oder deren Gleichheit unter ökologischen Aspekten geltend machen.

Die Tätigkeit des Gutachterkreises beruht auf dem Angebot des Vorsitzenden vom Juni 2001, das aufgrund einer beschränkten Ausschreibung des UBA vom 11. Mai 2001 (Geschäftszeichen Z1.6-30 727/21) erstellt wurde. Die Erteilung des Auftrages zur kritischen Prüfung erfolgte am 28. Juni 2001. Die Zusammensetzung des Gutachterkreises wurde bereits im Angebot festgelegt. Zwei Gutachter (WKL und COG) waren Mitglieder des Critical Review Panel von Phase 1 [2], wodurch die Kontinuität zur Phase 1 auch im Panel gegeben ist. Durch die Berufung des Panels erst ein Jahr nach Abschluss der Arbeiten zu Phase 1 kann von einer zeitlichen Kontinuität allerdings nur bedingt gesprochen werden.

Die zu begutachtenden Texte wurden von den Erstellern der Studie (Prognos, ifeu und UBA) dem Gutachterkreis in Form von Entwürfen übermittelt. Weitere Unterlagen wurden "zur Kenntnis" übermittelt. Eine Liste der Texte ist im Anhang 1 wiedergegeben. Die Beiträge der über den Beirat in den Prozess einbezogenen Industriepartner werden im Abschnitt 5 gewürdigt.

2 Ablauf des Gutachtens

Der Gutachterkreis hielt insgesamt vier Sitzungen ab, und zwar am 25. Juli 2001 in Frankfurt/M, am 15. Oktober 2001 in Heidelberg, am 1. März 2002 in Frankfurt/M und am 25. Juni 2002 in Hamburg. Die Ergebnisse wurden in Protokollen mit ausführlichen Anhängen dargestellt, die nach erfolgter Abstimmung im Panel dem Auftraggeber und den Erstellern der Studie zur Kenntnis gebracht wurden. Die Kommunikation innerhalb des Gutachterkreises, sowie mit UBA, Prognos und ifeu

war intensiv und aufgeschlossen. Von seiten der Ersteller bestand die Bereitschaft, auf Verbesserungswünsche seitens des Panels einzugehen. Dadurch konnten die Kapitel 1 bis 3 (Prognos/ifeu) bereits in der ursprünglich nicht vorgesehenen 3. Sitzung im Wesentlichen akzeptiert werden; letzte Änderungen wurden in die April-Version eingefügt, so dass zu diesem Zeitpunkt nur noch das vom UBA verfasste Kapitel 4 (Auswertung) zur Begutachtung anstand. Es zeigte sich in der 4. Sitzung, am 26.06.02 in Hamburg, dass die Auswertung noch überarbeitet werden musste, wodurch angesichts feststehender Termine ein erheblicher Zeitdruck auf alle Beteiligten entstand.

Der zeitliche Ablauf des Gutachtens überlappte mit der Hauptdurchführungsphase der Phase 2, allerdings erst nachdem die 1. Komponente der Ökobilanz nach ISO 14040 [1a] - "Zieldefinition und Festlegung des Untersuchungsrahmens" - bereits abgeschlossen war. Damit konnten wesentliche Weichenstellungen im Projekt nur mehr zur Kenntnis genommen werden.

Der Projektbeirat war im Rahmen der abschließenden Sitzung von Phase 1 dazu aufgerufen worden, Szenarienvorschläge für Phase 2 einzureichen. Diese Vorschläge wurden in Phase 2 weitgehend aufgegriffen und machten wegen der dabei vorgefundenen unterschiedlichen Ausrichtungen die Ausarbeitung einer neuen Zieldefinition nötig. Der Projektbeirat hatte die Möglichkeit, die Zieldefinition schriftlich zu kommentieren. Der Projektbeirat kam in Phase 2 zu einer Sitzung am 1.10.2001 in Berlin zusammen, an der der Vorsitzende des Panels teilnahm und über den Stand des kritischen Gutachtens berichtete (siehe Protokoll Motz, Prognos). Der von den betroffenen Wirtschaftszweigen beschickte Beirat ersetzt auch die im Gutachterkreis (mit Ausnahme von Wissenschaft und Umwelt/Verbraucherschutz) nicht vertretenen "interessierten Kreise" (ISO 14040 § 7.3.3). Darauf hat der Vorsitzende in der Beiratssitzung ausdrücklich hingewiesen. Der Gutachterkreis begrüßt die zahlreichen Zuschriften aus diesen Kreisen (Abschnitt 5).

Bei der Durchführung des Gutachtens traten keine grundsätzlichen Meinungsunterschiede zwischen den Mitgliedern zu Tage. **Der hier vorliegende Schlussbericht des Gutachterkreises beruht daher auf Konsens innerhalb des Panels.**

3 Allgemeiner Eindruck

Noch vor jeder Kritik an Teilaspekten der untersuchten Studie muss festgehalten werden, dass der nunmehr vor allem beim Ersteller der Sachbilanzen (ifeu) erreichte Stand der Methodik (Daten, Software) so etwas wie einen - inoffiziellen - nationalen Standard bei Getränkeverpackungen darstellt. Dazu haben auch die Inputs der z.B. über den Beirat beteiligten Industriefirmen beträchtlich beigetragen, nicht nur innerhalb des hier betrachteten Projekts, sondern auch im Rahmen von zusätzlichen, spezielleren Projekten, die auf denselben Datenfundus und dieselbe Methodik zurückgreifen. Das UBA hat - durch eine nunmehr rund 10 Jahre umfassende Förderpolitik - die Ökobilanzierung besonders auf dem Gebiet der Getränkeverpackungen aufbauen geholfen und damit die Grundlage zu einer fundierten Beratung von Industrie, Politik und Verbrauchern geschaffen. Durch die Beauftragung komplexer Erstellerteams haben sich allerdings Probleme mit der Zuständigkeit für Teilaufgaben ergeben, die auch für die kritischen Gutachten beider Phasen gelegentlich hinderlich waren. Insgesamt überwog jedoch bei allen Beteiligten der Wille, gemeinsam zu guten Resultaten zu kommen.

Erstaunlich und überraschend, besonders für die Panelmitglieder, die bereits die erste Phase begleitet hatten, war der klare Bruch zwischen Phase II-1 und II-2, der in erster Linie durch die Änderung der Allokationsregel hervorgerufen wurde. Diese Änderung wird im Bericht, Abschnitt 1.2.6 und im Anhang 2 des Berichts erklärt und begründet, was jedoch nichts an der Tatsache ändert, dass der Vergleich von Systemen der Phase 1 und solchen der Phase 2 erschwert wird - wenn auch in unterschiedlichem Maße. "Historisch" interessierte Leser werden sich vielleicht erinnern, dass ein ähnlicher Bruch zwischen Getränkeverpackungen I (Bier und Milch) [8] und II-1 auftrat. Damals wurde die Allokationsregel von "Cut-Off" auf ein den Marktmix der Sekundärrohstoffe berücksichtigendes "Gutschriftverfahren" umgestellt, welches generell die Sekundärrohstoff-abgebenden Systeme begünstigt (Anhang 2 der Studie). Für das Cut-Off-Verfahren sprechen zwar auch sehr gute Gründe [3,4], in Ländern mit gut geregelter Abfallwirtschaft, wie in Deutschland, gibt diese Allokation aber mehr Anreize für die Sekundärrohstoff-aufnehmenden Systeme. Als "Kompromiss" wurde in Phase II-2 eine geringfügig modifizierte "50:50" Allokation gewählt, die von den Erstellern der Studie intuitiv als gerecht bzw. fair

gegenüber den Partnern in der Recyclingkette (Abgeber, Aufbereiter und Aufnehmer von "Abfall zur Verwertung" bzw. Sekundärrohstoff) empfunden wird. Diese Allokation war bereits vor dem ISO-Normungsprozess von der Society for Ecotoxicology and Chemistry (SETAC) [5] empfohlen worden. ISO 14041 [1b] empfiehlt an erster Stelle die Vermeidung von (notwendigerweise "subjektiven") Allokationen durch Systemerweiterung, was jedoch zu unhandlich großen Systemen und unklaren funktionellen Einheiten führen kann [6,7].

Das Gutachtertteam nimmt nicht für oder gegen eine bestimmte Allokationsregel Stellung, solange sie nicht mathematisch unsinnig oder praktisch nicht anwendbar ist. Die Einteilung in "gerecht oder ungerecht" bzw. "fair oder unfair" entzieht sich einer wissenschaftlichen Beurteilung. Dazu sagt auch die Norm (14041) nur, dass der Systemvergleich u.a. auch gleiche Allokationsregeln für die verglichenen Systeme erfordert und dass bei mehreren möglichen Regeln eine Sensitivitätsrechnung durchgeführt werden muss ("shall"). Dies ist in Phase II-2 erfolgt, wo ebenso wie in Phase II-1 die Allokation nach Cut-Off als Variante mitgerechnet wurde.

4 Details (Punkte nach ISO 14040)

4.1 Vorbemerkung

In der Zeit, in der die begutachtete Studie durchgeführt wurde, war bereits die gesamte Normenserie ISO EN DIN 14040-43 [1a-d] in Kraft. Anders als bei den Vorläuferstudien (Getränkeverpackungen I und II-1) musste nun nicht mehr (teilweise) mit Entwürfen gearbeitet werden. In der Feststellung der Normkonformität folgen wir der in ISO 14040 §7.1 [1a] wie folgt formulierten Aufgabe des "critical review":

"Das kritische Prüfungsverfahren muß sicherstellen, daß:

- die bei der Durchführung der Ökobilanz angewendeten Methoden mit dieser Internationalen Norm übereinstimmen;*
- die bei der Durchführung der Ökobilanz angewendeten Methoden wissenschaftlich begründet sind und dem Stand der Ökobilanz-Technik entsprechen;*

- *die verwendeten Daten in bezug auf das Ziel der Studie hinreichend und zweckmäßig sind;*
- *die Auswertungen die erkannten Einschränkungen und das Ziel der Ökobilanz berücksichtigen;*
- *der Bericht transparent und in sich stimmig ist."*

4.2 Stimmen die bei der Durchführung der Ökobilanz(en) angewendeten Methoden mit der internationalen Norm 14040 überein?

ISO 14040 [1a] ist die Rahmennorm, die im Wesentlichen die Struktur und den Ablauf einer Ökobilanz regelt. Dazu ist anzumerken, dass die Arbeitsteilung zwischen Prognos/ifeu einerseits (Sachbilanz, Wirkungsabschätzung) und UBA andererseits (Auswertung) zu einer Aufspaltung der Komponente Wirkungsabschätzung führte: Die obligaten Schritte Zuordnung und Charakterisierung werden in Kapitel 3 (Ergebnisse) behandelt, die optionalen Bestandteile (z.B. Normierung) in Kapitel 4 (Auswertung). Auch wenn die gewichtenden Schritte der Wirkungsabschätzung tatsächlich besser in die abschließende Komponente Auswertung passen, kann in der gewählten Einteilung ein formaler Verstoß gegen die Norm gesehen werden; inhaltlich hat dies jedoch keinerlei Bedeutung. Dieser formale Verstoß ist allerdings in der "UBA-Bewertungsmethode" [9] vorgezeichnet, die in dieser Studie im Vergleich zu Phase II-1 weniger sichtbar und systematisch eingesetzt wird. Die anschauliche Darstellung der Normierung (bei ISO 14042 [1c] auch *"Berechnung des Verhältnisses der Wirkungsindikatorergebnisse zu einem oder mehreren Referenzwerten"*, bei UBA traditionell *"spezifischer Beitrag"* genannt) als "Einwohnerdurchschnittswerte" (EWD) wird durchwegs beibehalten. So würde beispielsweise das Ergebnis von 30 000 EWD eines betroffenen Sektors (z.B. Mineralwasser zum Sofortverzehr) zu einer Wirkungskategorie dem Beitrag einer Stadt mit einer entsprechenden Zahl von Einwohnern entsprechen.

Insgesamt wird in dieser Studie der von der Norm vorgeschriebene Ablauf einer Ökobilanz eingehalten.

4.3 Sind die bei der Durchführung der Ökobilanz angewendeten Methoden wissenschaftlich begründet und entsprechen sie dem Stand der Ökobilanztechnik?

Phase II-2 war nicht primär auf Methodenentwicklung angelegt. Es war vielmehr geplant, die in Phase II-1 entwickelte bzw. verbesserte Methodik auf neue Szenarien anzuwenden. Die Methodik von Phase 1 wurde im kritischen Gutachten zu dieser Arbeit ausführlich besprochen [2] und soll hier nicht wiederholt werden. Einzelne methodisch unklare Punkte wurden in den Protokollen der 1. und vor allem der 2. Sitzung des Panels niedergelegt und wurden größtenteils in der Überarbeitung des Berichts durch Prognos, ifeu und UBA berücksichtigt.

Eine methodische Weiterentwicklung, die der Gutachterkreis für sehr wichtig hält, betrifft die Einbeziehung des Füllgutes in die Transportszenarien. Dieser Teil der Arbeit scheint besonders geglückt und eröffnet den Weg zu realistischen Entfernungs-Szenarien verschiedener Getränke und Verpackungen. Der dafür gewählte Indikator (Kumulierter Energieaufwand, KEA) ist für Energie-abhängige Prozesse sehr relevant und relativ genau zu bestimmen [10]. KEA wird zwar von ISO 14040ff [1a-d] nicht ausdrücklich empfohlen, stellt aber bei der Erstellung von Ökobilanzen (auch international als "gross energy" oder "Cumulative Energy Demand", CED) ein wichtiges Hilfsmittel dar und ist national durch die VDI-Richtlinie 4600 genormt [11].

Die bei der Durchführung der Arbeiten eingesetzte Software UMBERTO[®] wurde von einem der Ersteller entwickelt und gehört - auch im internationalen Vergleich - zu den führenden Softwarepaketen für anspruchsvolle Anwendungen (Ökobilanzen und Stoffstromanalysen).

Zusammenfassend kommen wir zu dem Ergebnis, dass die bei dieser Ökobilanz angewendeten Methoden wissenschaftlich begründet sind und dem Stand der Ökobilanztechnik entsprechen.

4.4 Sind die verwendeten Daten in Bezug auf das Ziel der Studie hinreichend und zweckmäßig?

Die Sachbilanzen dieser Studie bauen zum Teil auf dem Datenfundament der Phase II-1 auf (Bezugszeitraum ca. 1996). Für die nun im Mittelpunkt stehenden "Neu aufgenommenen Verpackungssysteme", die "Optimierungen" und "Änderungen der Rahmenbedingungen" wurden neuere Daten erhoben. Es ist nachvollziehbar, dass unter Beachtung des Zeit- und Finanzrahmens nicht sämtliche Daten der Phase II-1 aktualisiert werden konnten. Die neuen Daten wurden punktuell beim Ersteller geprüft (Datenblätter wurden zum Unterschied von Phase II-1 nicht generell erstellt). Dabei konnte insbesondere der vom Gutachterkreis der Phase II-1 [2] monierte Umgang mit den Daten für Aluminium (fehlende Daten für Russland) geklärt werden.

Aus zeitlichen und finanziellen Gründen konnte der neue Datensatz für PET (APME 2001 [12b]), der den älteren von 1996 [12a] ablösen wird, noch nicht in die Datenbasis integriert werden¹. Da die neueren PET-Daten, die für die europäische Kunststoffindustrie repräsentativ sind, den Fortschritt der Technik widerspiegeln, sind von ihrer Verwendung in der Zukunft für die PET-Systeme günstigere Ergebnisse (nicht jedoch für CO₂, hier gibt es nach ifeu eine Verschlechterung um 33%) zu erwarten. Darauf wurde auch von Seiten der Industrie zu Recht hingewiesen. Die auf der beschriebenen Datenbasis und mit Hilfe der nachvollziehbaren Prozessdiagramme erhaltenen Sachbilanzdaten sind im Materialienband (Anhang 1) zusammengestellt.

Wie in Abschnitt 3 erwähnt, handelt es sich bei der hier verwendeten Datenbasis um die derzeit vollständigste, die trotz der gemachten Einschränkung insgesamt für das Ziel der Studie als hinreichend aktuell und zweckmäßig zu bezeichnen ist.

¹ Der APME-Datensatz wird zwar mit Juli 2001 zitiert, wurde dem Ersteller (ifeu) von APME aber erst am 19.9.2001 als Entwurf zur internen Handhabung freigegeben. Die allgemeine öffentliche Verfügbarkeit des Datensatz begann nach Information ifeu erst im Januar 2002 (also nach Abschluss der Sachbilanzen).

4.5 Berücksichtigt die Auswertung die erkannten Einschränkungen und das Ziel der Studie? Ist der Bericht transparent und in sich stimmig?

Das Kapitel 4 ("Auswertung") des Schlussberichts enthält, wie bereits in Abschnitt 4.2 erwähnt, nicht nur die Ökobilanz-Komponente "Auswertung" nach ISO 14043 [1d], sondern auch optionale Teile der Wirkungsabschätzung nach ISO 14042 [1c] und sogar eine schon in 4.3 gewürdigte methodische Entwicklung (Transport mit Füllgut). Die Erwartungshaltung an dieses Kapitel war hoch und konnte zunächst nicht ganz erfüllt werden. Vor allem zur Frage, nach welchen Kriterien ein Ergebnis als signifikant anzusehen ist und wie die Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen zu beurteilen sind, gab der Entwurf des Kapitels noch keine befriedigende Antwort. Das Kapitel wurde daraufhin teilweise umgeschrieben und hat dadurch deutlich an Klarheit gewonnen. Es ist nun auch gut nachvollziehbar, dass die Vergleichbarkeit mit Phase 1, die durch den Wechsel der Allokationsregel infrage gestellt war, für die meisten Systeme näherungsweise (bei Mehrwegsystemen sogar sehr gut) gegeben ist. Die Empfehlungen erscheinen uns immer noch etwas kurz; wir geben in Abschnitt 6 einige zusätzliche Empfehlungen.

Die Auswertung im engeren Sinn, als vergleichende Beurteilung der Ergebnisse von Sachbilanz und Wirkungsabschätzung, erscheint dem Gutachterkreis gut gelungen. Die tabellarische Darstellung der vergleichbaren Systeme scheint aufschlussreicher, als der in Phase 1 gewählte paarweise Vergleich mit Hilfe von sog. "Tannenbaum-Diagrammen" [9]. Bei allen Ergebnissen ist zu beachten, dass durch die überlange Bearbeitungszeit (die nicht den Erstellern anzulasten ist) und die Dynamik des Getränkeverpackungsmarktes fast jedes Ergebnis, kaum dass es erzielt ist, bereits wieder in Frage gestellt werden muss. In diesem Sinne kann die Auswertung als ein wichtiger Beitrag zum großen Lernprozess der Nachhaltigkeit, hier für die Getränkeverpackungen verstanden werden.

Die Transparenz des Schlussberichts ist bei Einbeziehung der Anhänge gegeben. Die für das Verständnis der neuen Allokationsregel nötigen Informationen sind nun im Hauptteil, Abschnitt 1.2.6 ausführlicher als ursprünglich dargestellt. Dennoch ist Anhang 2 für ausführlichere Information zu diesem zentralen Punkt unentbehrlich.

Insgesamt werden in der Auswertung die methodenbedingten und von der zur Verfügung der Datenbasis herrührenden Einschränkungen benannt und berücksichtigt. Die im Kapitel Zieldefinition (Abschnitt 1 der Studie) formulierten Teilziele werden berücksichtigt. Die abschließend getroffenen Empfehlungen allerdings verkürzen das Ergebnis in Bezug auf die intendierten Zielgruppen sehr.

4.6 Gesamturteil

Anschließend an das in Abschnitt 4.5 Gesagte sollte die vorliegende Studie als wichtiger Meilenstein und nicht als Abschluss der Arbeiten zu Ökobilanzen von Getränkeverpackungen gesehen werden. Die drei in Kapitel 2 formulierten Ziele zu den neu aufgenommenen Systemen, zur Optimierung bestehender Systeme und zur Einbeziehung neuer Rahmenbedingungen können im Wesentlichen als erreicht gelten. Mit der Ausarbeitung des Transportmodells mit Füllgut eröffnet sich (endlich) die Möglichkeit, realistische Szenarien zur Abhängigkeit der Umweltbelastung von der Distributions-Entfernung einfach zu berechnen. Damit können Handel, Abfüller und Verbraucherverbände Informationen zu fallspezifischen Situationen ableiten.

Den Anforderungen der Normenreihe ISO 14040-43 wurde Genüge getan.

5 Kommentare der betroffenen Kreise

Folgende Firmen und Verbände haben schriftlich Hinweise, Kommentare oder kritische Stellungnahmen an den Gutachterkreis gerichtet oder Kopien solcher an das UBA gerichteter Stellungnahmen zur Kenntnis weitergeleitet:

- Dow Deutschland GmbH & Co. KG
- Fachverband Kartonverpackungen für flüssige Nahrungsmittel e.V. (FKN)
- GEROLSTEINER Brunnen GmbH & Co
- Gesamtverband der Aluminiumindustrie e.V. (GDA)
- Industrieverband Kunststoffverpackungen e.V. (IK)
- KoSa GmbH & Co KG; PET Packaging Resins
- PETCYCLE E.A.G. GmbH & Co KG
- The Association of European Producers of Steel for Packaging (APEAL)
- Verband des Deutschen Getränke-Einzelhandels e.V.

Die Beiträge wurden im Gutachterkreis diskutiert. Einige trugen zum besseren Verständnis der Studie und ihrer Hintergründe bei, andere wiederholten nur Positionen, die dem Gutachterkreis bereits bekannt waren. Besonders positiv wurde das Engagement des Industrieverbands Kunststoffverpackungen e.V. (IK) empfunden, das zu einer eigenen Studie des IK und zu einem interessanten Workshop zum Thema Allokation in Frankfurt/M führte. Auch die Firma PETCYCLE informierte regelmäßig über ihre Position. An dieser Stelle sei allen Beitragenden gedankt.

6 Resümee und Empfehlungen

Ein Gesamturteil über die Studie wurde bereits in Abschnitt 4.6 versucht. Es stellt den Schlussbericht als eine Etappe, nicht als Ende eines Prozesses dar, die Ergebnisse als vorläufige, nicht als endgültige (die es angesichts der Marktdynamik in naher Zukunft nicht geben wird). Die Methodik einschließlich der Datenbank wurde als ausgereift, wenn auch in Bezug auf die Daten als ergänzungsbedürftig bezeichnet. Letzteres gilt allerdings für jede Datensammlung in Permanenz. In diesem Sinne werden folgende Empfehlungen gemacht:

1. Publikation der vollständigen Studie durch das UBA (vorgesehen);
2. Durchführung und Publikation von Folgestudien durch die interessierten Kreise, unter Benützung der bisher erarbeiteten Methodik (Beispiel IK u.a.) und mit Aktualisierung von Daten (etwa zur Distribution oder wie bei PET zur Grundstoffherstellung), sofern diese aus Zeit- oder Budgetgründen in der hier begutachteten Ökobilanz nicht berücksichtigt werden konnten;
3. Explizite Benutzung des Transportmodells zur Bestimmung der optimalen Distributionsstrukturen bei den verschiedenen Verpackungssystemen; dies ist auch unter dem Aspekt einer engagierten Verbraucherberatung zu sehen;
4. Speziell an das UBA gerichtet: Genaues "Im Auge Behalten" der neuesten Entwicklungen; Neuberechnungen sobald sich die hier angenommenen Trends bewahrheiten oder andere, unerwartete Entwicklungen eintreten;

5. Die Originalergebnisse von Ökobilanzen sind für die große Mehrheit der Konsumentinnen und Konsumenten unverständlich; es bleibt also ein großer Bedarf an Informationsarbeit, der sich an das UBA und an die Verbraucherverbände richtet. Dazu sollte auch der Inhalt dieser Studie allgemeinverständlich aufgearbeitet und publiziert werden.
6. Auch die Information anderer Akteure sollte mit aufbereiteten Texten unterstützt werden (z.B. Abfüller, Speditionen). In diesen Unternehmen kann nicht davon ausgegangen werden, dass zur praxisorientierten Umsetzung von Optimierungspotentialen Ökobilanz-Fachleute zur Verfügung stehen.

Eine etwas weiter gehende Bitte an das UBA betrifft die Weiterführung der Pflege des Instruments Ökobilanz, sowohl aus nationaler, wie auch aus internationaler Sicht (z.B. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative [13]).

Frankfurt am Main, 31.Juli 2002

.....
Prof. Dr. Walter Klöpffer
im Namen des Gutachterkreises

Literatur

- [1a] International Standard (ISO); Norme Européenne (CEN): Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. (Prinzipien und allgemeine Anforderungen). EN ISO 14040 (1997)
- [1b] International Standard (ISO); Norme Européenne (CEN): Environmental management - Life cycle assessment - Goal and scope definition and inventory analysis (Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz). EN ISO 14041 (1998)
- [1c] International Standard (ISO); Norme Européenne (CEN): Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment (Wirkungsabschätzung). EN ISO 14042 (2000)
- [1d] International Standard (ISO); Norme Européenne (CEN): Environmental management - Life cycle assessment - Interpretation (Auswertung). EN ISO 14043 (2000)

- [2] De Groot-van Dam, A.; Gensch, C.-O.; Klöpffer, W.; Klüppel, H.-J.: Abschließender Prüfbericht vom 25.7.2000, S.1-17. In: Plinke, E.; Schonert, M.; Meckel, H.; Detzel, A.; Giegrich, J.; Fehrenbach, H.; Ostermayer, A.; Schorb, A.; Heinisch, J.; Luxenhofer, K.; Schmitz, S.: Ökobilanz für Getränkeverpackungen II (Phase 1) - Hauptteil -. Forschungsvorhaben FKZ 296 92 504 des Umweltbundesamtes Berlin – Hauptteil (ISSN 0722-186X): UBA Texte 37/00, Berlin September 2000
- [3] Klöpffer, W.: Allocation Rules for Open-Loop Recycling in Life Cycle Assessment - A Review. Int. J. LCA **1** (1) 27-31 (1996)
- [4] Ekvall, T.; Tillman, A.-M.: Open-Loop Recycling: Criteria for Allocation Procedures. Int. J. LCA **2** (3) 155-162 (1997)
- [5] Fava, J.A.; Denison, R.; Jones, B.; Curran, M.A.; Vigon, B.; Selke, S.; Barnum, J. (Eds.): SETAC Workshop Report: A Technical Framework for Life Cycle Assessments. August 18-23, 1990. Smugglers Notch, Vermont. Washington, DC January 1991
- [6] Klöpffer, W.; Grahl, B.; Hamm, U.: Schlussbericht- Kritische Prüfung - an das Umweltbundesamt Berlin. In: Ökobilanzen für graphische Papiere (FKZ 103 501 20). UBA Texte 22/00. Berlin 2000
- [7] Guinée, J. et al.: Handbook on Life Cycle Assessment - Operational Guide to ISO Standards. Kluwer, in print (2002); siehe auch Guinée, J.: Announcing a New LCA Guide, Editorial in Int J LCA **6** (5) 255 (2001)
- [8] Schmitz, S.; Oels, H.-J.; Tiedemann, A.: Ökobilanz f. Getränkeverpackungen. Teil A: Methode zur Berechnung und Bewertung von Ökobilanzen für Verpackungen. Teil B: Vergleichende Untersuchung der durch Verpackungssysteme für Frischmilch und Bier hervorgerufenen Umweltbeeinflussungen. UBA Texte 52/95. Berlin 1995
- [9] Schmitz, S.; Paulini, I.: Bewertung in Ökobilanzen. Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung (Rangbildung) von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043. Version `99. UBA Texte 92/99, Berlin 1999
- [10] Klöpffer, W.: In Defense of the Cumulative Energy Demand. Editorial in Int. J. LCA **2** (2) 61 (1997)
- [11] VDI-Richtlinie VDI 4600: Kumulierter Energieaufwand (Cumulative Energy Demand). Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden. Deutsch und Englisch. Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Gesellschaft Enrgietechnik/Richtlinienausschuß Kumulierter Energieaufwand. Düsseldorf Juni 1997
- [12a] Boustead, I.: Eco-profiles of the European polymer industry. Report 8: Polyethelene Terephthalate (PET). Report for APME's Technical and Environmental Centre, Brussels July 1995
- [12b] Boustead, I.: Eco-profiles of the European plastics industry. Polyethelene Terephthalate. A Report for the European Centre for Plastics in the Environment, Brussels July 2001
- [13] Töpfer, K.: The Launch of the UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. (Prague, April 28, 2002) Editorial in Int. J. LCA **7** (4) 191 (2002)

Adressen der Gutachter

Prof. Dr. Walter Klöpffer
c/o C.A.U. GmbH
AG Ökobilanz - Chemikalienbewertung
Daimlerstraße 23
D-63303 Dreieich

Tel.: (+49-(0)6103) 983-28
Fax: (+49-(0)6103) 983-11
E-mail (Büro): w.kloepffer@cau-online.de
E-mail (privat): walter.kloepffer@t-online.de

Dipl.-Ing. Carl-Otto Gensch
c/o Öko-Institut e.V.
Institut für angewandte Ökologie
Binzengrün 34a
D-79114 Freiburg i.Br.

Tel.: (+49-(0)761) 45295-41
Fax: (+49-(0)761) 475437
E-mail: gensch@oeko.de

Prof. Dr. Birgit Grahl
Institut für integrierte
Umweltforschung und Beratung
Schuhwiese 6
D-23858 Heidekamp

Tel. (Büro): (+49-(0)4533) 4110
Tel. (FH): (+49-(0)451) 300-5242
E-mail: integrahl@t-online.de

Anhang 1

Liste der begutachteten Texte

S. Schmitz (UBA): **Kapitel 4 Auswertung**

Revidierte Version vom 16.07.02 des
entsprechenden Abschnitts im Bericht zu
Phase 2 vom April 2002

**Bericht zu Phase 2 (elektronische Version
mit Auswertung durch das UBA, April 02)**

Ökobilanz für Getränkeverpackungen II

Forschungsvorhaben 103 50 504
Basel/Heidelberg/Berlin, April 2002

Prognos AG (Projektleitung)
IFEU-Institut für Energie- und
Umweltforschung GmbH:

Bericht zu Phase 2 (Version Januar 02)
Ökobilanz für Getränkeverpackungen II

Forschungsvorhaben 103 50 504
Basel/Heidelberg/Berlin, Januar 2002

Zur Kenntnis:

**Protokoll der Sitzung des projektbegleitenden
Ausschuss Ökobilanz für Getränkeverpackungen II**

am 1. Oktober 2001 im Umweltbundesamt Berlin
Erstellt von Herrn Motz, Prognos AG

Prognos AG (Projektleitung)
IFEU-Institut für Energie- und
Umweltforschung GmbH:

Bericht zu Phase 2 (Entwurf)
Ökobilanz für Getränkeverpackungen II

Forschungsvorhaben 103 50 504
Basel/Heidelberg/Berlin, September 2001

Prognos AG (Projektleitung)
IFEU-Institut für Energie- und
Umweltforschung GmbH:

Arbeitspapier zu Phase 2
Ökobilanz für Getränkeverpackungen II
Zielsetzung und Untersuchungsrahmen

Forschungsvorhaben 103 50 504
Basel/Heidelberg/Berlin, 5. Februar 2001

Prognos AG (Projektleitung)
IFEU-Institut für Energie- und
Umweltforschung GmbH:

Anhangband - Materialsammlung
Ökobilanz für Getränkeverpackungen II

Forschungsvorhaben 103 50 504
Basel/Heidelberg/Berlin, Januar 2002

ANHANG 2

Allokationsverfahren für Open-Loop-Recycling

1 Allokationsverfahren für Open-Loop-Recycling

Hinsichtlich der Allokation bei Multi-Input- und Multi-Output-Systemen und zur Allokation bei der Distribution wird auf den Endbericht zu Phase 1 [UBA 2000] verwiesen.

1.1 Abgrenzung zwischen Closed-Loop-Recycling und Open-Loop-Recycling

Zur Abgrenzung des Open-Loop-Recycling wird im Folgenden ein Auszug aus dem Endbericht zu Phase 1 wiederholt. Dort wurde die Problemstellung wie folgt formuliert:

Bei der Strukturierung der betrachteten Untersuchungssysteme stellt sich die Frage, welche Modellierung für Abfälle zur Verwertung zur Anwendung kommen soll, die

- a) als Sekundärrohstoff in den Stofffluss des betrachteten Systems eingeschleust werden (AzV_0),
- b) im betrachteten System einen Recyclingprozess durchlaufen oder
- c) im betrachteten System als Abfall zur Verwertung AzV_1 anfallen und außerhalb des Systems potenziell einen weiteren Nutzen als Sekundärrohstoff erfüllen können. (siehe Abbildung 1-1)

Der Bedarf an Sekundärrohstoff SR_1 wird durch die Sekundärrohstoff-Einsatzquote (EQ_1) im aufnehmenden Prozess bestimmt. Die Menge an abgegebenem Abfall zur Verwertung (AzV_1) wird durch die Erfassungsquote (VQ_1 ¹) in der Nachgebrauchsphase eines Produktes A bestimmt.

¹ Zur Verwertung bereit gestellte Abfallmenge, d.h. vorsortiertes, aber noch nicht aufbereitetes Material

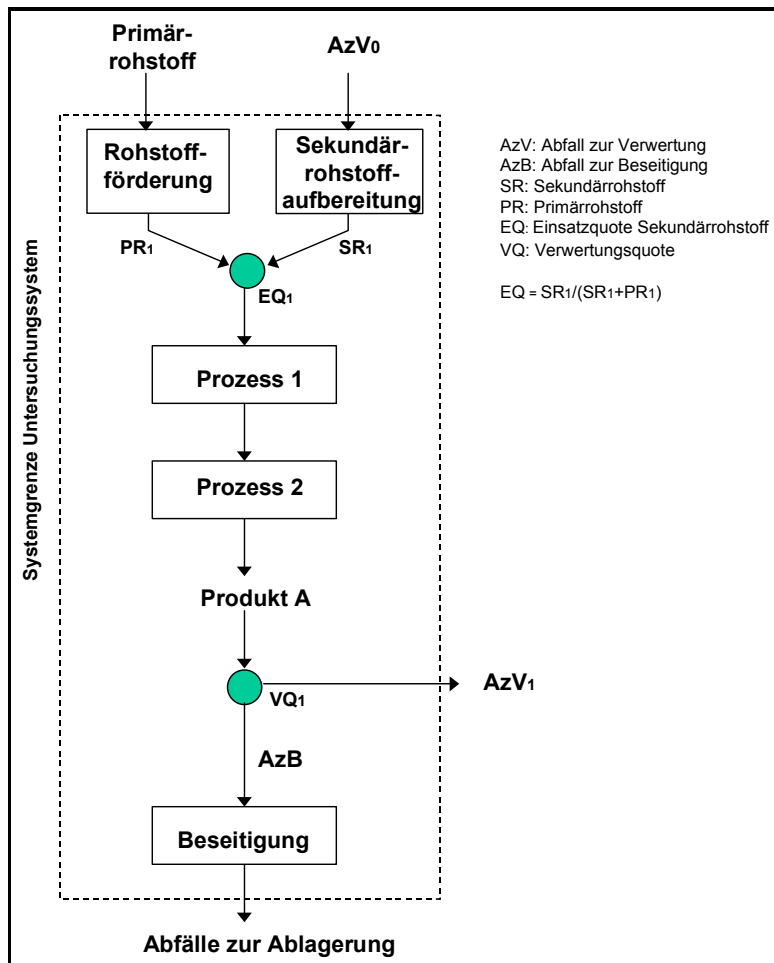


Abbildung 1-1: Schematisches Modell zur Beschreibung von Recycling

1. Dabei sind in Abhängigkeit von den inhärenten Materialeigenschaften zwei Fälle zu unterscheiden: Rückführung des Materials in einen Prozess des gleichen Lebensweges, z.B. Rückführung von Altglas in die Glasschmelze (**Closed-Loop-Recycling**) oder
2. Weiternutzung des Materials in einem anderen Lebensweg zur Herstellung eines anderen Produktes, z.B. Einsatz von PET-Flakes aus Flaschen in der Textilindustrie (**Open-Loop-Recycling**).

Closed-Loop-Recycling

Für den Fall, dass ein im System entstehender Abfall zur Verwertung (AzV₁) zu einem im System eingesetzten Sekundärrohstoff aufbereitet werden kann, wird er entsprechend der Einsatzquote des jeweiligen Sekundärrohstoffes zur Herstellung des untersuchten Produktes verwendet und innerhalb des Lebensweges zurückgeführt (Closed-Loop-Recycling).

Für den Fall, dass ein im System entstehender Abfall zur Verwertung (AzV₁) in einem nachgeschalteten System zu einem Sekundärrohstoff aufbereitet wird und dieser Sekundärrohstoff die gleichen materialinhärenten Eigenschaften aufweist wie ein im Untersuchungssystem eingesetzter Rohstoff, wird er im Zuge der Systemmodellierung bis zur Sekundärrohstoffeinsatzquote zur Herstellung des untersuchten Produktes verwendet und innerhalb des Lebensweges zurückgeführt (**Quasi-Closed-Loop-Recycling**).

Open-Loop-Recycling

Eine Verrechnung als Quasi-Closed-Loop-Recycling innerhalb des betrachteten Systemes ist nicht möglich, wenn

- a) quantitative Differenzen zwischen bereitgestellten und angefragten Sekundärrohstoffen mit gleichen inhärenten Eigenschaften bestehen² oder
- b) qualitative Differenzen zwischen bereitgestellten und angefragten Rohstoffen bestehen (meist mit dem Begriff „Downcycling“ belegt)³.

In diesen Fällen muss für den Nutzen des Sekundärrohstoffes eine Allokation zwischen abgebendem und aufnehmendem System erfolgen.

1.2 Problemstellung zur Allokation beim Open-Loop-Recycling

Recycling umfasst einerseits das zur Verfügung stellen von Sekundärrohstoffen und andererseits den Einsatz von Sekundärrohstoffen (Prinzip des Stoffkreislaufes).

Das Bereitstellen von Sekundärrohstoffen stellt einen ersten Nutzen dar, da die Entsorgung des Ersterzeugnisses soweit entfällt. Ein zweiter Nutzen entsteht durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen, da Primärrohstoffe und die Ressourcen für deren Verarbeitung eingespart werden.

Die Abbildung 1-2 und Abbildung 1-3 bieten die Grundlage, um den entstehenden Gesamtnutzen zu quantifizieren. Sie zeigen einmal ein Gesamtsystem ohne Recycling und einmal ein Gesamtsystem mit Recycling. Der Gesamtnutzen berechnet sich als Differenz der Umweltbelastungen zwischen beiden Gesamtsystemen.

² Z.B., ein System gibt 100 kg Weißglas als Altglas ab, setzt aber selbst nur 60 kg Altglas ein. Die Differenz von 40 kg Altglas wird im Open-Loop verwertet.

³ Z.B., ein System gibt PE als Bestandteil in vermischtem Altkunststoff ab, setzt selber aber nur sortenreines PE-Regranulat ein. Sowohl der abgegebene als auch der eingesetzte Sekundärrohstoff als werden im Open-Loop verwertet.

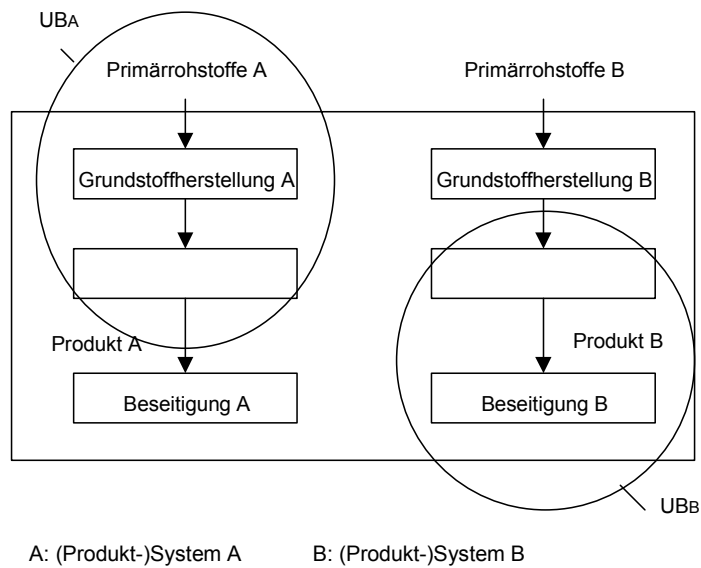


Abbildung 1-2: Gesamtsystem ohne Recycling (vereinfacht)

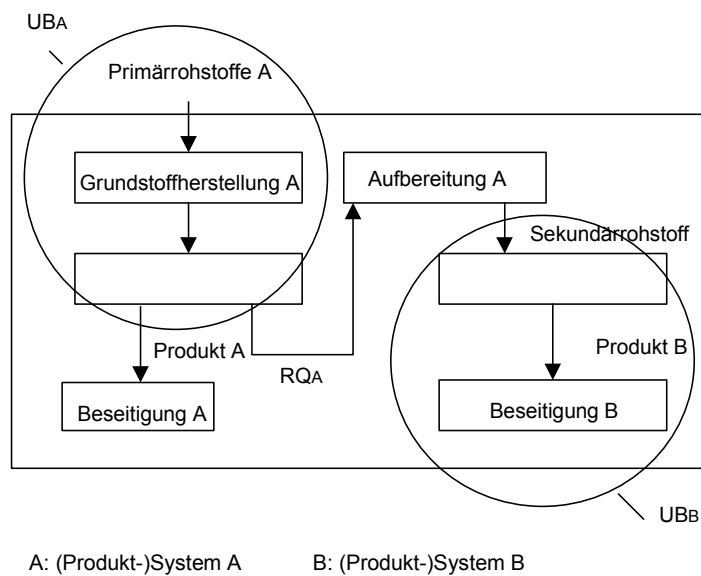


Abbildung 1-3: Gesamtsystem mit Recycling (vereinfacht)

Der Gesamtnutzen des Recycling bei 2 Nutzungszyklen lässt sich entsprechend der obigen Abbildung wie folgt fassen:

$$\begin{aligned}\Delta\text{Rec} &= \text{UB}_{\text{Gesamtsystem ohne Recycling}} - \text{UB}_{\text{Gesamtsystem mit Recycling}} \\ &= \text{UB}_A + \text{Bes}_A + \text{GH}_B + \text{UB}_B - (\text{UB}_A + \text{Auf}_A + \text{UB}_B) \\ &= \text{Bes}_A + \text{GH}_B - \text{Auf}_A \quad 4)\end{aligned}$$

Gleichung 1-1

mit

ΔRec : Gesamtnutzen des Recycling bei 2 Nutzungszyklen

UB: Umweltbelastung

GH: Grundstoffherstellung incl. Einsatz von Primärrohstoffen

Bes: Beseitigung

Auf: Aufbereitung

Der Gesamtnutzen des Recycling besteht damit aus den bereits zuvor erwähnten Nutzen durch vermiedene Abfallbeseitigung und vermiedenen Verbrauch von Primärressourcen abzüglich des Aufwandes für die Aufbereitung der vorsortierten Sekundärrohstoffe.

1.3 Ziele des Allokationsverfahrens für Recycling

Der in Kapitel 1.2 beschriebene Gesamtnutzen des Recycling soll gerecht auf das System A, das den Sekundärrohstoff zur Verfügung stellt und das System B, das den Sekundärrohstoff einsetzt, aufgeteilt werden.

In einer Veröffentlichung von Prof. Klöpffer [Klöpffer 1996] nennt er Kriterien für eine Allokation, die hier in folgender Form übernommen werden:

1. Mathematische Korrektheit, keine Doppelerfassung von Effekten;
2. interne Logik, in dem Sinne, dass einem System die Umweltbelastungen zugeordnet werden, die direkt mit ihm im Zusammenhang stehen;
3. Machbarkeit auch bei geringen Informationen über die tatsächlichen Stoffkreisläufe und
4. Gerechtigkeit, in dem Sinne, dass sowohl das Sekundärrohstoff abgebende System als auch das Sekundärrohstoff aufnehmende System ökobilanziell⁵ einen Anreiz zur Aufrechterhaltung von Stoffkreisläufen erhalten.

⁴ Zur Verdeutlichung des Prinzips wurde die Verwertungsquote, die den Mengenstrom bestimmt, nicht in die Gleichung eingefügt. Bei der Erstellung der Sachbilanz wird die Abhängigkeit der Stoffmengen von der Verwertungsquote im Berechnungsverfahren selbstverständlich berücksichtigt.

1.4 Die Methoden in Phase 1 des Projektes und ihre Probleme

In Phase 1 des Projektes wurden 2 Allokationsverfahren zur Beurteilung der betrachteten Verpackungssysteme herangezogen:

- Gutschriftsverfahren ($A/B = 100/0$), modifiziert (siehe Kap. 2.3.2)
- Cut-Off

Letzteres diene auch zur Prüfung der Sensitivität des Gutschriftverfahrens.

1.4.1 Cut-Off

Beschreibung der Methode

Beim **Cut-Off** erfolgt die Zuordnung des Gesamtnutzens durch Recycling entsprechend einer naheliegenden internen Logik der Systeme sozusagen per Schnitt

Daraus ergeben sich folgende Zuordnungen:

- Im System A entfällt die Beseitigung des Produktes. Statt dessen erfolgt eine geeignete Erfassung und ggf. eine Sortierung.
- Im System B entfällt der Verbrauch von Primärressourcen und die Umweltbelastungen aus der Grundstoffherstellung. Statt dessen erfolgt vor dem Einsatz des Sekundärrohstoffes eine Aufbereitung.

Beurteilung der Methode

Die Methode folgt einer internen Logik der Systeme (s.o.) und ist mathematisch sowohl für die Einzelsysteme als auch für das Gesamtsystem korrekt. Die Methode ist ferner gut umsetzbar, da keine über das zu bilanzierende System hinausgehenden Informationen zu Stoffkreisläufen bekannt sein müssen.

Zweifel ergeben sich hinsichtlich der Gerechtigkeit (siehe Kap. 1.3), da erfahrungsgemäß, zumindest bei hochwertigem Recycling, die Umweltentlastung durch vermiedene Abfallbeseitigung wesentlich geringer ist als die Umweltentlastung durch vermiedenen Verbrauch von Primärrohstoffen und ver-

⁵ Ein ökobilanzieller Anreiz erfolgt, wenn die Ökobilanzergebnisse des Systems sich aufgrund des Allokationsverfahrens verbessern.

vermiedene Umweltbelastungen aus der Grundstoffherstellung abzüglich der Umweltbelastungen aus der Aufbereitung ($GH_B - Auf_A$). D.h., beim Cut-Off profitiert v.a. das System B, in dem die Sekundärrohstoffe eingesetzt werden. Es wird nicht berücksichtigt, dass der Nutzen nur erzeugt werden kann, wenn es auch Systeme gibt, die Sekundärrohstoffe zur Verfügung stellen.

Der durch die Ökobilanz gegebene „Anreiz“ für System A, hochwertige Sekundärrohstoffe zur Verfügung zu stellen, ist sehr gering.

1.4.2 Gutschriftverfahren (A/B = 100/0)

Nach dem in einigen veröffentlichten Ökobilanzen angewandten Gutschriftverfahren wird sowohl die vermiedene Abfallbeseitigung als auch der vermiedene Verbrauch von Primärrohstoffen und die vermiedenen Umweltbelastungen aus der Grundstoffherstellung abzüglich des Aufwandes für die Aufbereitung dem System A, welches Sekundärrohstoffe zur Verfügung stellt, gutgeschrieben.

Im Gegenzug erhält das System B, in dem die Sekundärrohstoffe eingesetzt werden, eine Lastschrift in gleicher Höhe, da nur so die Bilanz für das Gesamtsystem mit Recycling wieder seinen wahren Wert erreicht. (vgl. Abb. 2-2)

$$\begin{aligned} UB_{\text{Gesamtsystem mit Recycling}} &= UB_A + Auf_A + UB_B \\ &= (UB_A + Auf_A - GH_B) + (GH_B + UB_B) \end{aligned} \quad \text{Gleichung 1-2}$$

Modifiziertes Gutschriftverfahren in Phase 1: Im Gegensatz zur zuvor beschriebenen Basisvariante erfolgte in Phase 1 des Projektes die Gutschrift für System A nur in Höhe des Anteiles an Primärrohstoffen, die im Marktmittel für ein Produkt tatsächlich eingesetzt werden⁶ (siehe Endbericht zu Phase 1, Kap. 2.4.2).

⁶ Beispiel (vereinfacht):

100 kg Kunststoffprodukt aus System A wird zu 70% einer Verwertung zugeführt. Das aus dem Altkunststoff hergestellte Produkt B (System B) wird derzeit im Marktmittel zu 90% aus Primärrohstoffen und zu 10% aus Sekundärrohstoffen (Altkunststoff) hergestellt. System A erhält daher eine Gutschrift für eingesparte Primärrohstoffe und vermiedene Umweltbelastungen aus der Grundstoffherstellung, die bei der Herstellung von 63 kg Kunststoff aus Primärressourcen anfallen würden:

100 kg Produkt A x 70% Verwertungsquote x 90% Einsatzquote Primärrohstoff
=> Gutschrift für Herstellung von 63 kg Primärkunststoff

Beurteilung der Methode: Basisvariante

Die Methode ist mathematisch sowohl für die Einzelsysteme als auch für das Gesamtsystem korrekt.

Zur Umsetzung der Methode sind Informationen über den Einsatz des Sekundärrohstoffes sowie über die vermiedene Grundstoffherstellung erforderlich. In den meisten Fällen hat sich die Methode als gut umsetzbar erwiesen.

Die interne Logik (s.o.) der Systeme ist vielleicht noch für System A gegeben, das nun in hohem Maße von einer Abgabe hochwertiger Sekundärrohstoffe profitiert. Für System B ist die interne Logik (s.o.) nicht gegeben, da, obwohl Sekundärrohstoffe eingesetzt werden, es ökobilanziell aber so gestellt wird, als ob es Primärrohstoffe einsetzen würde.

Aus diesem letzteren Aspekt resultieren auch starke Zweifel an der Gerechtigkeit der Methode. Einen ökobilanziellen Anreiz erhalten nur die Systeme, die Sekundärrohstoffe abgeben aber selbst Primärrohstoffe einsetzen, d.h. Systeme die nur unvollständig in Stoffkreislaufsysteme eingebunden sind.

Ein weitergehendes Problem der modifizierten Gutschriftmethode besteht durch die Abhängigkeit des Ökobilanzergebnisses am derzeitigen Marktmittel für Einsatzquoten von Sekundärrohstoffen, da bei nicht eingeschwungenen Systemen das Ergebnis einer starken Veränderung unterworfen ist, bis der eingeschwungene Zustand erreicht wird (betrifft z.B. den Aufbau des PET-Recycling).

Beurteilung der Methode: Gerechtigkeit der modifizierten Variante

System A profitiert nur noch in dem Maße von einer Abgabe hochwertiger Sekundärrohstoffe, in dem Primärrohstoffe im Marktmix enthalten sind. So gilt das für die Basisvariante Gesagte⁷ z.B. für die Verwertung von Kunststoffen, da dort der Primärrohstoffanteil – noch - sehr hoch ist.

Bei bereits weit entwickelten Verwertungskreisläufen oder –kaskaden, wie z.B. bei Glas und Papier/Karton/Pappe, wandelt sich das Bild. Z.B. erhält der Getränkekarton (System A) nur eine geringe Gutschrift für das Bereitstellen von Sulfatzellstoff, da im Zellstoffmarkt der Altpapieranteil bereits sehr hoch ist. Entsprechend bekommt dann System B, hier Sulfatzellstoff, eine geringe Lastschrift. In diesem Fall wird also der ökobilanzielle Anreiz, v.a. weil eine große Menge Sekundärrohstoff angeboten wird, zu den aufnehmenden Systemen (B) verlagert.

Problematisch bei dieser Methode ist

⁷ Solange wenig Sekundärrohstoffe eingesetzt werden, wird der ökobilanzielle Anreiz überwiegend für das zur Verfügung stellen von Sekundärrohstoffen gegeben, nicht aber für deren Einsatz.

- a) die Abhängigkeit vom aktuellen Anteil von Sekundärrohstoffen im jeweiligen Materialpool. D.h., Ökobilanzergebnisse ändern sich aufgrund von Marktbedingungen, nicht aber, wie der Name „Ökobilanz“ indiziert, aufgrund von verminderten Umweltbelastungen im Lebensweg.
- b) die unterschiedlich hohen Gutschriften für das Bereitstellen bzw. die unterschiedlich hohen Lastschriften für den Einsatz von Sekundärrohstoffen bei den verschiedenen Materialien.

1.4.3 Resumee und Ableitung eines geeigneteren Allokationsverfahrens

Die beiden vorgestellten Methoden können als Eckpunkte bzw. Extremwerte von Allokationsverfahren angesehen werden. Das Cut-Off gibt vor allem einen ökobilanziellen Anreiz (vgl. Fußnote 5) zum Einsatz von Sekundärrohstoffen. Das 100 prozentige Gutschriftverfahren ($A/B = 100/0$) gibt in seiner Basisvariante ausschließlich Systemen einen ökobilanziellen Anreiz, die Sekundärrohstoffe abgeben und Primärrohstoffe einsetzen.

Bei der Modifizierung werden die Materialien unterschiedlich behandelt. Je nach Höhe des aktuellen Anteils von Sekundärrohstoffen im Materialpool überwiegt der ökobilanzielle Anreiz zur Abgabe von hochwertigen Sekundärrohstoffen bei gleichzeitigem Einsatz von Primärrohstoffen (geringer Anteil von Sekundärrohstoffen im Markt) oder der ökobilanzielle Anreiz zum Einsatz von Sekundärrohstoffen (hoher Anteil an Sekundärrohstoffen). Mit dieser Abhängigkeit vom aktuellen Marktmix ist die Ökobilanz für lang- und auch mittelfristige strategische Planungen nur noch begrenzt einsetzbar.

Sollen beide Systeme A und B einen gleichen ökobilanziellen Anreiz zur Aufrechterhaltung des Stoffkreislaufes erhalten, muss der Nutzen des Recycling auch gleichmäßig zwischen ihnen aufgeteilt werden. Dieser Ansatz folgt der internen Logik des Gesamtsystems (s.o.), da sowohl System A als auch System B für ein Recycling erforderlich sind. Diese Methode ist als (50/50-Methode) bereits in der Literatur genannt und beschrieben worden ([Klöpffer 1996] mit weiteren Verweisen).

Aufgrund der bereits unter Kap. 1.4.2, letzter Abschnitt genannten Nachteile des modifizierten Gutschriftverfahrens, nach dem die Gutschrift für System A nur in Höhe des derzeit für Produkt B im Marktmittel eingesetzten Anteiles an Primärrohstoffen erfolgt, bezieht sich die 50/50-Methode nicht auf die momentanen Marktanteile von Primär- und Sekundärrohstoffen für ein Produkt, sondern bezieht sich auf die Differenz zu einem Gesamtsystem ohne Recycling, d.h. zu einem System ohne Sekundärrohstoffeinsatz (siehe Abbildung 1-2).

1.5 50/50-Gutschriftverfahren für Phase 2 des Projektes

Prinzip

Der Nutzen des Recycling in einem Gesamtsystem mit Recycling gegenüber einem Gesamtsystem ohne Recycling wird gleichmäßig auf die beteiligten Systeme aufgeteilt.

Umsetzung

In dieser Studie erfolgt die Umsetzung des Prinzips mit zwei Einschränkungen:

- 1) Die Bilanzraumerweiterung bleibt auf ein Folgesystem, d.h. auf 2 Nutzungszyklen beschränkt.
- 2) Es werden die Einsparungen an Primärressourcen, die vermiedenen Umweltbelastungen aus der Grundstoffherstellung für Produkt B (GH_B) und die Aufbereitung des Sekundärrohstoffes aufgeteilt, nicht aber die vermiedene Abfallbeseitigung in System A.

Zu 1) Bei der Umsetzung der Methode ist zunächst zu entscheiden, wie viele Folgesysteme C, D usw. einbezogen werden sollen. Da in der Regel nicht bekannt ist, ob und in welchem Maße das in der Ökobilanz nicht untersuchte System B Sekundärrohstoffe an weitere Systeme abgibt, wird die Bilanzraumerweiterung aus Gründen der Machbarkeit auf ein Folgesystem begrenzt.

Zu 2) Diese Einschränkung erfolgt aus rechentechnischen Gründen, die in Phase 1 festgelegt wurden. In Phase 1, in der eine Markt bezogene Allokationsmethode angewandt wurde, wurde nur die Aufbereitung und das eingesparte Primärmaterial entsprechend dem Marktmix von Primär- und Sekundärmaterial aufgeteilt. Entsprechend wurde auch nur dies modellierungstechnisch im Stoffstrommodell berücksichtigt. In Phase 2 wurde das Stoffstrommodell unverändert übernommen.

Damit berechnen sich Gut- und Lastschriften wie folgt⁸:

- Das **System A** erhält für die Abgabe von Sekundärrohstoffen eine Gutschrift in Höhe der halben Einsparung bei der Grundstoffherstellung, inkl. Einsatz an Primärressourcen und eine Lastschrift in Höhe der halben Umweltbelastungen der Aufbereitung:

Gutschrift = - 0,5 GH_B

Lastschrift = 0,5 Auf_A

⁸ Wenn die durch die Verwertung vermiedene Abfallbeseitigung (Nutzen des Recycling) in den Gut und Lastschriften berücksichtigt werden soll, dann erhält das abgebende System A, dem ja beim Cut-Off der gesamte Nutzen zu Gute kommt, eine Lastschrift in Höhe der halben Umweltbelastungen der vermiedenen Beseitigung und das System B eine gleich hohe Gutschrift.

- Das **System B** erhält eine Lastschrift in Höhe der halben Einsparung bei der Grundstoffherstellung, inkl. Einsatz an Primärressourcen und bei der Aufbereitung:
Lastschrift = 0,5 Auf_A + 0,5 GH_B

Unter Bezug auf Abbildung 1-2 und 1-3 berechnet sich das Ökobilanzergebnis dann wie folgt:

$$UB_{\text{System A}} = UB_A + 0,5 \text{ Auf}_A - 0,5 \text{ GH}_B \quad \text{Gleichung 1-3}$$

$$UB_{\text{System B}} = 0,5 \text{ GH}_B + 0,5 \text{ Auf}_A + UB_B \quad \text{Gleichung 1-4}$$

Die Summe ergibt die Umweltbelastung des Gesamtsystems mit Recycling analog Abb. 2-2 und ist damit mathematisch korrekt:

$$UB_{\text{Gesamtsystems mit Recycling}} = UB_A + \text{Auf}_A + UB_B \quad \text{Gleichung 1-5}$$

Fehlerbetrachtung

Der Fehler aus der Begrenzung des Modells auf 2 Nutzungszyklen ist gering, wenn

- die Verwertungsquote von System B zu weiteren Systemen C, D usw. klein ist oder wenn
- die vermiedenen Umweltbelastungen aus der Grundstoffherstellung in diesen Folgesystemen (GH_C, GH_D usw.) relativ gering sind (z.B. Downcycling).

Bei hohen Verwertungsquoten und umweltrelevanter Grundstoffherstellung steigt der Fehler. Dies wird jedoch zu Gunsten der Handhabbarkeit des Modells in Kauf genommen.

Der Fehler aus der Vernachlässigung der vermiedenen Abfallbeseitigung von Produkt A dürfte in der Regel sehr gering sein, da die Abfallbeseitigung im Allgemeinen nur in geringem Maße zur Gesamtbelastung eines Systems beiträgt. In einer Sensitivitätsanalyse wurde hierzu festgestellt, dass beim Verbundkarton bei Berücksichtigung der Abfallbeseitigung im 50/50-Modell als auswertungsrelevanter Effekt der potenzielle Treibhauseffekt ansteigt. Weitere Anstiege zeigen sich beim Beitrag zum Sommersmog und der Deponiefläche. Der Deponieflächenbedarf ist allerdings in der Regel keine relevante Umweltwirkung. Für die PET-Einwegflasche zeigen sich keine relevanten Effekte. Eine geringfügige Erhöhung tritt beim Beitrag zum Treibhauseffekt auf und der Deponieflächenbedarf nimmt zu.

Weitere Grundlagen des Gutschriftverfahrens

- Die Gutschrift erfolgt unter der Prämisse, dass ein Abfall zur Verwertung zu einem Sekundärrohstoff aufbereitet werden kann, der einem Primärrohstoff funktionell äquivalent ist.
- Zur Herleitung der Gutschrift muss bekannt sein, in welchem nachgeschalteten Produktsystem (z.B. Produktsystem B in Abbildung 2-2) der Sekundärrohstoff Verwendung findet.
- Gut- und Lastschriften werden in den Ergebnistabellen getrennt ausgewiesen.

Beurteilung der Methode

Die Methode ist mathematisch sowohl für die Einzelsysteme als auch für das Gesamtsystem korrekt.

Zur Umsetzung der Methode sind wie bei allen Gutschriftmethoden Informationen über den Einsatz des Sekundärrohstoffes sowie über die vermiedene Grundstoffherstellung erforderlich. Die Gutschriftmethode hat sich in Phase 1 des Projektes als gut umsetzbar erwiesen.

Die interne Logik der Systeme wird berücksichtigt, indem der Gesamtnutzen aus dem Recycling auf beide beteiligten Systeme gleichmäßig aufgeteilt wird.

Beide Systeme erhalten einen gleich großen ökobilanziellen Anreiz zum Aufbau und Aufrechterhaltung von hochwertigen Recyclinglinien.

2 Literatur

- [Klöpper 1996] Klöpffer, Walter: Allocation Rule for Open-Loop Recycling in Life Cycle Assessment. In: Int. J. LCA 1 (1) 1996, S. 27-31
- [UBA 2000] Projektgemeinschaft: Prognos, IFEU, GVM, packforce®: Ökobilanz von Getränkeverpackungen II. Endbericht zu Phase 1. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Berlin: Umweltbundesamt, August 2000.

ANHANG 3

Übersicht über die Szenarien

Ökobilanz für Getränkeverpackungen II

untersuchte Verpackungssysteme

		Mineralwasser	Softdrinks	Saft	Wein
Mehrweg	Glas	I-01 0,7 GdB Weißglas I-02 0,75 GdB Grünglas I-07 0,25 "Gastro" Grün II-01 1,0 l Leichtglas	I-17 0,7 GdB Weißglas I-21 0,33 l C-C II-10 0,5 l Glas	I-09 0,7 VdF Enghals I-10 0,75 VdF Weithals I-11 1,0 VdF Enghals I-12 1,0 Euro Weithals	I-25 1,0 l Schlegel
	PET	I-04 1,5 l Bonaqua II-08 0,5 l PET	I-19 1,0 l GdB I-20 1,0 l C-C		
Einweg	Glas	I-03 1,0 l Grünglas I-08 0,33 l Grünglas II-02 1,0 l Leichtglas	I-18 1,0 l Weißglas I-22 0,33 l C-C	I-13 0,75 Enghals I-14 0,75 Weithals I-15 1,0 Weithals	I-26 0,75 l Bordeaux I-27 1,0 l Schlegel
	PET	II-03 1,0 PET (PETcycle) II-04 1,5 PET (PETcycle) II-05 1,5 PET II-07 1,5 PET (stilles W.) II-09 0,5 PET			
	Alu		I-24 0,33 l II-11 0,5 l		
	Weißblech		I-23 0,33 l II-12 0,5 l		
	Karton	I-06 1,0 l		I-16 1,0 l	I-28 1,0 l

I-xx: In Phase 1 untersuchte Systeme

II-xx: In Phase 2 untersuchte Systeme

Ökobilanz für Getränkeverpackungen II
untersuchte Verpackungssysteme
Optimierungen / Änderung der Rahmenbedingungen

		Mineralwasser	Softdrinks	Saft	Wein
Mehrweg	Glas	II-28 0,7 GdB Weißglas Distribution 2005			
	PET				
Einweg	Glas	II-13 1,0 I Weißglas Oxyfuel			
	PET	II-06 1,5 I Pfandpflicht II-21 1,5 I 32g, 50% Sek. II-26 1,5 I TASi 2005 II 29a 1,5 I (PETcycle) Distribution 2005 II 29b 1,5 I Distribution 2005			
	Alu		II-14 0,33 I Body 9,1 g II-15 0,33 I Eel=13 kWh II-16 0,33 I Deckel Sek-Alu II-22 / 23 0,33 I Hydro +/-		
	Weißblech		II-17 0,33 I Body 19,4 g II-18 0,33 I Deckel Sek-Alu II-27 0,33 I TASi 2005		
	Karton			II-19 1,0 I 26 g II-20 1,0 I Reject-Verw. II-24 1,0 I Rec.Quote:64% II-25 1,0 I TASi 2005	