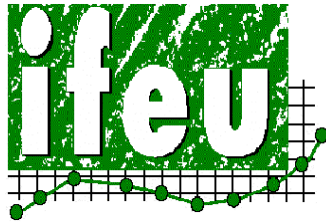


Ökobilanzieller Vergleich von Getränkekartons und PET-Einwegflaschen

**IFEU Heidelberg
August 2006**

Im Auftrag des FKN, Wiesbaden



Ökobilanzieller Vergleich von Getränkekartons und PET-Einwegflaschen

Endbericht

Im Auftrag des
Fachverbands Kartonverpackungen (FKN), Wiesbaden

Autoren:

Andreas Detzel
Andreas Böß

IFEU Heidelberg, August 2006

IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
Wilckensstraße 3, 69120 Heidelberg,
Tel. 06221-47670, Fax: 06221-476719
e-mail: andreas.detzel@ifeu.de

Ökobilanzieller Vergleich von Getränkekartons (GK) und PET-Einwegflaschen (PET-EW)

„Executive Summary“

In der vorliegenden Ökobilanz, nach den methodischen Vorgaben des Umweltbundesamtes (UBA) erarbeitet, wurden Getränkekartons und Einweg (EW) PET-Flaschen in den Marktsegmenten *Fruchtsäfte und Fruchtnektare (Saft/Nektar)*, *Eistee* und *Frischmilchprodukte* unter aktuellen deutschen Randbedingungen miteinander verglichen. In der Studie wurden die im Markt befindlichen Verpackungen des Jahres 2005 zugrunde gelegt. Bei der PET-EW-Flasche wurden, ebenfalls ausgehend vom Status 2005, folgende Optimierungen unterstellt: ein Rezyklat-Anteil von 25 Prozent und eine Sortiertiefe von 70 Prozent – beide Annahmen beziehen sich auf einen Zeitraum bis zum Jahr 2010. Beim Getränkekarton wurden keine Optimierungsoptionen berücksichtigt.

Wie in den bereits früher vom Umweltbundesamt in Auftrag gegebenen Getränke-Ökobilanzen wurden die nachfolgenden Wirkungskategorien untersucht. Deren ökologische Bedeutung gemäß der Prioritätenbildung des UBA ist in Klammern angegeben. *Treibhauseffekt* (sehr groß), *fossiler Ressourcenbedarf* (groß), *Versauerung* (groß), *terrestrische Eutrophierung* (groß), *Sommersmog* (groß), *aquatische Eutrophierung* (mittel) und *Naturraumbeanspruchung Forst* (mittel).

Die in dieser Studie betrachteten Füllgüter stellen besondere Anforderungen an die Barriereigenschaften der verwendeten Verpackungssysteme; Fruchtsäfte und Fruchtnektare müssen vor eindringendem Luftsauerstoff und Frischmilchgetränke vor UV-Strahlung geschützt werden. Zusammensetzung und Menge der eingesetzten Verpackungsmaterialien sind so gestaltet, dass sie die füllgutspezifische Schutzfunktion und letztlich die im Handel erforderlich Mindesthaltbarkeitsdauer (MHD) gewährleisten.

In dieser Hinsicht erwies es sich als sinnvoll, drei Fallgruppen für Getränkekartons und PET-EW-Flaschen voneinander abzugrenzen:

1. Saft/Nektar mit einer MHD von mindestens 12 Monaten
2. Saft/Nektar / Eistee mit einer MHD von sechs bis sieben Monaten
3. Frischmilchgetränke mit einer MHD von zehn bis zwölf Tagen

Der ökobilanzielle Vergleich wurde zunächst getrennt für jede der drei Gruppen durchgeführt, um dann in einem weiteren Schritt verallgemeinernde Schlussfolgerungen zu ziehen.

In der Fallgruppe 1 und in der Fallgruppe 3 erwies sich der Getränkekarton in den Kategorien *Treibhauseffekt*, *fossiler Ressourcenverbrauch*, *Versauerung*, *terrestrische Eutrophierung* und *aquatische Eutrophierung* als ökologisch günstiger im Vergleich zur PET-EW-Flasche; in den Kategorien *Sommersmog* und *Naturraumbeanspruchung (Forst)* war PET ökologisch günstiger.

In der Fallgruppe 2 ist der Getränkekarton beim *Treibhauseffekt* und beim *fossilen Ressourcenverbrauch* ökologisch günstiger, wohingegen die PET-EW-Flasche bei der *Versauerung*, bei der *aquatischen Eutrophierung*, bei der *Naturraumbeanspruchung (Forst)* und beim *Sommersmog* ökologische Vorteile aufweist.

Versucht man nun den Vergleich der Verpackungen über alle Marktsegmente hinweg, so lassen die in der Studie vorgenommenen zusätzlichen Auswertungen der Daten und Ergebnisse erkennen, dass die Wirkungskategorien *fossiler Ressourcenbedarf* und *Treibhauseffekt* für den Vergleich des Getränkekartons mit der PET-EW-Flasche von besonderer Bedeutung sind. Hier können die untersuchten Verpackungssysteme besonders große Beiträge zur Umweltentlastung liefern.

Optimierungen, beim Getränkekarton nicht unterstellt, werden aber in der Zukunft erforderlich sein, denn man sollte davon ausgehen, dass auch in den PET-EW-Systemen, allein schon aus ökonomischen Gründen, die existierenden Optimierungspotenziale in den nächsten Jahren schrittweise ausgeschöpft werden. Ein Trend „höhere Gewichte beim GK“ und „niedrigere Gewichte bei PET-EW“ könnte es dann „a la longue“ schwierig machen, den ökologischen Status-Quo des Getränkekarton im Ranking der Getränkeverpackungen zu erhalten.

Den Entscheidungsträgern im FKN und den Mitgliedsfirmen wird daher empfohlen, Strategien zu entwickeln, die mittelfristig eine weitere Optimierung aller Getränkekartons bewirken. Dies sollte unter Einbeziehung aller Unternehmensbereiche, von der Verpackungsentwicklung bis zum Marketing, geschehen und über die Grenzen der (konkurrierenden) Einzelfirmen hinaus stattfinden.

Die Hersteller sollten zudem für eine größtmögliche Marktdurchdringung der am weitesten optimierten Getränkekartons sorgen. Das kann heute schon in Angriff genommen werden. Dabei ist jedoch die Mitarbeit von Abfüllern, Handel und Konsumenten erforderlich. Die Politik sollte entsprechende Anreize setzen, welche die Umsetzung entsprechender Aktivitäten beschleunigen helfen.

Im Vergleich zur PET-EW-Flasche weist der Getränkekarton naturgemäß eine erhebliche Inanspruchnahme beim *Naturraum Forst* auf. Daher sollten die Getränkekartonhersteller gewährleisten, dass das in den Rohkartons verwendete Holz aus einer ökologisch verträglichen Forstwirtschaft stammt. Die Einrichtung eines Systems zum Herkunftsnachweis könnte in diesem Zusammenhang die Transparenz und Glaubwürdigkeit sicherstellen.

Angesichts der zunehmend in den Blickpunkt gelangenden Ressourcendiskussion ist zusammenfassend zu empfehlen, das Verpackungssystem Getränkekarton im Sinne einer integrierten Produktpolitik dahingehend weiterzuentwickeln, dass der fossile Ressourcenverbrauch weiter reduziert wird. Die Verpackungskomponente Kunststoff verdient hierbei eine besondere Beachtung.

Bei beiden Aspekten - Forstwirtschaft und Ressourcenschonung - sind Handlungsspielräume vorhanden, die von den Getränkekartonherstellern genutzt werden sollten.

Inhaltsverzeichnis

1	ZIEL UND RAHMEN DER STUDIE	1
1.1	HINTERGRUND UND ZIELSETZUNG	1
1.2	ORGANISATION DER STUDIE.....	2
1.3	CRITICAL REVIEW-VERFAHREN	2
1.4	ANWENDUNG UND ZIELGRUPPEN DER STUDIE.....	2
1.5	BETRACHTETE VERPACKUNGSSYSTEME	3
1.6	FUNKTIONELLE EINHEIT	5
1.7	LEBENSWEG UND BILANZRAUM.....	5
1.8	DATENERHEBUNG UND DATENQUALITÄT	7
1.9	ALLOKATION	9
1.10	VORGEHEN BEI WIRKUNGSABSCHÄTZUNG UND AUSWERTUNG	15
2	UNTERSUCHTE VERPACKUNGSSYSTEME UND SZENARIEN	19
2.1	VERPACKUNGSSYSTEME DES GETRÄNKEKARTONS	19
2.2	VERPACKUNGSSYSTEME DER PET-EINWEGFLASCHE	28
2.3	UMFASSTE SZENARIEN	34
3	AUSGEWÄHLTE DATEN ZUR SACHBILANZ.....	38
3.1	HERSTELLUNG DER ROH- UND VERBUNDKARTONS	38
3.2	HERSTELLUNG ALUMINIUMFOLIE	39
3.3	VERPACKUNGSKOMPONENTEN AUS KUNSTSTOFF	40
3.4	PET-FLASCHENHERSTELLUNG	44
3.5	HERSTELLUNG VON WELLPAPPE UND WELLPAPPETRAYS.....	44
3.6	DATEN ZUR GETRÄNKEABFÜLLUNG	45
3.7	DATEN ZUR GETRÄNKEDISTRIBUTION	45
3.8	VERWERTUNG GEBRAUCHTER PACKSTOFFE	46
3.9	HINTERGRUNDDATEN.....	48
4	ERGEBNISSE - BEZUG 2005	51
4.1	ERGEBNISSE FÜR SAFT/NEKTAR: VORRATSHALTUNG	52
4.2	ERGEBNISSE FÜR SAFT/NEKTAR: SOFORTVERZEHR.....	58
4.3	ERGEBNISSE FÜR EISTEE: VORRATSHALTUNG	62
4.4	ERGEBNISSE FÜR MILCHMISCHGETRÄNKE: SOFORTVERZEHR.....	65
5	SENSITIVITÄTSANALYSEN	68
5.1	ERGEBNISRELEVANZ TECHNISCHER VERBESSERUNGEN BEI PET-FLASCHEN	68
5.2	ERGEBNISSE FÜR EINE GEWICHTSOPTIMIERTE PET-FLASCHE (EISTEE)	72
5.3	ERGEBNISSE FÜR NEUE ANWENDUNGSBEREICHE PET: FRISCHMILCH, VORRATSHALTUNG	75
5.4	ERGEBNISRELEVANZ DER SYSTEMALLOKATION.....	78
5.5	ERGEBNISRELEVANZ BERÜCKSICHTIGUNG DER ENTSORUNG IM LZ 2	81
6	WEITERE ERGEBNISAUSWERTUNGEN.....	84
6.1	VARIABILITÄT DER GETRÄNKEKARTONGEWICHTE.....	84
6.2	NORMIERUNG AM BEISPIEL VORRATSHALTUNG FRUCHTSAFT/FRUCHNEKTAR	87
7	AUSWERTUNG DER ERGEBNISSE	92
7.1	SYSTEMVERGLEICHE	93
7.2	ÜBERGREIFENDE INTERPRETATION.....	95

7.3	EINSCHRÄNKUNGEN	97
8	ENTWICKLUNG DES GETRÄNKEKARTONS.....	101
9	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN.....	102
10	REFERENZEN.....	106

ANHANG I: ERLÄUTERUNG DER WIRKUNGSKATEGORIEN

ANHANG II: BERICHT DER KRITISCHEN GUTACHTER

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AGH	Ausgusshilfe
CO ₂	Kohlendioxid
CSD	<i>carbonated soft drinks</i> (Erfrischungsgetränke mit CO ₂)
EDW	Einwohnerdurchschnittswert
EW	Einweg
DSD	Der Grüne Punkt - Duales System Deutschland GmbH
EVOH	Ethylvinylalkohol
FSG	Fruchtsaftgetränke
FKN	Fachverband Kartonverpackungen für flüssige Nahrungsmittel e.V.
GFGH	Getränkefachgroßhandel
GS	Gutschrift
HDPE	<i>high density polyethylene</i> (Polyethylen hoher Dichte)
KEA	kumulierter Energieaufwand
LDPE	<i>low density polyethylene</i> (Polyethylen geringer Dichte)
MHD	Mindesthaltbarkeitsdatum
MKS	Mischkunststoffe
MMG	Milchmischgetränke
NO _x	Stickoxide
PA	Polyamid (= Nylon)
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
PP	Polypropylen
POCP	Photooxidantienbildungspotential
R-PET	PET-Rezyklat
ROE	Rohöl-Ressourcen-Äquivalenzwert
SBM	<i>stretch blow molding</i> (Streckblas-Verfahren)
UBA-II/1	Phase 1 der 2. Ökobilanz des UBA zu Getränkeverpackungen
UBA-II/2	Phase 2 der 2. Ökobilanz des UBA zu Getränkeverpackungen
UBA-II	Phase 1 und Phase 2 der 2. Ökobilanz des UBA zu Getränkeverpackungen
VOC	volatile organische Verbindungen

1 Ziel und Rahmen der Studie

1.1 Hintergrund und Zielsetzung

Seit Mitte der 1990er Jahre nimmt auf dem deutschen Getränkemarkt die Bedeutung von PET-Einwegflaschen als Verpackungssystem zu. Bis vor etwa zwei Jahren lag dabei der Schwerpunkt auf der Abfüllung kohlenensäurehaltiger Füllgüter wie Mineralwasser und Limonaden sowie - in geringerem Umfang - auch auf Bier. Als „stilles“ Getränk wurde bis dahin vor allem Wasser in PET-Einweg angeboten.

Erst seit kurzer Zeit werden PET-Einwegflaschen hierzulande für empfindliche, CO₂-freie Füllgüter wie Fruchtsäfte und Fruchtnektare, Eistee oder Milchmischgetränke eingesetzt. In einigen europäischen Ländern ist auch die Abfüllung von Frischmilch in PET-Flaschen weit verbreitet. Eine entsprechende Entwicklung in Deutschland kann nicht ausgeschlossen werden. Somit dringen PET-Einwegflaschen in Getränkesegmente vor, in denen Getränkekartons traditionell sehr hohe Marktanteile haben. PET substituiert hier nicht nur Mehrweg- und Einwegflaschen aus Glas, sondern konkurriert zunehmend auch direkt mit Getränkekartons.

Im Unterschied zu PET-Einwegflaschen sind Getränkekartons in der im Januar 2005 novellierten Fassung der Verpackungsverordnung als „ökologisch vorteilhaft“ eingestuft und somit von einer obligatorischen Bepfandung ausgenommen. Da jedoch Einwegverpackungen in den Getränkesegmenten Fruchtsäfte und Fruchtnektare sowie Milch und Milchmischgetränke generell nicht von der Pflichtpfandregelung betroffen sind, hat bei diesen Getränken die genannte ökologische Einstufung des Getränkekartons keine unmittelbare Lenkungswirkung auf Handel und Verbraucher¹.

Gerade dieser Sachverhalt wird vom Fachverband Kartonverpackungen für flüssige Nahrungsmittel (FKN) als Herausforderung betrachtet, die ökobilanziellen Profile von PET-Einwegflaschen und Getränkekartons untersuchen zu lassen. Beide Getränkeverpackungen sollen dabei in allen, im Jahr 2005 pfandfreien Marktsegmenten, in denen diese beiden Verpackungssysteme in Deutschland konkurrieren, miteinander verglichen werden. Der Vergleich soll zudem die marktrelevanten Verpackungsgrößen berücksichtigen.

Ausgehend von der „Ökobilanz Getränkekarton für Saft“ [IFEU 2004a], die den ökobilanziellen Status von Getränkekartons und Glas-Mehrwegflaschen im Jahr 2002 abbildete, berücksichtigt die vorliegende Studie die zwischenzeitlichen Veränderungen hinsichtlich der Materialzusammensetzung von Getränkekartons. Die Einbeziehung zusätzlicher Getränkesegmente – neben Säften - stellt zudem eine wesentliche Erweiterung der vorangegangenen Ökobilanz dar.

Öffentlich zugängliche Ökobilanzen über PET-Einwegflaschen, die in den vorweg genannten Getränkesegmenten eingesetzt werden, liegen nach Kenntnis der Verfasser bisher nicht vor. Allerdings kann auf umfangreiche Kenntnisse aus Veröffentlichungen inhaltlich und methodisch ähnlich gelagerter Ökobilanzen zurückgegriffen werden [IFEU 2004a, b].

Der ökologische Vergleich der untersuchten Getränkeverpackungen erfolgt unter aktuellen deutschen Rahmenbedingungen. Zur Absicherung der Vergleichsergebnisse wird versucht,

¹ Dass die VerpackVO durchaus eine Lenkungswirkung verfolgt, lässt sich anhand von § 1 Abfallwirtschaftliche Ziele, VerpackVO belegen. Dort findet sich die Formulierung „Der Anteil der in Mehrweggetränkeverpackungen sowie in ökologisch vorteilhaften Einweggetränkeverpackungen abgefüllten Getränke soll durch diese Verordnung gestärkt werden mit dem Ziel, einen Anteil von mindestens 80 vom Hundert zu erreichen.“

die kurzfristig umsetzbaren technischen Optimierungspotentiale der PET-Einwegsysteme einzuschätzen und deren Relevanz für die Ergebnisse in Form von Sensitivitätsanalysen zu bewerten.

Die vorliegende Studie soll die Anforderungen nach ISO 14040-14043 (1997-2000) erfüllen, einschließlich einer kritischen Begutachtung. Diese ist erforderlich, da die Ökobilanz vergleichende Aussagen enthält und einer über den Auftraggeberkreis hinaus gehenden Öffentlichkeit zugänglich sein wird. Damit wird mit der vorliegenden Studie erstmals eine ISO-konforme Ökobilanz zum Vergleich von PET-Einwegflaschen und Getränkekartons erarbeitet.

Die Bearbeitung der Studie erfolgt zudem in enger methodischer Anlehnung an die vom Umweltbundesamt durchgeführten Studien zum ökologischen Vergleich von Getränkeverpackungen [UBA 2000, UBA 2002].

1.2 Organisation der Studie

Die Studie wurde vom Fachverband Kartonverpackungen für flüssige Nahrungsmittel e.V. (FKN) mit Sitz in Wiesbaden beauftragt. Der FKN wird im Projekt durch Dr. Wallmann vertreten. Dem FKN gehören die Mitgliedsfirmen Tetra Pak GmbH & Co. (Hochheim), SIG Combibloc (Linnich) und Elopak (Speyer) an. Die genannten Unternehmen werden in der Projektgruppe durch Fr. Babendererde (Tetra Pak GmbH & Co.), Dr. Böhmel (SIG Combibloc) sowie Fr. Deege (Elopak) repräsentiert.

Das Projekt wird vom Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (IFEU) durchgeführt. Projektbearbeiter beim IFEU sind Hr. Detzel und Hr. Böß.

Zum Projekt wurde ein fachlicher Begleitkreis eingerichtet, dem neben den bereits genannten Personen Fr. Bremerstein (DSD), Prof. Strobl (FH Wiesbaden), Hr. Geiger (Fa. Campina) sowie Hr. Lentz (Fa. Emig) angehören.

Der Auftragnehmer war bemüht, einen passenden Verbandsvertreter aus der Kunststoffbranche für die Teilnahme im Projektbeirat zu gewinnen. Entsprechende Anfragen wurden jedoch leider abschlägig beschieden.

1.3 Critical Review-Verfahren

Die Studie wird einem *Critical Review* nach ISO 14040 (1997), § 7.3.3. unterzogen. Die Gutachter sind:

- Dipl. Univ.-Chemiker (M.Sc.) Paul W. Gilgen (Vorsitzender),
Abteilungsleiter; c/o EMPA, Überlandstrasse 129, CH-8600 Dübendorf
- Hans-Jürgen Garvens, Mitarbeiter des Umweltbundesamts
Parkstr. 1, D-14715 Landin

1.4 Anwendung und Zielgruppen der Studie

Die Studie richtet sich in erster Linie an den Auftraggeber und die von ihm vertretenen Verbandsmitglieder. Die hier durchgeführten Systemvergleiche sollen Informationen über die ökobilanzielle Position von Getränkekartons im Verhältnis zu PET-Einwegsystemen liefern, und damit bei der ökologisch orientierten Ausrichtung von Marktstrategien und Verpackungsentwicklungen unterstützen.

Der Auftraggeberkreis und die beteiligten Mitgliedsfirmen sollen zudem die Relevanz ihres Verantwortungsbereiches für das Gesamtsystem des Getränkekartons ermessen und Ansatzpunkte für Optimierungsmöglichkeiten ableiten können.

Die aus der Studie ableitbaren Fakten können darüber hinaus wichtige Informationen für Entscheidungsträger in Getränkeindustrie und Handel darstellen.

Schließlich sollen die Erkenntnisse einen sachorientierten Dialog auf einer transparenten und aktuellen Datengrundlage über die ökologische Bewertung der untersuchten Getränkeverpackungen fördern. Zielgruppe hierfür sind Verbraucher- und Umweltorganisationen, insbesondere aber auch die politischen Entscheidungsträger.

1.5 Betrachtete Verpackungssysteme

Die untersuchten Verpackungssysteme sollen, wie im Kapitel 1.1 erwähnt, die für beide Verpackungen relevanten Getränkesegmente umfassen. Zu deren Abgrenzung ist in Abbildung 1-1 der Getränkeabsatz in Deutschland nach Füllgutgruppen für das Jahr 2004 dargestellt, basierend auf Daten der Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung (GVM), Wiesbaden [Tetra Pak 2005; 2006].

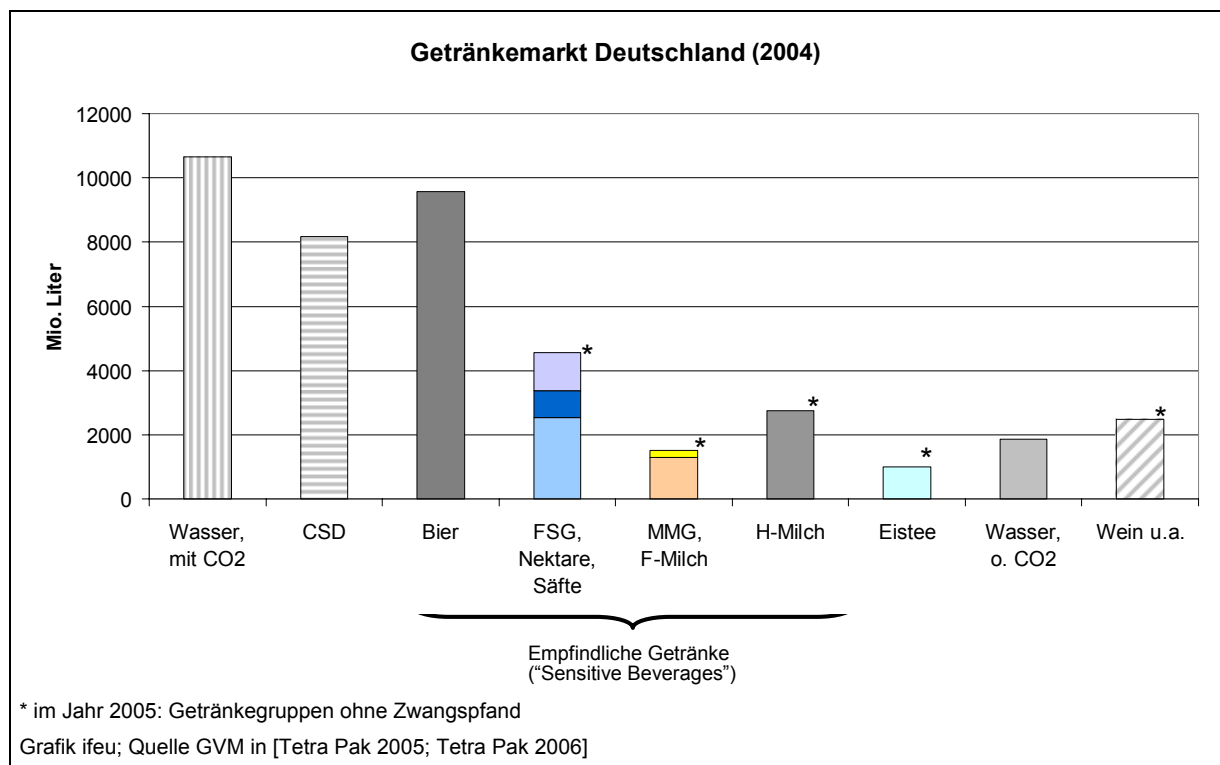


Abbildung 1-1: Getränkeabsatz in Deutschland 2004 nach Füllgutgruppen.
 Farbige dargestellt sind die in dieser Studie untersuchten Füllgüter

Getränkekartons kommen nur im CO₂-freien Getränkebereich zum Einsatz. Die Füllgüter Wasser und H-Milch werden in dieser Studie nicht betrachtet, da einerseits der Marktanteil

von Wasser ohne Kohlensäure in Getränkekartons sehr gering ist (~5%) und andererseits PET-Flaschen nicht für H-Milch verwendet werden.

Damit sind mit den Füllgutgruppen *Fruchtsäfte und Fruchtnektare*, *Eistee* und *Frischmilchprodukte* in dieser Studie praktisch alle relevanten, im Jahr 2005 nicht bepfandeten Füllgutbereiche enthalten, bei denen eine konkurrierende Nutzung von Getränkekartons und PET-Flaschen vorkommen kann.

Die in Abbildung 1-1 als „sensitive beverages“ gekennzeichneten empfindlichen Füllgüter stellen besondere Anforderungen an die verwendeten Verpackungssysteme. So muss das jeweilige Getränk beispielsweise vor eindringendem Luftsauerstoff (betrifft besonders das Marktsegment Fruchtsäfte und Fruchtnektare) und/oder Licht (betrifft besonders das Marktsegment Frischmilchgetränke) geschützt werden.

Der für den Handel entscheidende Parameter zur Sicherung der geforderten Schutzfunktion ist die Mindesthaltbarkeitsdauer (MHD)². Für die Marktsegmente *Fruchtsäfte und Fruchtnektare* sowie *Eistee* ist im Handel eine MHD von mindestens sechs bis sieben Monaten erforderlich. Bei *Frischmilchgetränken* liegt die Haltbarkeit bei weniger 10 Tagen³.

In der vorliegenden Studie sollen nur solche Verpackungen bilanziert werden, bei denen davon ausgegangen werden kann, dass die genannte MHD erreicht werden. Weitere Informationen dazu finden sich auch im Kapitel 2.

Als weitere Aspekte des Produktnutzens wären u.a. die Wiederverschließbarkeit der Verpackung sowie die Produktsicht zu nennen. Bei Getränkekartons ohne Ausgusshilfe sowie bei Getränkekartons mit nicht schraubbaren Verschlussmodellen ist die Wiederverschließbarkeit im Gegensatz zu PET-Flaschen nur bedingt gegeben. PET-Flaschen sind häufig transparent und gewähren dadurch die Produktsicht, die allerdings mit einem verminderten Lichtschutz einhergeht.

Da die Primärfunktion aber der Schutz des Füllgutes ist, kann von einer gleichwertigen Funktionalität der untersuchten Kartons und PET-Flaschen ausgegangen werden. Die Nutzengleichheit als Grundvoraussetzung des ökobilanziellen Systemvergleichs ist gegeben.

Da die Verpackungsanforderungen und -ausprägungen der untersuchten Getränkeverpackungssysteme z.T. sehr unterschiedlich sind, müssen die Systemvergleiche differenziert erfolgen. Dazu werden Getränkekartons und PET-Flaschen innerhalb folgender Füllgutgruppen untersucht:

² Das MHD informiert den Verbraucher darüber, wie lange das Produkt seine spezifischen Eigenschaften beibehält. Der eigentliche Sinn des Datums ist die Garantie, dass im Fall eines Verderbens der Ware vor Ablauf des Datums der Käufer kostenlos Ersatz erhält. Es bedeutet nicht, dass nach Ablauf des Datums die Ware automatisch ungenießbar wird.

³ Zunehmend gewinnt auch hier die Verlängerung der Haltbarkeit (extended shelflife – ESL) an Bedeutung. ESL-Verpackungen bieten MHD von bis zu 21 Tagen

1. Fruchtsäfte und Fruchtnektare

Vorratshaltung

- Getränkekarton: 1000 mL, 1500 mL
- PET-Einwegflasche: 1000 mL, 1500 mL

Sofortverzehr

- Getränkekarton 200 mL, 500 mL
- PET-Einwegflasche; 330 mL, 500 mL

2. Eistee

Vorratshaltung

- Getränkekarton; 1500 mL
- PET-Einwegflasche; 1500 mL

3. Frischmilchgetränke⁴

Vorratshaltung (Frischmilch)

- Getränkekarton: 1000 mL
- PET-Einwegflasche: 1000 mL

Sofortverzehr (Milchmischgetränke)

- PET-Einwegflasche: 500 mL
- Getränkekarton: 500 mL

1.6 Funktionelle Einheit

Als funktionelle Einheit wird analog zur UBA-Ökobilanz die Verpackung definiert, die zur Bereitstellung von 1000 L Füllgut im Handel benötigt wird⁵. Zum Referenzfluss eines Produktsystems gehört die eigentliche Getränkeverpackung, also Verbundkarton bzw. PET-Flasche, die Etiketten und Verschlüsse sowie die Transportverpackungen (Wellpappe-Tray, Schrumpffolie und Paletten), die zum Befüllen und zur Auslieferung von 1000 L Füllgut erforderlich sind.

1.7 Lebensweg und Bilanzraum

Die Ökobilanz betrachtet die potentiellen ökologischen Auswirkungen der Verpackungskomponenten „von der Wiege bis zur Bahre“, d.h. von der Extraktion der Rohstoffe über deren Verarbeitung zu Packstoffen und Verpackungen, inklusive der Transportprozesse bis hin zur Entsorgung.

⁴ In dieser Studie werden Molkereierzeugnisse, die über die Kühlkette vertrieben werden als „Frischmilchgetränke“ bezeichnet. Dazu zählen Frischmilch (pasteurisierte Milch und ESL-Milch, jedoch *nicht* H-Milch) sowie unterschiedliche Milchmischgetränke (MMG). Wegen der entsprechenden Marktrelevanz bezieht sich der Bereich Sofortverzehr (500 mL-Verpackungen) auf MMG, während bei Vorratskauf Frischmilch im Vordergrund steht. Verpackungen für Milchmischgetränke und Frischmilch sind in etwa vergleichbar, wobei Frischmilch das empfindlichere Füllgut darstellt.

⁵ UBA-Texte 37/00, S. 5; UBA-Texte 51/02, S. 6

In der vorliegenden Studie werden daher explizit folgende Stufen der Produktlinie berücksichtigt, wobei immer vom bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlagen ausgegangen wird:

- Herstellung, Recycling und Entsorgung der Getränkeverpackung
- Herstellung, Recycling und Entsorgung der Transportverpackungen wie Wellpappe-Trays, Folien sowie Holzpaletten
- Herstellung und Entsorgung von Betriebs- und Hilfsstoffen, soweit sie nicht unter das Abschneidekriterium (s.u.) fallen
- Das Abfüllen des Getränks
- Die Distribution vom Abfüller zum „Point of Sale“

Nicht berücksichtigt werden:

- Herstellung und Entsorgung der Infrastruktur (Maschinen, Aggregate, Transportmittel) und deren Unterhalt
- Herstellung und Sterilisierung des jeweiligen Füllguts sowie dessen Kühlung
- Umweltaspekte, die sich aus Aktivitäten des Verbrauchers ergeben (Transportfahrten zum Handel, Kühlprozesse)
- Umweltwirkungen durch Unfälle

Die „Lebenswege“ der Produktsysteme mit den verschiedenen Stufen von der Rohstoffgewinnung bis zur Abfallentsorgung werden als Prozessketten mit bestimmten Prozessspezifikationen abgebildet. Ein Produktsystem wird erst durch Systemparameter im Lebensweg, z.B. Distributionsentfernungen oder Recyclingquoten, eindeutig bestimmt. Diese sind ergebnisrelevant für das Produktsystem und müssen bei Vergleichen stets mit berücksichtigt werden. Die Produktsysteme beschreiben also das gesamte Produktions-, Konsumtions- und Entsorgungssystem des Produktes und damit die Systemgrenzen des Lebensweges.

Das Ziel ist es, Inputmaterialien in Produktsystemen zu berücksichtigen, wenn sie im jeweiligen Teilprozess des Lebensweges mehr als **1% der Masse** des gewünschten Outputs in dem Prozess umfassen. Gleichzeitig sollte aber die Summe der vernachlässigten Stoffmengen bei einem Prozess nicht mehr als 5% des Outputs betragen.

Die Systemgrenzen schließen nur die auf das Verpackungsmaterial zurückgehenden Umweltbelastungen ein. Die durch die Herstellung des Füllguts (inklusive der dafür benötigten Vorketten) verursachte Aufwendungen und Emissionen werden in Analogie zu den UBA-Studien nicht in die Bilanz einbezogen. Dies gilt auch für den Transport des verpackten Füllguts im Zuge der Distribution. Da die Distribution jedoch als Prozessschritt innerhalb des Bilanzraums liegt, ist eine Zuordnung der Emissionen zwischen Getränkeverpackung und Füllgut erforderlich (Kap. 1.9.1).

Wie in Abbildung 1-2 dargestellt, umfasst der Bilanzraum auch die Sammlung und Aufbereitung gebrauchter Verpackung. Für die dabei entstehenden Sekundärmaterialien und Nutzenergie aus der thermischen Abfallverwertung erfolgen Gutschriften (vgl. Kap. 1.9.2).

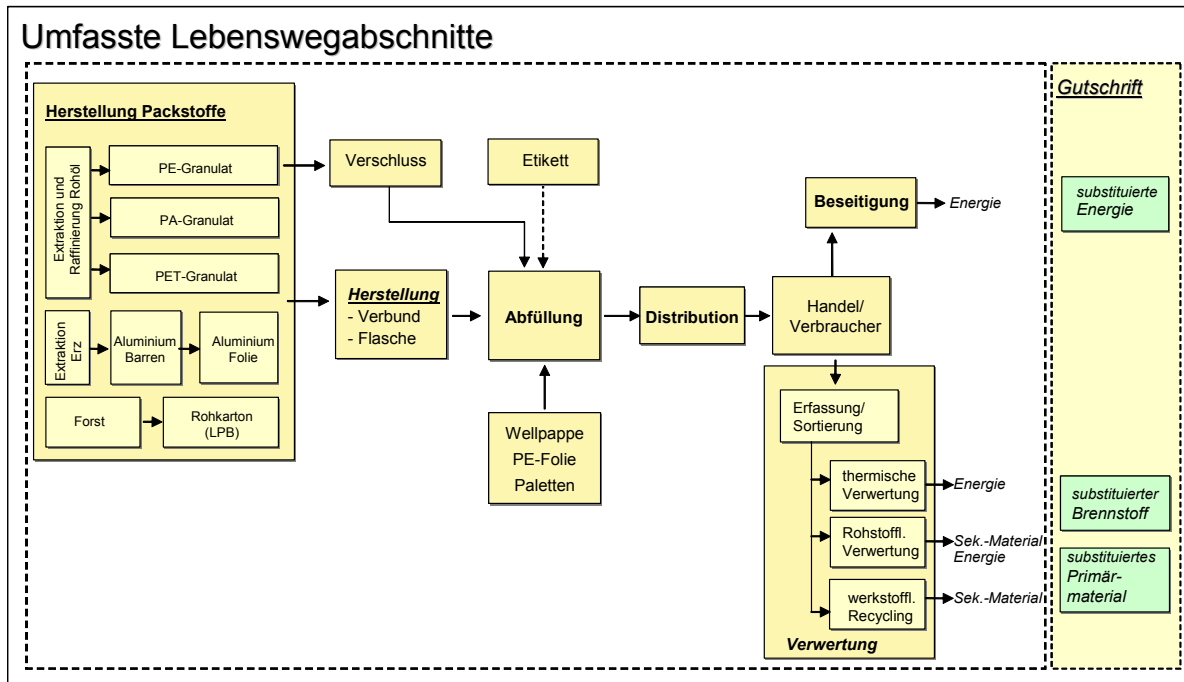


Abbildung 1-2: Schematische Darstellung der in der Bilanzmodellierung umfassten Lebenswegabschnitte

Die beschriebenen Festlegungen zu Lebensweg und Systemgrenzen sind mit Ausnahme einer Modifikation bei der Allokation (vgl. Kap. 1.9.2) in Einklang mit dem Vorgehen in den UBA-Ökobilanzen⁶ sowie der im Jahr 2004 fertig gestellten Studie zu Saftverpackungen im Auftrag des FKN [IFEU 2004a].

1.8 Datenerhebung und Datenqualität

Durch die Anlehnung an die UBA-Methodik ergeben sich Anforderungen, was die zu berücksichtigenden **Datenkategorien** angeht. Grundsätzlich müssen hier all jene Input- und Outputflüsse der Produktsysteme erfasst werden, die einen relevanten Beitrag zu den in der UBA-Ökobilanz betrachteten ökologischen Wirkungskategorien leisten.

Dies gilt insbesondere für die allgemeinen Datensätze der Energiebereitstellung, Transporte, Entsorgung und Grundstoffherstellung. Andererseits wird auch bei in dieser Studie neu hinzugekommenen bzw. überarbeiteten **Prozessdatensätzen** auf eine vergleichbare Datenqualität und Datensymmetrie geachtet.

An die in dieser Studie neu erhobenen Daten wird die Anforderung gestellt, möglichst vollständig, konsistent und nachvollziehbar zu sein. Diese Aspekte sollen sowohl bei der Datenerhebung und Prozessmodellierung sowie der Auswertung der Daten und Ergebnisse berücksichtigt werden. Neu erhobene Daten betreffen vor allem die Verpackungszusammensetzung und –gewichte sowie die Verwertungsquoten und Aufteilung der Verwertungswege.

⁶ UBA-Texte 37/00, S. 9; UBA-Texte 51/02, S. 11-14

Grundsätzlich erfolgt eine Plausibilitätskontrolle aller empirischen Daten. Sie werden mit Literaturdaten und dem IFEU intern vorliegenden Daten abgeglichen.

Eine Schwierigkeit ist die Beurteilung der **Genauigkeit** von Datensätzen, da die Prozessdaten meist nicht mit Streu- bzw. Fehlerbreiten oder Standardabweichungen verfügbar sind. Die Beurteilung basiert damit im Wesentlichen auf qualitativem Expertenwissen. Zur deskriptiven Beurteilung der Daten sollen daher verfügbare Informationen wie etwa der Durchschnitt einer verwendeten Technologie, das Bezugsjahr usw. herangezogen werden. Man erhält damit vor allem Auskunft zur Repräsentativität der Daten.

Eine Ausnahme bilden die Verpackungsspezifikationen der Getränkekartons. Hier können qualifizierte Bandbreiten abgebildet werden. Die Bedeutung dieser Bandbreiten für den Verpackungsvergleich wird in einem gesonderten Kapitel (siehe Kap. 6.1) abgehandelt.

Eine ausführlichere Beschreibung der in dieser Studie speziell bearbeiteten bzw. besonders relevanten Daten und Datensätze befindet sich in den Kapiteln 2 und 3.

Darüber hinaus gibt es Anforderungen an den zeitbezogenen, geographischen und technologischen Erfassungsbereich, die nachfolgend aufgeführt sind.

1.8.1 Zeitlicher Aspekt

Für den Verpackungsvergleich sollen die Verpackungen herangezogen werden, die im Jahr 2005 auf dem deutschen Markt waren. Die verwendeten Gewichte und die Materialzusammensetzung der untersuchten Verpackungen soll dies angemessen widerspiegeln.

Für Prozessdaten gilt ein Bezugszeitraum zwischen den Jahren 2002 und 2005. Das heißt, es wird angestrebt, dass die Gültigkeit der verwendeten Daten auf den genannten Zeitraum zutrifft bzw. möglichst nahe an diesen Zeitpunkt heranreicht.

In den betrachteten PET-Flaschensystemen sind Veränderungen hinsichtlich der Flaschengewichte und Materialzusammensetzung möglich, die das ökologische Profil dieser Verpackungssysteme verbessern könnten. Hinsichtlich der technischen Umsetzung dieser Optimierungen und die zu erwartende Marktdurchdringung kann aus derzeitiger Sicht jedoch kein verlässlicher zeitlicher Bezug festgelegt werden. In dieser Studie sollen nur solche Aspekte betrachtet werden, die kurzfristig umsetzbar erscheinen. Zur besseren Anschaulichkeit wird in der Studie unter dem Begriff „kurzfristig“ näherungsweise ein Zeitraum zwischen 2006 und 2010 verstanden.

Auch die Betrachtung von PET-Flaschen für Frischmilch ist in dieser Hinsicht als zukunftsorientiert zu verstehen, da solche Verpackungen in Deutschland gegenwärtig nicht verwendet werden.

1.8.2 Geographischer Aspekt

Der geographische Rahmen dieser Studie ist die Verpackungsherstellung und -entsorgung in Deutschland.

Einige der in den betrachteten Verpackungssystemen verwendeten Rohmaterialien werden auf einem europaweiten Markt produziert, gehandelt und von dort auch durch die deutsche Industrie bezogen. Dies gilt insbesondere für die Verbundrohstoffe Aluminium und Polyethylen sowie für PET-Granulat. Für diese Materialien werden europäische Durchschnittsdaten verwendet.

Die für die untersuchten Getränkekartons verwendeten Rohkartons (liquid packaging board, LPB) stammen aus nordeuropäischen Ländern. Die Produktion in den Herkunftsbereichen und der Transport der Packstoffe nach Deutschland werden in der Modellierung berücksichtigt.

Bezüglich der Herstellung des Getränkekarton-Verbundes und der PET-Flaschen sowie die Befüllung und die Distribution werden die Prozessdaten so modelliert, als wären die entsprechenden Prozesse ausschließlich in Deutschland angesiedelt. Der in der Realität zu einem gewissen Maß stattfindende Getränkeimport und -export wird nicht berücksichtigt.

1.8.3 Technologischer Aspekt

Die verwendeten Daten sollen nach Möglichkeit einen mittleren Stand der Prozesstechnik widerspiegeln. Bei den in dieser Studie erhobenen Daten sollen entweder entsprechende Mittelwerte gebildet werden oder, wenn dies nicht möglich ist, eine qualitative Einschätzung zum abgebildeten Standard vorgenommen werden.

1.9 Allokation

Die Modellierung der betrachteten Produktsysteme erfordert an verschiedenen Stellen die Anwendung so genannter Allokationsregeln (Zuordnungsregeln). Dabei sind zwei systematische Ebenen zu unterscheiden: Eine Allokation kann auf der Ebene einzelner Prozesse innerhalb des untersuchten Produktsystems oder zwischen dem untersuchten Produktsystem und vor- bzw. nachgelagerten Produktsystemen erforderlich sein.

Im Fall der *prozessbezogenen Allokationen* werden Multi-Input- und Multi-Output-Prozesse unterschieden. Die Frage der *systembezogenen Allokation* stellt sich dann, wenn ein Produktsystem neben dem eigentlichen, über die funktionelle Einheit abgebildeten Nutzen, weitere Zusatznutzen erbringt. Dies ist der Fall, wenn das untersuchte Produktsystem Energie- und Materialflüsse für andere Produktsysteme bereitstellt oder Abfälle verwertet.

1.9.1 Allokation auf Prozessebene

Multi-Output-Prozesse

Diese Form der Allokation ist erforderlich, wenn in einem Prozess Kuppelprodukte entstehen, von denen jedoch nur eines im betrachteten Produktsystem verwendet wird. Ein viel zitiertes Beispiel ist die Chloralkalielektrolyse mit den Kuppelprodukten Natriumhydroxid, Chlorgas und Wasserstoff. Natriumhydroxid wird etwa beim Recycling von PET-Flaschen eingesetzt. Würde das Kuppelprodukt Natriumhydroxid die ganze Last der Herstellung tragen, würde auch das PET-Flaschensystem entsprechend stark belastet werden. Die Umweltlasten der Elektrolyse müssen also in „fairer“ Weise zwischen den Kuppelprodukten aufgeteilt werden, damit auch die Produktsysteme, in denen Chlorgas bzw. Wasserstoff eingesetzt wird, entsprechende Anteile der Umweltlast tragen.

Getränkerohton und die benötigten Faserstoffe werden überwiegend in integrierten Werken der Papierindustrie hergestellt, wobei die Produktpalette in der Regel eine Reihe von Papier- oder Kartonprodukten mit unterschiedlicher Faserzusammensetzung umfasst. Dies und die Vernetzung der Energiebereitstellung quer durch die Faserlinien erschwert die Zuordnung von Energieverbrauch und Energieträgern auf einzelne Produkt- und Faserlinien. In

den vorliegenden Datensätzen wurde die entsprechende Allokation von den Anlagenbetreibern selbst durchgeführt. Die bereitgestellten Datensätze sind reine Inventardaten. Die Ausgangsdaten und die auf diese angewandten Allokationsprozeduren lagen den Auftragnehmern nicht vor.

Bei von den Verfassern der Studie selbst erstellten Datensätzen erfolgt die Allokation der Outputs aus Kuppelprozessen in der Regel über die Masse. Bei einigen der Literatur entnommenen Datensätzen wird auch der Heizwert oder der Marktwert als Allokationskriterium verwendet (z.B. der Heizwert bei PlasticsEurope-Daten für Kunststoffe). Die jeweiligen Allokationskriterien werden, soweit sie für einzelne Datensätze von besonderer Bedeutung sind, in der Datenbeschreibung dokumentiert. Bei Literaturdaten wird in der Regel nur auf die entsprechende Quelle verwiesen.

Multi-Input-Prozesse

Multi-Input-Prozesse finden sich insbesondere im Bereich der Entsorgung. Entsprechende Prozesse werden daher so modelliert, dass die durch die Entsorgung der gebrauchten Packstoffe anteilig verursachten Stoff- und Energieflüsse diesen möglichst kausal zugeordnet werden können. Die Modellierung der Beseitigung von zu Abfall gewordenen Packstoffen in einer Müllverbrennungsanlage ist das typische Beispiel einer Multi-Input-Zuordnung. Für die Ökobilanz selbst sind dabei diejenigen In- und Outputs von Belang, die ursächlich auf die Verbrennung der Packstoffe zurückgeführt werden können. Entsprechend der einleitenden Ausführungen zur prozessbezogenen Allokation werden hier vor allem physikalische Beziehungen zwischen Input und Output verwendet⁷.

Transportprozesse zur Distribution

Bei der Distribution gefüllter Verpackungen werden die Umweltlasten zwischen Verpackung und Füllgut unter Berücksichtigung der Auslastung des Transportfahrzeugs alloziert. Das Vorgehen entspricht dem in der Getränkeökobilanz II des Umweltbundesamts und ist in [UBA 2000] dokumentiert.

1.9.2 Allokation auf Systemebene

Die Notwendigkeit einer systembezogenen Allokation stellt sich, wenn das ursprünglich betrachtete Produkt, also Getränkekarton oder PET-Flasche, nach dem Gebrauch einen Zusatznutzen erbringt, der über den in der funktionellen Einheit abgebildeten Nutzen hinaus geht. So werden bei der Aufbereitung von Getränkekartons (Sekundär-) Fasern gewonnen, die für andere Produktsysteme bereitgestellt werden, beispielsweise für die Herstellung von Rollenkernen (Hülsen) oder Faltschachteln. Da das Sekundärmaterial in einem anderen als dem ursprünglichen Produktsystem verwendet wird, spricht man von *open-loop* Recycling (offener Kreislauf).

In dieser Studie erfolgt die Allokation von systembedingten Kuppelprodukten nach der „50:50“-Methode, die auch als Standardverfahren in UBA-II/2 angewendet wurde⁸. Dabei wird der Nutzen für Sekundärmaterialien im Verhältnis 50:50, also paritätisch, zwischen dem abgebenden und dem aufnehmenden System aufgeteilt. Im Fall einer werkstofflichen Verwer-

⁷ für eine detaillierte Beschreibung der Zuordnung von Input/Output am Beispiel der Abfallverbrennung siehe [UBA 2000], S. 82

⁸ [UBA 2002, S. 14-16]

tung von Getränkekartons besteht der Nutzen im Ersatz von Frischfasern. Dem Getränkekartonsystem wird dieser Nutzen bilanztechnisch in Form einer Gutschrift angerechnet. Die Höhe der Gutschrift beträgt dabei 50% des Massenanteils der durch den Einsatz von Sekundärfasern substituierten Frischfaserherstellung.

Die Festlegung von Allokationsfaktoren, besonders im Fall einer Systemallokation, lässt sich nicht alleine mit wissenschaftlichen Erwägungen begründen, sondern stellt eine Konvention dar, in die auch Werthaltungen einfließen. Zur Beurteilung der Ergebnisrelevanz der gewählten Standardverfahrens wird in Sensitivitätsszenarien eine 100:0-Allokation angewendet. Dabei werden Gutschriften für Sekundärmaterialien vollständig dem abgebenden System zugeordnet.

In Abhängigkeit vom Allokationsverfahren sind bestimmte Lenkungswirkungen zu erwarten. So wird bei der 50:50-Methode sowohl den abgebenden als auch aufnehmenden Systemen der gleiche ökobilanzielle Anreiz zu verstärktem Recycling gegeben. Bei der 100%-Methode liegt der Nutzen aus der Abfallverwertung fast ausschließlich beim abgebenden System. Entsprechend ergeben sich Anreize zu verstärktem Recycling auch besonders auf Seiten der abgebenden Systeme.

Die Ergebnisrelevanz beider Allokationsverfahren wurde im Kap. 4.5 geprüft.

In der vorliegenden Studie wird der ursprüngliche UBA-Ansatz jedoch dahin gehend modifiziert, dass nunmehr auch der Bereich „Entsorgung“ im Lebenszyklus 2 (LZ 2) des Sekundärprodukts in der Allokationsmethode berücksichtigt wird. Zur besseren Nachvollziehbarkeit wird dies anhand der Abbildungen 1-3 bis 1-6 kurz skizziert.

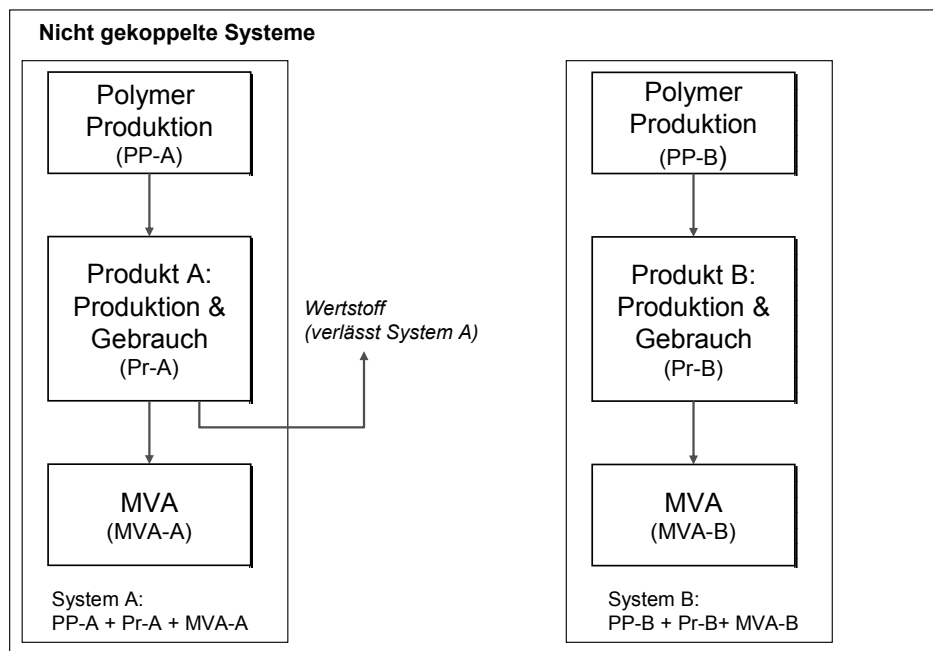


Abbildung 1-3: Schema für nicht gekoppelte Systeme

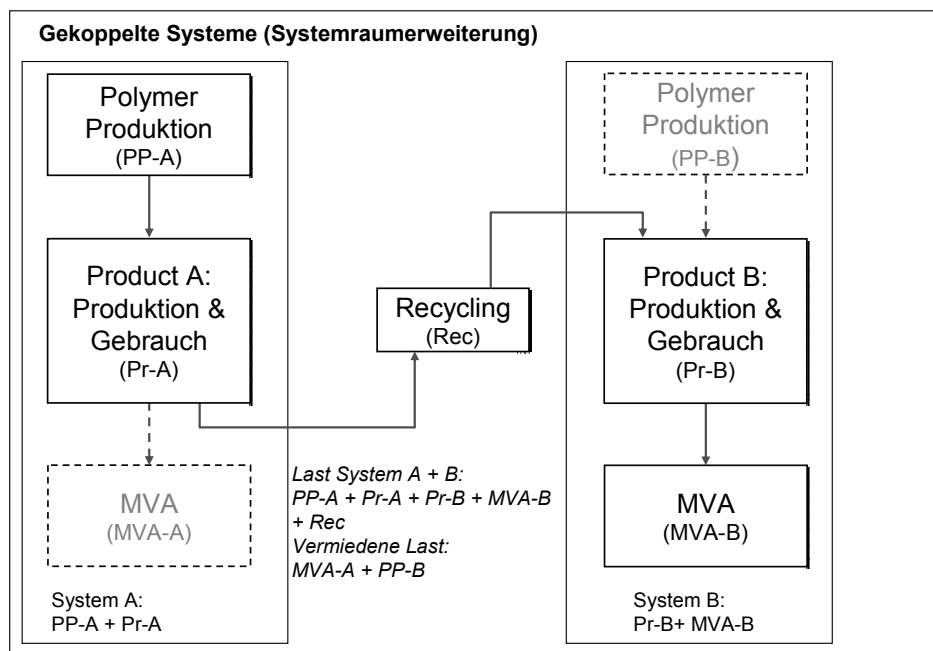


Abbildung 1-4: Schema für gekoppelte Systeme

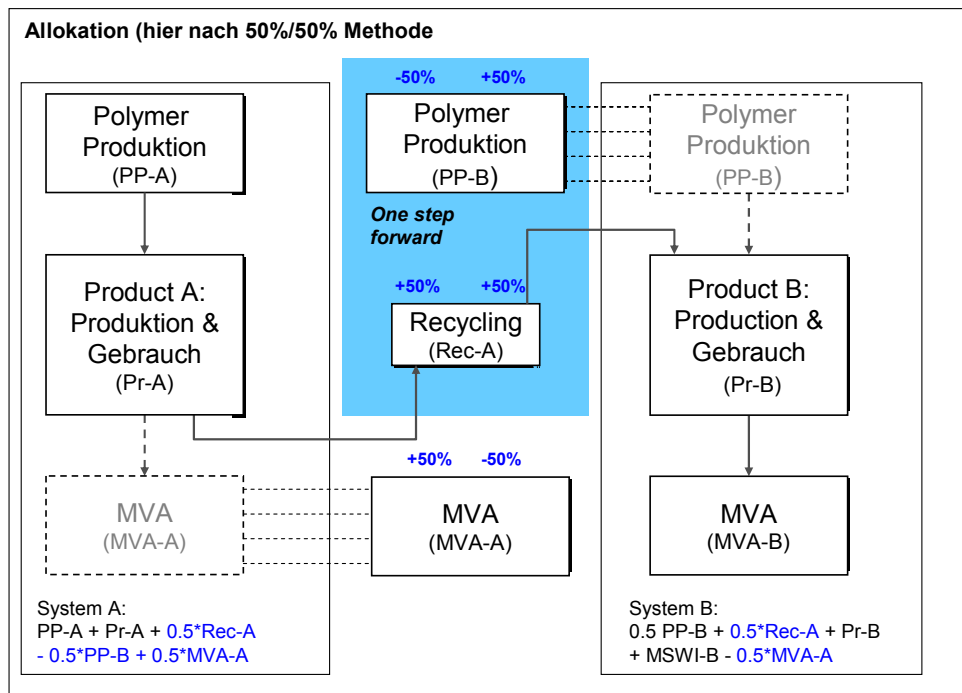


Abbildung 1-5: Schema für gekoppelte Systeme
 (Modellierung: Allokation; one step forward – one step back)

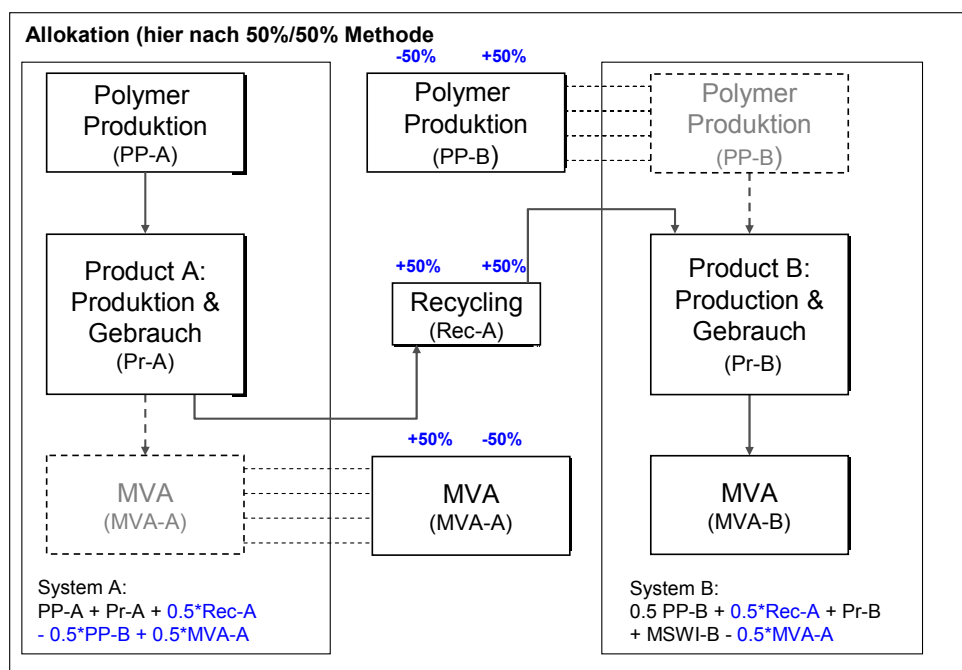


Abbildung 1-6: Schema für gekoppelte Systeme
 (Modellierung: Allokation; inkl. Entsorgung im 2. Lebenszyklus „LZ 2“)

Wie in Abb. 1-3 dargestellt geht man zunächst von zwei jeweils voneinander unabhängigen Systemen A und B aus. Jedes System hat für sich Grundstoffherstellung (hier ein Polymer), Produktion und Beseitigung zu tragen. Der in System A aus Abfall gewinnbare Wertstoff wird hierbei in der Bilanzierung nicht weiter berücksichtigt.

Wird der Wertstoff aus System A jedoch in System B wiederverwertet, wie in Abb. 1-4 dargestellt, so entfällt die Herstellung der entsprechenden Menge Primärmaterial („PP-B“) in System B, allerdings muss zusätzlich die Aufbereitung des Wertstoffs im Zuge des Recyclings (Rec-A) erfolgen.

Durch das Recycling entfällt ebenfalls die Beseitigung von Produkt A im System A. Eine Beseitigung des aus Produkt A zurück gewonnenen Materials wird jedoch in System B fällig (es wird hierbei vorausgesetzt, dass nach der Nutzung in System B kein weiterer Nutzungszyklus erfolgt). Zur konsistenten Betrachtung des Stoffstroms wäre also auch die Beseitigung des Materials im zweiten Lebenszyklus in die Allokation einzubeziehen.

In den UBA-Ökobilanzen geschah dies aus Aufwandsgründen nicht. Es galt das so genannte „one-step-forward/one-step-back“ Prinzip. Dieses Prinzip meint, dass immer nur ein Schritt weiter bilanziert wird. Wie in Abb. 1-5 ersichtlich, betrifft dies die Substitution von Primärmaterial durch Sekundärmaterial. In der Ökobilanz wird dies in Form einer Gutschrift anrechnet. Der weitere Lebensweg wird jedoch nicht berücksichtigt. Damit kann der Aufwand zur Modellierung der Allokation deutlich limitiert werden kann.

Enthält der Vergleich von Produkten implizit einen Vergleich von Materialien aus nachwachsenden und fossilen Rohstoffen kann dieser Ansatz unter Umständen zu kurz greifen und zu Asymmetrien, besonders in der Kohlenstoff-Bilanz, führen.

Daher wurde die Allokationsvorschrift um die Abfallverbrennung im zweiten Lebenszyklus (LZ 2) ergänzt. Das entsprechende Vorgehen und die Rechenvorschrift sind in der Abb. 1-6 schematisch dargestellt.

Der Einfluss dieser Modifikation des Allokationsverfahrens wurde im Kapitel 5.5 beispielhaft geprüft.

1.10 Vorgehen bei Wirkungsabschätzung und Auswertung

1.10.1 Umweltindikatoren

Die Wirkungsabschätzung in der vorliegenden Studie erfolgt anhand der nachfolgend aufgelisteten Wirkungskategorien⁹:

A) Ressourcenbezogene Kategorien

- Beanspruchung fossiler Ressourcen
- Naturraumbeanspruchung Forst

B) Emissionsbezogene Kategorien

- Treibhauseffekt
- Terrestrische Eutrophierung
- Versauerung
- Sommersmog (als POCP)
- Aquatische Eutrophierung

Mit der Aufspaltung der Wirkungskategorie Eutrophierung in eine getrennte Betrachtung der aquatischen und terrestrischen Eutrophierung wird den in beiden Bereichen unterschiedlichen Wirkungsmechanismen Rechnung getragen.

Die für die betrachteten Kategorien angewendeten Wirkungsmechanismen sind (mit Ausnahme der Naturraumbeanspruchung Forst) wissenschaftlich begründet und mit Bezug aus den Sachbilanzdaten üblicherweise auch gut umsetzbar. Dies bestätigt auch ihre weit verbreitete Verwendung in nationalen und internationalen Ökobilanzen. Es kann hier also durchaus von einer allgemeinen Akzeptanz dieser Wirkungskategorien gesprochen werden¹⁰. Sie können als in der ökobilanziellen Praxis standardmäßig verwendete Umweltwirkungskategorien betrachtet werden.

Hinsichtlich der Bewertung der Naturraumbeanspruchung findet man in der Ökobilanzpraxis unterschiedliche Ansätze und Vorgehensweisen. Die wissenschaftliche Diskussion bewegt sich unter anderem um die Frage, wie eine festgestellte Flächennutzung ökologisch zu bewerten ist.

Auch die Wirkungskategorien Human- und Ökotoxizität sind zu den „Standard-Kategorien“ der Ökobilanzierung zu zählen. Auch hier gibt es eine Reihe von unterschiedlichen Ansätzen zu deren Berücksichtigung im Rahmen der Wirkungsabschätzung. Die Kritikpunkte an den verwendeten Modellen sind jedoch so weitgehend, dass eine Harmonisierung nicht unmittelbar zu erwarten ist. Zudem gibt es in diesem Bereich häufig auch schon auf der Sachbilanz-

⁹ Da in den untersuchten Systemen Ozon zerstörende Substanzen nicht in relevanten Mengen freigesetzt werden, wurde hier aus Aufwandsgründen auf die Berücksichtigung dieser Wirkungskategorie verzichtet.

¹⁰ In der ökobilanziellen Praxis ist es kaum möglich, eine vollständige Einschätzung aller Umweltthemen vorzunehmen. In der vorliegenden Studie findet allein schon durch die Vorauswahl einzelner Umweltthemen eine diesbezügliche Einschränkung statt. Die wünschenswerte breite Betrachtung möglichst vieler Umweltthemen scheitert häufig an der unterschiedlichen Qualität der verfügbaren Sachbilanzdaten und der ebenso unterschiedlichen wissenschaftlichen Akzeptanz der einzelnen Wirkmodelle.

ebene Probleme wie z.B. unvollständige Inventardaten, die letztlich zu Fehlinterpretationen führen können.

Die Human- und Ökotoxizität wurden in dieser Studie im Rahmen der Wirkungsabschätzung aus den genannten Gründen nicht ausgewertet.

An dieser Stelle wird explizit darauf hingewiesen, dass die Wirkungsabschätzung ein Analyseinstrument im Rahmen der Ökobilanz darstellt. Die Ergebnisse basieren teilweise auf Modellannahmen und bisherigen Kenntnissen über bestimmte Wirkungszusammenhänge und sind im Gesamtzusammenhang zu betrachten. Es handelt sich keinesfalls um Voraussagen z.B. über konkrete Wirkungen, Schwellenwertüberschreitungen oder Gefahren, die durch die untersuchten Produktsysteme verursacht werden.

Die genannten Wirkungskategorien werden im Anhang 1 ausführlich beschrieben. Mit der Zuordnung der für die einzelnen Wirkungskategorien relevanten Indikatoren in Tabelle 1-1 soll jedoch vorab schon der Zusammenhang zwischen den Sachbilanzdaten und den im Rahmen der Wirkungsabschätzung ermittelten Wirkungspotentialen sowie den als Messgröße verwendeten Wirkungsindikatoren verdeutlicht werden.

Tabelle 1-1: Zuordnung der im Projekt erhobenen Sachbilanzparameter (zur Erläuterung der Wirkungskategorien siehe auch Anhang 1)

Wirkungskategorie	Sachbilanzparameter	Einheit des Wirkungsindikators
Ressourcenbeanspruchung	Rohöl, Rohgas, Braunkohle, Steinkohle	kg Rohöläquivalente
Naturraumbeanspruchung	Flächenkategorie II-V	m ²
Treibhauseffekt	CO ₂ fossil, CH ₄ , CH ₄ regenerativ, N ₂ O, C ₂ F ₆ , CF ₄ , CCl ₄	kg CO ₂ -Äquivalente
Eutrophierung (terrestrisch)	NO _x , NH ₃	kg PO ₄ ³⁻ -Äquivalente
Versauerung	NO _x , SO ₂ , H ₂ S, HCl, HF, NH ₃ , TRS	kg SO ₂ -Äquivalente
Fotosmog ~ Ozonbildung (bodennah)	NMVOC, VOC, Benzol, CH ₄ , Acetylen, Ethanol, Formaldehyd, Hexan, Toluol, Xylol, Aldehyde un spez.	kg Ethen-Äquivalente
Eutrophierung (aquatisch)	P-ges., CSB, N-ges., NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , N un spez.	kg PO ₄ ³⁻ -Äquivalente

Die Aggregation der Ressource Energie erfolgt neben der oben genannten „Beanspruchung fossiler Ressourcen“, die auch die Endlichkeit der Primärenergieträger berücksichtigt, auch über die primärenergetische Bewertung des Energieaufwandes in Form des KEA. Der Begriff des KEA (Kumulierter Energieaufwand) drückt dabei die Summe der Energieinhalte aller bis an die Systemgrenzen zurückverfolgten Primärenergieträger aus. Der Energieinhalt wird durchgehend in Megajoule (MJ) angegeben, was gegebenenfalls durch Einheitenumrechnung erreicht wird.

Der KEA ist eher als Informationsgröße zu verstehen, die Auskunft über die Energieintensität eines Systems gibt.

1.10.2 Optionale Elemente

Nach ISO 14042 (§6) kann die Auswertung drei optionale Elemente enthalten:

1. Normierung
2. Ordnung
3. Gewichtung

In der vorliegenden Studie wird lediglich die Normierung durchgeführt. Aus Aufwandsgründen kann dies im gegebenen Projektrahmen nur exemplarisch erfolgen.

Bei der hier durchgeführten Normierung werden die wirkungsbezogenen, aggregierten Umweltbelastungen über ihren „spezifischen Beitrag“ in Form von so genannten Einwohnerdurchschnittswerten dargestellt. Diese geben an, welchen mittleren Beitrag ein Einwohner in einem gegebenen geographischen Bezugsraum pro Jahr an den jeweiligen Wirkungskategorien hat. Damit können Informationen zur Relevanz einzelner Kategorien gewonnen werden.

Das Element „Ordnung“ wird in dieser Studie nicht eigens umgesetzt. Alternativ wird auf die in den Getränkeökobilanzen des Umweltbundesamts erfolgte Einstufung der Wirkungskategorien Bezug genommen.

Tabelle 1-2: Einstufung der ökologischen Priorität in der Getränkeökobilanz des Umweltbundesamtes [UBA 2000]

Wirkungskategorie	Ökologische Priorität (UBA 2000)
Treibhauseffekt	sehr große ökologische Priorität
Fossile Ressourcenbeanspruchung	große ökologische Priorität
Eutrophierung (terrestrisch)	große ökologische Priorität
Versauerung	große ökologische Priorität
Sommersmog (~ bodennahe Ozonbildung)	große ökologische Priorität
Eutrophierung (aquatisch)	mittlere ökologische Priorität
Naturraumbeanspruchung Forst	mittlere ökologische Priorität

Das vom Umweltbundesamt entwickelte Verfahren zur Ordnung beruht auf drei Kriterien. Die ersten beiden Kriterien sind die *ökologischen Gefährdung* und der *Abstand zum Zielwert* (Distance-to-Target). Die entsprechende Einstufung der Wirkungskategorien ist in [UBA 1999] beschrieben. Das dritte Kriterium sind die Ergebnisse der *Normierung*.

Die ersten beiden Kriterien sind unabhängig vom Kontext einer individuellen Ökobilanzstudie. Allerdings kann sich die Prioritätenbildung je nach Normierungsergebnis unterscheiden. Damit ist auch die ökologische Prioritätenbildung Kontext abhängig. Aufgrund vergleichbarer Normierungsergebnisse (s. Kapitel 6-2) ist es jedoch gerechtfertigt die Prioritätenbildung nach Tabelle 1-2 auch in der vorliegenden Studie anzuwenden.

Die Einstufung der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“ durch das Umweltbundesamt zur Bewertung in Ökobilanzen [UBA 1999] beruht teilweise auf Zielvorgaben zur Schutzguterhaltung, die durch den deutschen Kontext geprägt sind.

Eine „Gewichtung“ ist für vergleichende, der Öffentlichkeit zugängliche Ökobilanzen gemäß ISO 14040ff nicht zulässig und verbietet sich daher für die vorliegende Ökobilanz.

2 Untersuchte Verpackungssysteme und Szenarien

Im Rahmen dieser Studie werden Getränkekartons mit PET-Einwegflaschen verglichen, die zur Bereitstellung unterschiedlicher Getränke beim privaten Endverbraucher genutzt werden. Die betrachteten Getränke haben z.T. sehr unterschiedliche Anforderungen an die Barriereigenschaften der Verpackungssysteme, weswegen die Systemvergleiche differenziert für die drei Füllgutgruppen Saft/Nektar, Eistee und Frischmilchgetränke erfolgen. Eine weitere Differenzierung ergibt sich durch die Unterscheidung von kleinvolumigen Verpackungen für den Anwendungsbereich Sofortverzehr und größeren Gebinden im Marktsegment Vorratskauf.

Sowohl bei Getränkekartons als auch bei PET-Flaschen kann generell zwischen Verpackungen mit und ohne speziellen Barriereigenschaften unterschieden werden. Bei Verbundkartons sichert eine dünne Aluminiumlage die ausreichende Gasdichtigkeit der Verpackung für länger haltbare Produkte. Kartons ohne Aluminium werden nur für gekühlt distribuierte Getränke wie Frischmilch und bestimmte Milchmischgetränke eingesetzt, die eine Mindesthaltbarkeit von nur einigen Tagen haben.

Für die Abfüllung empfindlicher Füllgüter in PET müssen Flaschen mit besonderen Barriereigenschaften verwendet werden (vgl. Abschnitt 2.2.1). In dieser Studie betrifft dies Verpackungen für Saft/Nektar. Die Füllgüter Eistee und Frischmilchgetränke können in „einfache“ Monolayer-Flaschen abgefüllt werden, die aus technischer Sicht Verpackungen für Erfrischungsgetränke und Wasser ähnlich sind.

Sowohl Getränkekartons als auch PET-Einwegflaschen werden nach dem Gebrauch zu einem bestimmten Anteil zusammen mit anderen Verpackungsabfällen gesammelt und den im Rahmen der Dualen Systeme organisierten Sortier- und Verwertungsanlagen angedient¹¹. In Abhängigkeit von Verpackungsmaterial und Gebindevolumen ergeben sich unterschiedliche Erfassungs- und Recyclingquoten für die hier untersuchten Getränkeverpackungen.

In dieser Studie wird angenommen, dass Produktions- und Verpackungsabfälle, die mit dem Restabfallstrom entsorgt werden, zur thermischen Behandlung in Müllverbrennungsanlagen verbracht werden. Dies entspricht im Wesentlichen der Situation nach Inkrafttreten der Abfallablagereungsverordnung zum 1. Juni 2005, wonach die Deponierung unbehandelter Haushaltsabfälle nicht mehr zulässig ist.

Die Modellierung der Verpackungssysteme sowie die Auswertungen zur Sach- und Wirkungsbilanz erfolgen mit Hilfe der Software UMBERTO® 5.

2.1 Verpackungssysteme des Getränkekartons

Untersuchungsgegenstand dieser Studie sind Getränkekartonsysteme mit Füllvolumina von 1000 mL und 1500 mL (Vorratshaltung) sowie 200 mL und 500 mL (Sofortverzehr). Getränkekartons bestehen aus einem Verbund von Getränke-Rohkarton (*Liquid Packaging Board*) und Polyethylen (LDPE). Bei Verpackungen für länger haltbare Produkte wird zusätzlich eine Aluminiumlage eingearbeitet. Die jeweiligen Anteile dieser Verpackungsmaterialien in einem

¹¹ Die betrachteten Füllgutgruppen Saft und Milch/Milchmischgetränke unterliegen nicht dem Pfandpfand für Einwegverpackungen. Zum 1. Mai 2006 wurde die Pfandpflicht auf „Erfrischungsgetränke ohne Kohlensäure“ ausgeweitet, wozu auch Eistee zählt. Die entsprechenden Einwegverpackungen müssen seither über den Handel zurückgenommen werden, sofern sie nicht – wie Getränkekartons – als „ökologisch vorteilhaft“ klassifiziert sind. Da sich diese Studie auf das Jahr 2005 bezieht, werden hier die zu diesem Zeitpunkt gültigen Verwertungswege für PET-Flaschen über Duale Systeme betrachtet.

konkreten Getränkekartontyp unterscheiden sich je nach Füllgut, Hersteller, Verpackungstyp und -größe.

Die in der vorliegenden Studie für die Bilanzierung der Getränkekartons zu Grunde liegenden Verpackungsdefinitionen und Palettenschemata sind in den Tabelle 2-1 bis 2-3 zusammengestellt.

2.1.1 Verpackungsspezifikationen Getränkekarton

Für den deutschen Markt im Jahr 2005 wurde die durchschnittliche Materialzusammensetzung von Getränkekartons getrennt nach den 3 untersuchten Füllgütern für die jeweiligen Kartongrößen hergeleitet. Dazu wurden die Verpackungsdaten bei den drei Herstellern (Tetra Pak, SIG Combibloc und Elopak) erfragt und ein gewichteter Mittelwert mit den Marktanteilen der einzelnen Verpackungstypen gebildet. Die in den Tabellen aufgelisteten Verpackungsgewichte sind somit generische Werte und bilden nicht (unbedingt) eine individuelle im Handel befindliche Verpackung ab.

Angaben zum Gewichtsanteil der trockenen Druckfarbe am Verbundmaterial liegen nur von einem der drei Hersteller vor. Da der Massenanteil bei rund 0,5% des Kartonverbundes liegt, ist für diesen Materialstrom das Abschneidekriterium wirksam. Die Herstellung der Druckfarbe wird in dieser Studie nicht berücksichtigt¹².

¹² *Anmerkung:* Auch in den Verpackungs-Ökobilanzen des Umweltbundesamtes [UBA 2000], [UBA 2002] wurde die Bereitstellung von Druckfarbe nicht berücksichtigt. Der Energieaufwand für den Druckprozess selbst und die damit einhergehenden Emissionen sind jedoch in den Prozessdaten zur Verbundherstellung enthalten.

Tabelle 2-1 Spezifikationen der bilanzierten Verpackungssysteme des Getränkekartons mit Aluminiumlage im Marktsegment Vorratshaltung.
Primärverpackung: Gewichtete Mittelwerte für 2005.

Vorratshaltung: Getränkekartons mit Aluminiumlage	Saft/Nektar 1000 mL ohne Verschluss	Saft/Nektar 1000 mL mit Verschluss	Saft/Nektar 1500 mL mit Verschluss	Eistee 1500 mL mit Verschluss
Primärverpackung	26,71 g	31,50 g	43,90 g	43,53 g
Verbundmaterial, davon:	26,71 g	28,83 g	40,71 g	41,35 g
-Rohkarton	19,52 g	21,37 g	30,94 g	31,59 g
-LDPE	5,73 g	5,89 g	7,88 g	7,82 g
-Aluminium	1,35 g	1,45 g	1,74 g	1,79 g
-Aufdruck	0,13 g	0,13 g	0,15 g	0,15 g
Verschluss (HDPE)	-	2,66 g	3,19 g	2,17 g
Umverpackung				
Wellpappe-Tray	128 g	128 g	134 g	134 g
Transportverpackung				
Palette (Euro-Palette, Holz)	24.000 g	24.000 g	24.000 g	24.000 g
Palettenfolie (LDPE)	280 g	280 g	280 g	280 g
Palettenschema				
Kartons pro Tray	12	12	8	8
Trays pro Lage	12	12	16	16
Lagen pro Palette	6	5	4	4
Kartons pro Palette	864	720	512	512

Aus technischer Sicht besteht bei Getränkekartons zur Abfüllung von Eistee und Saft/Nektar kein Unterschied hinsichtlich der Anforderungen des Füllgutes an die Verpackung. Prinzipiell können die gleichen Kartontypen verwendet werden. Die geringen Unterschiede bei den Verpackungsspezifikationen der betrachteten 1500 mL-Gebinde ergeben sich durch unterschiedliche Marktgewichtungen (Tabelle 2-1).

Tabelle 2-2 Spezifikationen der bilanzierten Verpackungssysteme des Getränkekartons mit Aluminiumlage im Marktsegment Saft/Nektar - Sofortverzehr. Primärverpackung: Gewichtete Mittelwerte 2005.

Sofortverzehr: Getränkekartons mit Aluminiumlage	Saft/Nektar 500 mL mit Verschluss	Saft/Nektar 200 mL mit Trinkhalm
Primärverpackung	21,83 g	8,60 g
Verbundmaterial, davon:	18,47 g	8,21 g
-Rohkarton	13,18 g	5,71 g
-LDPE	4,16 g	1,92 g
-Aluminium	1,03 g	0,53 g
-Aufdruck	0,10 g	0,05 g
Verschluss (HDPE) ^{*)}	3,36 g	-
Trinkhalm und Blister (PP)	-	0,39 g
Umverpackung		
Wellpappe-Tray	105 g	100 g
Schrumpffolie (LDPE)	-	3,8 g (pro 10er Stange)
Transportverpackung		
Palette (Euro-Palette, Holz)	24.000 g	24.000 g
Palettenfolie (LDPE)	280 g	280 g
Palettenschema		
Kartons pro Tray	12	6 x 10
Trays pro Lage	20	10
Lagen pro Palette	6	5
Kartons pro Palette	1.440	3.000

^{*)} ohne Berücksichtigung von Verpackungen mit Pull Tab und Trinkhalm

Tabelle 2-3 Spezifikationen der bilanzierten Verpackungssysteme des Getränkekartons für Frischmilchgetränke mit kurzer Haltbarkeit (ohne Aluminiumlage).
Primärverpackung: Gewichtete Mittelwerte 2005.

Getränkekartons für gekühlt distribuierte Milchprodukte	Frischmilch 1000 mL ohne Verschluss	Frischmilch 1000 mL mit Verschluss	Frischmilch/ Milchmischgetränke 500 mL mit Verschluss
Primärverpackung	27,44 g	30,95 g	20,57 g
Verbundmaterial, davon:	27,44 g	28,45 g	18,03 g
-Rohkarton	23,74 g	23,39 g	14,58 g
-LDPE	3,57 g	4,93 g	3,35 g
-Aufdruck	0,13 g	0,13 g	0,10 g
Verschluss (HDPE)	-	2,50 g	2,54 g
Umverpackung			
Wellpappe-Tray	125 g	150 g	105 g
Transportverpackung			
Palette (Euro-Palette, Holz)	24.000 g	24.000 g	24.000 g
Palettenfolie (LDPE)	280 g	280 g	280 g
Palettenschema			
Kartons pro Tray	10	10	12
Trays pro Lage	15	15	20
Lagen pro Palette	5	5	5
Kartons pro Palette	750	750	1.200

Von den Herstellerfirmen wurden vollständige Marktzahlen für die betrachteten Füllgüter bereitgestellt, die nach den einzelnen Kartontypen aufgeschlüsselt sind. In die Mittelwertbildung flossen demnach neben Kartons in klassischer Block- und Giebelform auch die neueren Entwicklungen in Säulenform oder mit Kunststoffoberseite mit ein. In Summe repräsentiert diese Studie rund 4,4 Mrd. Kartonverpackungen in die rund 4 Mrd. Liter Getränke abgefüllt wurden.

Die Gewichte der einzelnen Kartontypen unterscheiden sich z.T. sehr deutlich. In Abbildung 2-1 ist diese Variabilität in Abhängigkeit vom Füllgut und Packungsvolumen dargestellt. Dabei wurden Kartontypen, die mit unterschiedlichen Verschlussvarianten ausgestattet werden, separat dargestellt. Die Grafik enthält auch die abgeleiteten Mittelwerte, die den Gewichten der Primärverpackung in den Tabelle 2-1 bis 2-3 entsprechen. Für Kartons mit 1000mL Füllvolumen (Saft/Nektar und Frischmilch) wurden jeweils zwei Mittelwerte berechnet, mit und ohne Verschluss. Bei den Varianten ohne Ausgusshilfe wurden nur Kartontypen berücksichtigt, die auch tatsächlich ohne Verschluss verwendet werden.

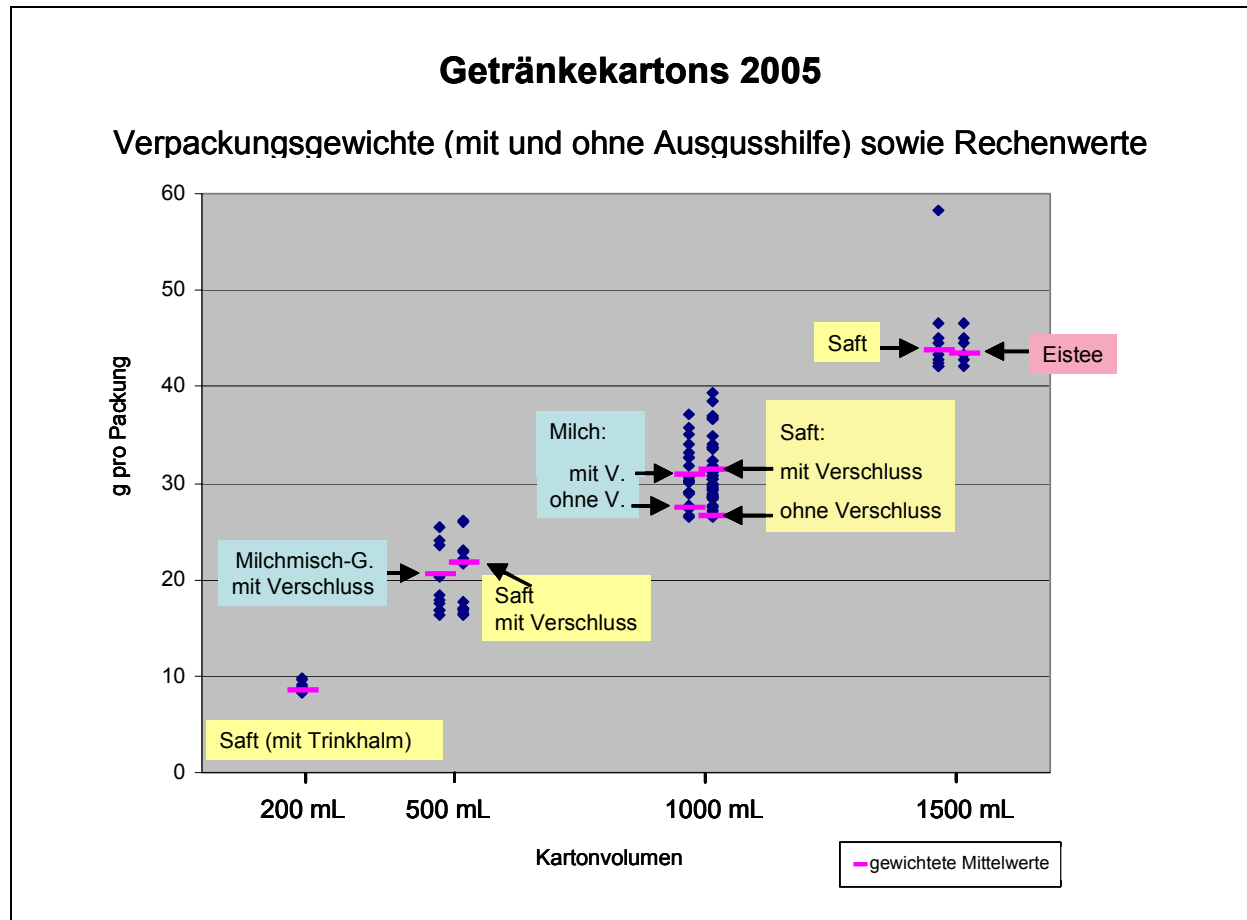


Abbildung 2-1: Verpackungsgewichte und abgeleitete Mittelwerte von Getränkekartons in Abhängigkeit von Füllgut und Kartenvolumen

Die größte Vielfalt an Verpackungstypen und -gewichten besteht bei Kartons mit 1000 mL Volumen für den Füllgutbereich Saft/Nektar. Im Jahr 2005 wurden in Deutschland 11 verschiedene Kartontypen verwendet. Aus der Kombination von Verbundgewicht und unterschiedlichen Verschlüssen ergeben sich insgesamt 35 Varianten (Abbildung 2-2). Mit 1,3 Mrd. verkauften Einheiten hat das Marktsegment der 1000 mL-Kartons für Saft/Nektar mengenmäßig die größte Relevanz der in dieser Studie betrachteten Kartonverpackungen.

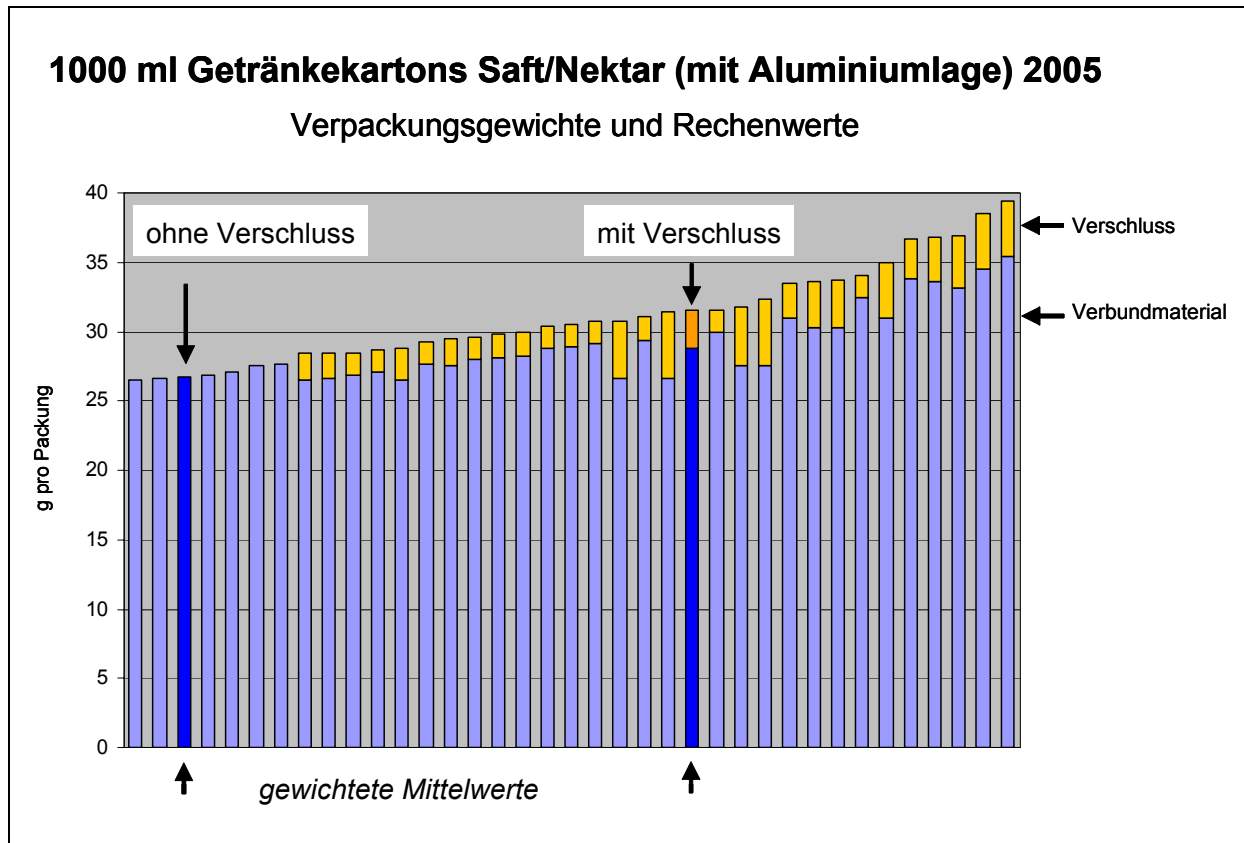


Abbildung 2-2: In Deutschland verwendete Getränkekartonsysteme für Saft/Nektar

Die Verpackungsgewichte für 1000 mL-Kartons für Saft/Nektar liegen zwischen 26,5 und 39,4 g. Neben der Variabilität der Verpackungs- und Verschlussgewichte zeigt Abbildung 2-2 auch die abgeleiteten Rechenwerte (dunklere Färbung; Verpackungsgewicht mit Verschluss: 31,5 g). Daraus kann abgeleitet werden, dass in 2005 schwere Verpackungstypen (> 35 g) nur in relativ geringem Umfang verwendet wurden.

Die Ausprägung der ökobilanziellen Ergebnisse des Getränkekartons unter Einbeziehung der existierenden Bandbreite an Verpackungstypen wird in Kap. 6.1 gesondert diskutiert.

Ausgusshilfe

Die Mehrzahl der gegenwärtig verwendeten Getränkekartons haben Ausgusshilfen aus Kunststoff (PE, PP). Die Ausstattungsquote und die verwendeten Typen sind abhängig von Füllgut und Verpackungsgröße (Abbildung 2-3). Kleinere Gebinde für Saft/Nektar werden mit Trinkhalmen ausgeliefert, größere Kartons sind zumeist mit unterschiedlich schweren Klapp- oder Schraubverschlüssen ausgestattet. Ein Sonderfall sind Saftverpackungen mit 500 mL Volumen, die zu rund einem Drittel mit „Pull Tab“ ausgeliefert werden. Dabei handelt es sich um eine sehr leichte Abreißlasche (< 0,1 g) aus Aluminiumverbund, die eine ausgestanzte Öffnung versiegelt.

Rund zwei Drittel der Kartons für Frischmilch mit 500 mL Füllvolumen werden als Giebelverpackungen ohne Verschluss ausgeliefert. Bei 1000 mL Gebinden für Frischmilch und Saft/Nektar liegen die Ausstattungsquoten bei 94 bzw. 95%. Größere Verpackungen werden nur mit Verschluss angeboten.

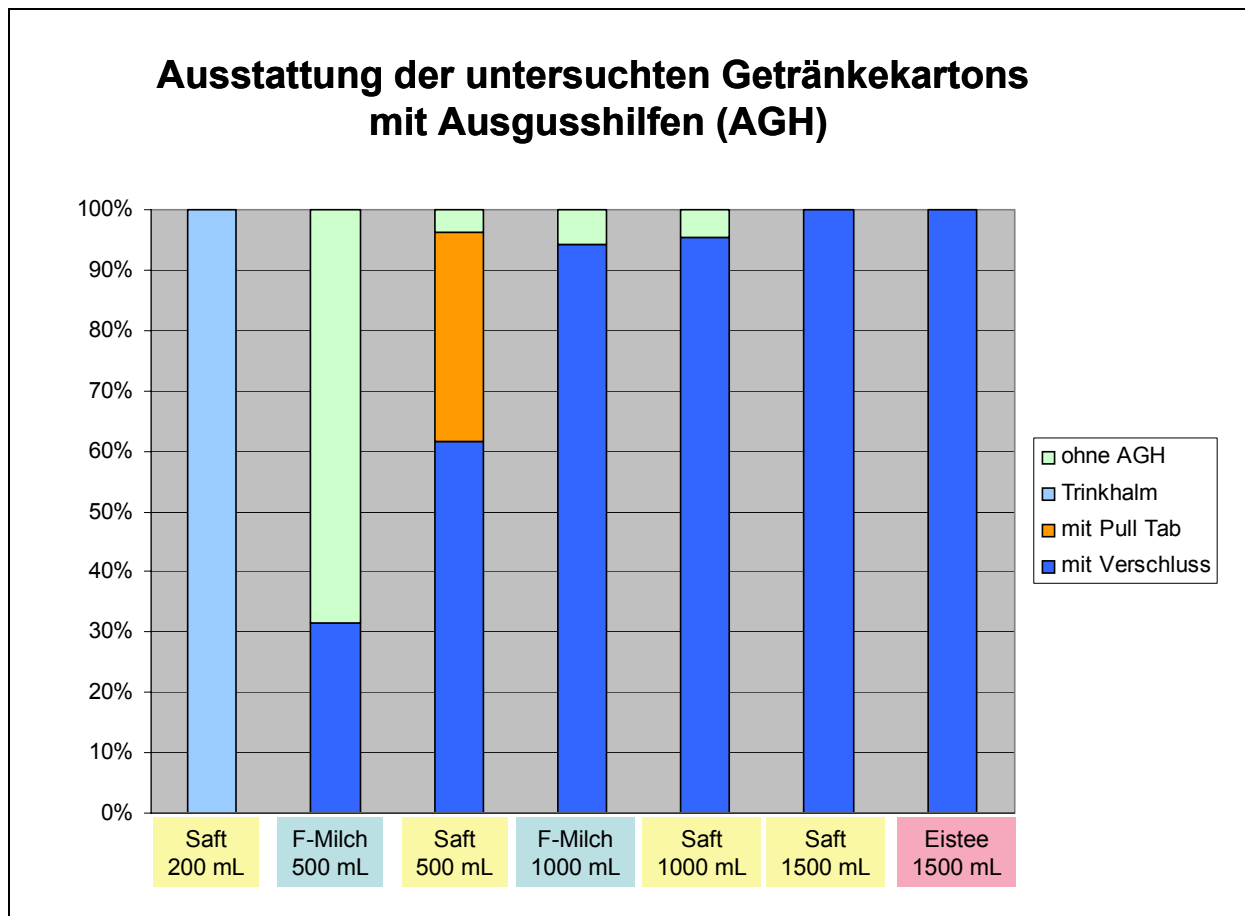


Abbildung 2-3: Durchschnittliche Ausstattung von Getränkekartons mit Ausgusshilfen (AGH) in Abhängigkeit von Füllgut und Verpackungsgröße

Sekundärverpackung

Bestandteil des Verpackungssystems Getränkekarton ist auch die Umverpackung, die im Wesentlichen aus Wellpappe-Trays besteht und in Abhängigkeit vom Füllvolumen der Getränkekartons eine unterschiedliche Anzahl von Verpackungseinheiten enthält. Schrumpffolien kommen in Deutschland nur bei 200 mL Verpackungen für Saft/Nektar zum Einsatz (Tabelle 2-2), die in 10er Stangen mit LDPE-Folie umhüllt werden.

Die Auswahl der Wellpappe-Trays liegt in der Verantwortlichkeit des einzelnen Abfüllbetriebes, orientiert sich jedoch an Richtlinien der Getränkekartonhersteller. Die hier angesetzten Werte wurden aus Informationen von relevanten Abfüllbetrieben und den beteiligten Verbundherstellern abgeleitet und können als typisch für die jeweiligen Verpackungssysteme angesehen werden. Wegen der Vielzahl von Abfüllern können in der Praxis jedoch Unterschiede zu den hier verwendeten Daten auftreten.

Die Ausstattung von Getränkekartons mit Verschlüssen hat u.U. auch Einfluss auf die Umverpackung und die Anzahl von Verpackungen pro Palette. In dieser Studie wird angenommen, dass die Paletten bei 1000 mL Saft-Kartons ohne Verschluss 6 Lagen hoch beladen werden (vgl. Tabelle 2-1, entsprechendes Verpackungssystem 16 in UBA-II/1). Nach Auskunft von Getränkeherstellern werden diese Verpackungen in der Praxis nur 5 Lagen hoch bela-

den, wenn sie mit Verschlüssen ausgestattet sind. Dennoch ermöglicht auch dieses Palettschema die volle Auslastung der Nutzlast der in der Distribution eingesetzten LKWs.

Bei Frischmilch wurde angenommen, dass Wellkartons für 1000 mL-Verpackungen mit Verschluss im Durchschnitt etwas schwerer sind (150 g pro 10er Tray gegenüber 125 g ohne Verschluss; vgl. Tabelle 2-3). Für Frischmilch werden überwiegend Giebelverpackungen verwendet, die bei Ausstattung mit Verschlüssen höhere Anforderungen an die Sekundärverpackung stellen, um eine ausreichende Stabilität beim Transport zu gewährleisten. So kommen bei Frischmilch häufig Vollkartons (mit Deckel) zum Einsatz, die schwerer sind als die für Blockpackungen üblichen halb hohen Trays.

2.1.2 Verwertung gebrauchter Getränkekartons

Getränkekartons werden nach dem Gebrauch zum Teil über die Sammel- und Verwertungsstrukturen der Dualen Systeme erfasst. Ziel des werkstofflichen Recyclings ist die Gewinnung von Papierfasern, die zur Herstellung von Verpackungen eingesetzt werden können. Garantiegeber für die Verwertung der gesammelten Kartons ist die ReCarton GmbH, ein 100% Tochterunternehmen des FKN.

Die „offizielle“, d.h. für den Verpackungsnachweis gemäß VerpackVO anerkannte stoffliche Verwertungsquote liegt seit einigen Jahren bei 65%, bezogen auf die Gesamtmenge der in Deutschland in Verkehr gebrachten Getränkekartons¹³. Diese Quote wurde auch als Modellierungsgrundlage in der vorliegenden Studie verwendet, analog zum Vorgehen in [IFEU 2004a]¹⁴. Darüber hinaus werden, wie eingangs im Kapitel 2 schon beschrieben, die restlichen 35% der nicht stofflich verwerteten Kartons in Müllverbrennungsanlagen thermisch behandelt.

In den Sortieranlagen werden Getränkeverbundkartons „positiv sortiert“ und einer eigenen Zielfraktion zugewiesen. Die Sortiertiefe der Verbundkartons (= positive Erkennung und Sortierung) liegt im Mittel bei rund 90%, die übrigen 10% werden zusammen mit anderen Sortierresten thermisch behandelt. Die **Erfassungsrate** gebrauchter Kartons ergibt sich somit rechnerisch aus der Verwertungsquote, unter Berücksichtigung der Sortiertiefe und beträgt im Mittel 72,5% der verkauften Verpackungen.

Bei Dualem System und FKN liegen keine Informationen darüber vor, ob in Abhängigkeit vom Kartontyp unterschiedliche Erfassungsquoten bestehen. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Sammlung kleinvolumiger Verpackungen, die häufig für den „Unterwegs-Verzehr“ genutzt werden, geringer ist als bei Einheiten im Marktsegment Vorratskauf. Um diesen Sachverhalt zu berücksichtigen, wurden in Abstimmung mit dem Projektbeirat Abschlüsse bei den Sammelquoten von Verpackungen mit 500 mL (-10%) und 200 mL Füllvolumen (-20%) angenommen (vgl. Tabelle 2-4). Hinsichtlich der nicht getrennt gesammelten Getränkekartons wurde angenommen, dass sie über die Restmülltonne entsorgt werden.

Eine füllgutabhängige Differenzierung ist sachlich nicht begründbar.

¹³ vgl. Homepage des FKN: www.getraenkekarton.de

¹⁴ Erst nach Abschluss der ökobilanziellen Berechnungen wurde die „offizielle“ Verwertungsquote für das Jahr 2005 publiziert. Sie liegt nach Angaben des FKN bei 66%.

Tabelle 2-4 Erfassung und Recycling gebrauchter Getränkekarton in Abhängigkeit von der Packungsgröße

Verwertung von Getränkekartons	1500 mL	1000 mL	500 mL	200 mL
Sammelquote	72,5%	72,5%	65%	58%
Abweichung von mittlerer Erfassungsquote ¹⁾	-	-	(-10%)	(-20%)
Sortiertiefe ²⁾	90%	90%	90%	90%
Verwertungsquote	65% ³⁾	65% ³⁾	58,5%	52%

Quellen: ¹⁾ Annahme IFEU (Konsens im Projektbeirat)

²⁾ DSD

³⁾ FKN (vorläufige mittlere Verwertungsquote für 2005, entsprechend der Vorjahre)

Hinsichtlich der Entsorgung der Ausgusshilfen wird angenommen, dass die Verschlüsse bei 80% der zum Recycling erfasst Kartons vorhanden sind. Dabei wurde berücksichtigt, dass Klappverschlüsse wegen der festen Verbindung in der Regel vollständig zusammen mit dem Verbundmaterial entsorgt werden. Bei Verpackungen mit Schraubverschluss ist mit einem größeren Verlust von Schraubkappen zu rechnen, allerdings verbleibt auch hier der Verschlussfuß auf dem Karton.

2.2 Verpackungssysteme der PET-Einwegflasche

In dieser Studie werden PET-Einwegflaschen mit Füllvolumina von 1000 mL und 1500 mL (Vorratshaltung) sowie 330 mL und 500 mL (Sofortverzehr) untersucht.

Zur Ableitung repräsentativer Verpackungsspezifikationen konnte – anders als bei Getränkekartons – nicht auf Marktzahlen zur Mittelwertbildung zurückgegriffen werden, da kein entsprechender Zugang zu den benötigten Daten besteht. Die Vielzahl von Preform- und Flaschenherstellern erschweren zusätzlich die Einschätzung des Gesamtmarktes.

Die Auswahl der hier untersuchten PET-Einwegflaschen orientiert sich daher an Flaschentypen, die im Jahr 2005 in Deutschland eingesetzt wurden und aufgrund des Marktanteils als repräsentativ im jeweiligen Anwendungsbereich angesehen werden können. Eine Ausnahme stellt die 1000 mL Milchflasche dar. Dieses Verpackungssystem existiert gegenwärtig nicht in Deutschland, wird aber beispielsweise in Polen und Italien eingesetzt.

Die in den Tabelle 2-5 und 2-6 aufgeführten Flaschengewichte und Verpackungsspezifikationen beruhen auf Informationen von Getränkeherstellern, sowie der Marktkennntnis der im Projektbeirat vertretenen Firmen. Mit einzelnen Testkäufen wurde die Gültigkeit der ausgewählten Rechenwerte zusätzlich überprüft. Das Heranziehen konkreter Flaschentypen für die Systemvergleiche erscheint auch deshalb als angemessen, weil in den betrachteten Marktsegmenten im Jahr 2005 nur von wenigen Anbietern PET-Flaschen in relevanten Mengen verwendet wurden.

Die Sekundärverpackung von PET-Einwegflaschen besteht in der Regel aus einer LDPE-Folie, die als Schrumpfpack jeweils 6 Flaschen umhüllt. Zur Erhöhung der Transportstabilität werden die einzelnen Palettenlagen mit Zwischenlagen aus Wellpappe getrennt. Die beladenen Paletten werden zur Transportsicherung mit Folie (LDPE) umhüllt.

2.2.1 PET-Flaschen für Saft/Nektar

Die wichtigste Eigenschaft von PET-Flaschen, die zur Verpackungen von Saft/Nektar verwendet werden, ist die Gewährleistung eines ausreichenden Schutz des Füllgutes vor eindringendem Luftsauerstoff. Sauerstoff hat negativen Einfluss auf Geschmack und Vitamine und kann zudem das Wachstum bestimmter Mikroorganismen ermöglichen.

Die Gasdurchlässigkeit „einfacher“ PET-Flaschen ist zu hoch, um empfindliche Füllgüter über den geforderten Mindesthaltbarkeitszeitraum von 6 Monaten oder mehr zu schützen. Die Barriereigenschaften von PET-Flaschen können durch unterschiedliche technische Maßnahmen verbessert werden, die im Folgenden kurz dargestellt werden¹⁵.

Einsatz von Additiven

Die Gasdurchlässigkeit von Monolayer-Flaschen kann durch die Zugabe von Additiven im PET-Granulat verringert werden. Dazu können unterschiedliche Materialien zum Einsatz kommen, die auf passive (physikalische) oder aktive (chemische) Art als Sauerstoffbarriere fungieren. Gegenwärtig wird als Additiv am häufigsten Nylon (Polyamid (PA) unter der Markenbezeichnung MDX6) eingesetzt.

Aktiv wirkende Additive fungieren als Absorber und binden eindringenden Sauerstoff, bzw. Restsauerstoff aus dem Füllgut oder Kopfraum der Verpackung. Diese auch als *scavenger* bezeichneten Materialien werden z.T. auch zur Verbesserung der Barriereigenschaften von Verschlüssen verwendet.

Multilayer-Flaschen

Multilayer-Flaschen bestehen aus mehreren Schichten, wobei typischerweise eine Kunststofflage mit höheren Barriereigenschaften von zwei PET-Schichten umschlossen wird. Die Einarbeitung der Barrierschicht erfolgt während des Spritzgießens der Flaschen-Preform (*co-injection*). Das Erscheinungsbild der Multilayer-Flaschen kann - wie anderen PET-Flaschen auch - klar oder (farbig-) transparent sein.

Das am häufigsten verwendete Barrierematerial für Multilayer-Flaschen ist Polyamid (MDX6), möglich sind aber auch andere Substanzen wie Ethyl-Vinyl-Alkohol (EVOH). Gegenwärtig – und wohl auch für die nähere Zukunft - sind Multilayer-Flaschen die Standardlösung für die Abfüllung von Saft in PET.

Beschichtung von PET-Flaschen

Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Gasdichtigkeit von PET-Flaschen ist die äußere oder innere Beschichtung von Monolayer-Flaschen mit Barrierematerialien. Die Innenbeschichtung erfolgt mittels Vakuum-Technologie. Dabei wird entweder eine dünne Lage Siliziumoxid ($0,01\text{-}0,1\ \mu\text{m SiO}_x$) oder inerte organische Verbindungen auf der Flascheninnenseite abgeschieden. Durch den sehr geringen Einsatz von Fremdmaterial sind solche PET-Flaschen besser für ein hochwertiges stoffliches Recycling geeignet als Flaschen mit Polyamid-Anteil.

Hinsichtlich der Barriereigenschaften sind beschichtete Flaschen und Multilayer-Flaschen vergleichbar. Die Gasdichtigkeit beider Typen ist höher als die von Flaschen mit Additivzusatz, weswegen diese häufig für weniger anspruchsvolle Füllgüter verwendet werden. Dies gilt für Getränke, bei denen eine kurze Haltbarkeit in Kauf genommen wird oder für bestimmte Arten von Saft/Nektar, die weniger empfindlich sind.

¹⁵ Eine übersichtliche Darstellung gegenwärtiger Barrieretechnologien bei PET-Flaschen findet sich in [Hartwig 2006].

2.2.1.1 Bilanzierte PET-Flaschen für Saft/Nektar (1000 mL)

Die hier betrachtete Multilayer-Flasche mit 1000 mL Füllvolumen (Tabelle 2-5) orientiert sich an den PET-Flaschen, die von der Firma Eckes-Granini für unterschiedliche Säfte verwendet werden. Nach den vorliegenden Informationen war das Unternehmen im Bezugsjahr der Studie mit Abstand der wichtigster Abfüller von Saft in PET-Flaschen, weswegen eine hohe Repräsentativität der hier verwendeten Flaschen für den Gesamtmarkt in 2005 angenommen werden kann.

Zum Einsatz kommen klare Flaschen für die Marke „Granini“ (~39 g) und eine transparente, braun eingefärbte Flaschen für „hohes C“ (~37 g). Beide Typen sind nach Auskunft von Eckes-Granini Multilayer-Flaschen und ähneln in ihrer Optik den zuvor verwendeten Glasflaschen. In dieser Studie wird ein mittleres Flaschengewicht von 38 g angenommen, wobei 5% der Masse auf das Barrierematerial Polyamid (PA) entfallen¹⁶.

Über die Art und Menge der eingesetzten Farbstoffe liegen keine Informationen vor. Für diese Studie wird angenommen, dass die Flaschen nur aus PET und PA bestehen. Weiterhin ist nicht bekannt, ob *scavenger*-Materialien im Schraubverschluss enthalten sind, weswegen hier nur Polyethylen (HDPE) berücksichtigt wird.

Das Gewicht der untersuchten Primärverpackung liegt bei 43,1 g, einschließlich Verschluss und Papier-Etikett. Der Etikettenklebstoff liegt unter dem Abschneidekriterium und wird hier nicht betrachtet.

2.2.1.2 Bilanzierte PET-Flaschen für Saft/Nektar (500 mL)

Die Ableitung des Rechenwertes der untersuchten 500 mL-Flasche für Saft/Nektar erfolgte analog zum Vorgehen bei der 1 L-Flasche. Auch hier werden die bei Eckes-Granini verwendeten Flaschentypen als Referenz herangezogen.

Das Gewicht der hier untersuchten Multilayer-Flasche beträgt 28 g. Einschließlich Verschluss und Etikett ergibt sich ein Primärverpackungsgewicht von 32,4 g (vgl. Tabelle 2-5).

2.2.1.3 Bilanzierte PET-Flaschen für Saft/Nektar (330 mL)

Gegenwärtig wird Saft/Nektar in Deutschland nur in geringem Umfang in PET-Gebinden mit weniger als 500 mL Volumen abgefüllt. Die Spezifikation der hier untersuchten 330mL-Flasche orientiert sich an einer 18 g schweren Monolayer-Flasche mit leichtem Folien-Etikett, die beim Discounter Penny für den Vertrieb von Fruchtnektar und –saft verwendet wird¹⁷. Da diese Flasche keine spezielle Barrierelage hat, enthält sie möglicherweise Additive zur Erhöhung der Gasdichtigkeit. Hierüber liegen jedoch keine Informationen vor, so dass hier angenommen wird, dass es sich um eine „einfache“ Monolayer-Flasche handelt, die nur aus PET besteht.

Anmerkung: die Mindesthaltbarkeit dürfte bei diesen Flaschen aufgrund der geringeren Barrierewirkung kürzer sein als bei den zuvor beschriebenen Multilayer-Flaschen.

¹⁶ Der Gewichtsanteil von Polyamid liegt bei Multilayerflaschen zumeist zwischen 3 und 8% und ist abhängig vom Flaschengewicht und den Anforderungen an die Flasche (Füllgut, Mindesthaltbarkeit). Der hier angenommene Anteil von 5% liegt innerhalb der Bandbreite der bei Eckes-Granini verwendeten Flaschen (5-6% PA, telefonische Mitteilung Herr Dechent, Entwicklungsabteilung Eckes-Granini).

¹⁷ Die Bereitstellung von Informationen zu diesem Flaschentyp erfolgte durch Herrn Lentz (Fa. Emig)

Das Flaschengewicht von 18 g kann als relativ leicht angesehen werden. Da zudem keine Barrierematerialien berücksichtigt werden, entspricht das hier untersuchte 330 mL-Verpackungssystem in gewisser Hinsicht einer *best-case* Betrachtung für kleinvolumige PET-Gebinde im Marktsegment Saft/Nektar.

Tabelle 2-5 Spezifikationen der bilanzierten PET-Flaschen für Getränke mit langer Haltbarkeit

PET-Flaschen	Saft/Nektar 1000 mL	Saft/Nektar 500 mL	Nektar 330 mL	Eistee 1500 mL
Primärverpackung	43,1 g	32,4 g	21,7 g	46,5 g
Flasche	38,0 g	28,0 g	18,0 g	41,5 g
Verschluss (HDPE)	3,3 g	3,3 g	3,3 g	3,0 g
Etikett	1,8 g (Papier)	1,4 g (Papier)	0,4 g (PP)	2,0 g (Papier)
Flaschen Typ	multilayer PA-Anteil 5%	multilayer PA-Anteil 5%	monolayer	monolayer
Umverpackung				
Schrumpffolie (6er Pack)	10,03 g	4,83 g	4,33 g	10,94 g
Transportverpackung				
Palette (Euro-Palette, Holz)	24'000 g	24'000 g	24'000 g	24'000 g
Palettenfolie (LDPE)	480 g	480 g	480 g	480 g
Zwischenlagen pro Palette (Wellpappe)	4 x 475 g	5 x 475 g	5 x 475 g	3 x 475 g
Palettenschema				
Flaschen pro Schrumpfpack	6	6	6	6
Packs pro Lage	26	36	48	21
Lagen pro Palette	5	6	6	4
Flaschen pro Palette	780	1.296	1.728	504

2.2.1.4 Bilanzierte PET-Flaschen für Eistee (1500 mL)

Eistee zählt bei Einsatz von Konservierungsmitteln nicht zu den empfindlichen Füllgütern, weswegen Monolayer-Flaschen ohne besondere Barriereigenschaften verwendet werden können. Die in Tabelle 2-5 dokumentierten Verpackungsspezifikationen orientieren sich aber an dem von der Firma „Lipton“ (Marktführer bei in PET-Flaschen abgefülltem Eistee) verwendeten Flaschentyp. Das Gewicht der PET-Flasche mit 1500 mL Füllvolumen liegt bei 41,5 g, mit Verschluss und Etikett ergibt sich ein Primärverpackungsgewicht von 46,5 g.

2.2.1.5 Bilanzierte PET-Flaschen für Milchmischgetränke (500 mL)

Aufgrund der kurzen Haltbarkeit gekühlt distribuerter Milchmischgetränke und der relativen Unempfindlichkeit von Milch gegenüber Sauerstoff können hier einfache Monolayer-Flaschen ohne besondere Barriereigenschaften verwendet werden. In der Regel kommen nicht-transparente Flaschen zum Einsatz, die entweder durchgefärbt oder opak sind. Dies gewährleistet einen gewissen Lichtschutz und verringert so das Risiko der Bildung unerwünschter Geschmacksstoffe unter Lichteinwirkung.

Die in Tabelle 2-6 dokumentierten Flaschenspezifikationen beruhen auf Informationen der Firma Campina. Entsprechende 500 mL-Flaschen in taillierter Form und mit großem Kunst-

stoff-Etikett werden beispielsweise für das Produkt „Landliebe Milchkaffee“ verwendet. Mit einem Primärverpackungsgewicht von 25,4 g (davon 20 g PET) kann das Verpackungssystem als relativ leicht bezeichnet werden¹⁸.

Spezifische Informationen zu Sekundärverpackung und Palettenschema liegen nicht vor und wurden daher von Saftverpackungen mit identischem Volumen übernommen.

Tabelle 2-6 Spezifikationen der bilanzierten PET-Flaschen für gekühlt distribuierte Milchmischgetränke und Frischmilch mit kurzer Haltbarkeit

PET-Flaschen	Milchmischgetränke 500 mL	Frischmilch ^{*)} 1000 mL
Primärverpackung	25,4 g	34,5 g
Flasche	20,0 g	30,0 g
Verschluss (HDPE)	3,0 g	3,3 g
Etikett	2,4 g (PP)	1,5 g (Papier)
spezielle Barriere	keine	keine
Umverpackung		
Schrumpffolie (6er Pack)	4,83 g	10,03 g
Transportverpackung		
Palette (Euro-Palette, Holz)	24'000 g	24'000 g
Palettenfolie (LDPE)	480 g	480 g
Zwischenlagen pro Palette (Wellpappe)	5 x 475 g	4 x 475 g
Palettenschema		
Flaschen pro Schrumpfpack	6	6
Packs pro Lage	36	26
Lagen pro Palette	6	5
Flaschen pro Palette	1.296	780

^{*)} Hinweis: Im Jahr 2005 wurden in Deutschland keine 1000 mL PET-Flaschen für Frischmilchgetränke verwendet.

2.2.1.6 Bilanzierte PET-Flaschen für Frischmilch (1000 mL)

Wie bereits erwähnt wurde Frischmilch im Bezugsjahr 2005 in Deutschland nicht in PET angeboten. Als Vergleichssystem für diese Studie wurde eine „fiktive“ Verpackungsspezifikation definiert (Tabelle 2-6), orientiert an Flaschentypen die gegenwärtig im europäischen Ausland für dieses Füllgut verwendet werden. Für die Festlegung des Flaschengewichts (30 g) wurden auch Informationen der Firma Campina berücksichtigt, die über Erfahrungen mit entsprechenden Verpackungen verfügt.

Wie für Milchmischgetränke können für Frischmilch PET-Flaschen ohne spezielle Barriereeigenschaften verwendet werden. Hier wird angenommen, dass es sich um transparente, klare Flaschen handelt. Der fehlende Lichtschutz ist sicherlich ein Hemmnis für den Einsatz von Milchflaschen aus PET.

¹⁸ Zum Vergleich: Primärverpackung
 „Vital-Molke“ (Berglandmilch) 26,7 g
 „Joghurt Drink“ (Andechser) 30,0 g
 „Fitness Molke“ (Müller) 26,9 g

2.2.2 Verwertung gebrauchter PET-Einwegflaschen

PET-Flaschen für die hier betrachteten Füllgüter waren im Bezugsjahr 2005 nicht bepfandet und werden nach dem Gebrauch zum Teil über Duale Systeme zur Verwertung erfasst. Von den gesammelten PET-Flaschen wurden im Jahr 2005 rund 58% einer stofflichen Verwertung zugeführt. Dabei entstehen PET-Flakes, die zur Herstellung von Fasern oder Bändern verwendet werden. Die übrigen Flaschen werden thermisch bzw. rohstofflich verwertet.

Nach Auskunft des DSD sind zur stofflichen Verwertung (gegenwärtig) nur transparente Flaschen geeignet¹⁹. Farbige Flaschen können hingegen werkstofflich verwertet werden, sofern sie transparent sind, wie z.B. die braune „hohes C“-Flasche. Der Polyamid-Anteil von Multi-layer-Flaschen ist prinzipiell kein Hindernis für das Recycling.

Die Erfassungsrate von PET-Flaschen liegt nach Auskunft des DSD bei 80%. Analog zum Vorgehen bei Getränkekartons wird angenommen, dass kleinvolumige Gebinde, die häufig im „Unterwegs-Verzehr“ Verwendung finden, mit geringeren Quoten erfasst werden.

Für die in dieser Studie betrachteten Flaschen ergeben sich die in Tabelle 2-7 aufgeführten Erfassungs- und Verwertungsquoten. Eine Beschreibung der Recyclingprozesse ist in Kapitel 3.8.3 enthalten.

Tabelle 2-7 Erfassung und Verwertung gebrauchter PET-Flaschen in Abhängigkeit von Füllvolumen und Flaschentyp

Verwertung von PET-Flaschen	Eistee 1500 mL	Saft 1000 mL	Frisch- milch 1000 mL	Saft 500 mL	Milchmisch- getränke 500 mL	Saft 330 mL
	<i>klar</i>	<i>transparent</i>	<i>klar</i>	<i>transpa- rent</i>	<i>nicht-transp.</i>	<i>transparent</i>
Sammelquote	80% ¹⁾	80% ¹⁾	80% ¹⁾	72,5% ²⁾	72,5% ²⁾	64% ²⁾
Abweichung von mittlerer Erfassungsquote ²⁾	-	-	-	(-10%)	(-10%)	(-20%)
Sortiertiefe (PET-Fraktion) ¹⁾	58%	58%	58%	58%	0%	58%
stoffliche Verwertungsquote³⁾	45%	45%	45%	40,5%	0%	36%

Quellen: ¹⁾ DSD, für 2005

²⁾ Annahme IFEU (Konsens im Projektbeirat)

³⁾ unter Berücksichtigung von weiteren Aufbereitungsverlusten

¹⁹ Mitteilung Frau Bremerstein (DSD), 29.06.06

2.3 Umfasste Szenarien

2.3.1 Szenarien mit Bezugsjahr 2005

Für jedes der untersuchten Verpackungssysteme wurde ein Basisszenario bilanziert, mit dem die jeweilige Situation im Referenzjahr 2005 möglichst repräsentativ abgebildet werden solle. Diese Basisszenarien werden durch die in den Kapiteln 2.1 und 2.2 beschriebenen Festlegungen definiert.

Tabelle 2-8: Übersicht der untersuchten Getränkeverpackungssysteme mit dem Bezugsjahr 2005

Szenarienmerkmale	Kürzel ²⁰ Karton	Kürzel PET
1. Füllgut Saft/Nektar; Marktsegment Vorratshaltung		
1000 mL Getränkekarton mit Aluminiumlage, ohne Ausgusshilfe; Füllgut Saft/Nektar Gewicht der Primärverpackung 26,7 g/Pack	1.01 S 1000 mL	
1000 mL Getränkekarton mit Aluminiumlage, mit Ausgusshilfe; Füllgut Saft/Nektar Gewicht der Primärverpackung 31,5 g/Pack	1.02 S 1000 mL	
1500 mL Getränkekarton mit Aluminiumlage, mit Ausgusshilfe; Füllgut Saft/Nektar Gewicht der Primärverpackung 43,9 g/Pack	1.03 S 1500 mL	
1000 mL PET-Flasche; Multilayer Flasche mit 5% PA-Anteil; Füllgut Saft Gewicht Primärverpackung 43,1 g; ohne R-PET		2.01 S 1000 mL
2. Füllgut Saft/Nektar; Marktsegment Sofortverzehr		
500 mL Getränkekarton mit Aluminiumlage, mit Ausgusshilfe; Füllgut Saft/Nektar Gewicht der Primärverpackung 21,8 g/Pack	1.04 S 500 mL	
200 mL Getränkekarton mit Aluminiumlage, mit Trinkhalm; Füllgut Saft/Nektar Gewicht der Primärverpackung 8,6 g/Pack	1.05 S 200 mL	
500 mL PET-Flasche; Multilayer Flasche mit 5% PA-Anteil; Füllgut Saft Gewicht Primärverpackung 32,4 g; ohne R-PET		2.02 S 500 mL
330 mL PET-Flasche; Monolayer Flasche (ohne Additive); Füllgut Nektar Gewicht Primärverpackung 21,7 g; ohne R-PET		2.03 S 330 mL
3. Füllgut Eistee; Marktsegment Vorratshaltung		
1500 mL Getränkekarton mit Aluminiumlage, mit Ausgusshilfe; Füllgut Eistee Gewicht der Primärverpackung 43,5 g/Pack	1.06 E 1500 mL	
1500 mL PET-Flasche; Monolayer Flasche (ohne Additive); Füllgut Eistee Gewicht Primärverpackung 46,5 g; ohne R-PET		2.04 E 1500 mL
4. Füllgut Frischmilchgetränke (gekühlt distribuiert); Marktsegment Sofortverzehr		
500 mL Getränkekarton ohne Aluminiumlage, mit Ausgusshilfe; Gewicht der Primärverpackung 20,6 g/Pack; Füllgut Frischmilch/Milchmischgetränke	1.07 M 500 mL	
500 mL PET-Flasche; Monolayer Flasche (ohne Additive); Gewicht Primärverpackung 25,4 g; ohne R-PET; Füllgut Milchmischgetränke		2.05 M 500 mL

Im vorliegenden Dokument wird auf die Szenarien teilweise auch unter Verwendung einer Kurzbezeichnung Bezug genommen. Tabelle 2-8 bietet eine Übersicht über die Basisszenarien und die zugeordneten Kürzel.

²⁰ Lesehilfe für die Kurzbezeichnungen: Die erste Ziffer bezeichnet das Verpackungssystem (1 = Karton; 2 = PET). Es folgt eine laufende Nummer, jeweils separat für Karton und PET. Für Sensitivitätsszenarien werden Nummern ab **10** vergeben. Der Großbuchstabe beschreibt das Füllgut (**S** = Saft/Nektar; **E** = Eistee; **M** = Milchmischgetränke/Frischmilch). Um die Orientierung zu erleichtern wird zusätzlich das Füllvolumen der jeweiligen Verpackung angegeben

2.3.2 Sensitivitätsanalysen

Sensitivitätsanalysen dienen dazu, die Ergebnisrelevanz von Systemannahmen in den Basiszenarien zu überprüfen. Dabei steht hier die Frage in Vordergrund, ob eine Gültigkeit der Erkenntnisse für das Basisjahr 2005 auch für die nähere Zukunft (Zeitraum bis ca. 2010) angenommen werden kann. Dazu werden jedoch kein vollwertigen „Zukunftsszenarien“ entwickelt, sondern vielmehr einzelne Aspekte der PET-Systeme untersucht, für die eine deutliche Veränderung gegenüber den Basiszenarien möglich ist.

Eine Übersicht der betrachteten Sensitivitätsszenarien ist in Tabelle 2-9 enthalten.

Tabelle 2-9: Übersicht der Sensitivitätsanalysen

Szenarienmerkmale	Kürzel Karton	Kürzel PET
Aspekt: Entwicklungen bei PET-Flaschen (Saft/Nektar; Marktsegment Vorratshaltung)		
1000 mL PET-Flasche; Multilayer Flasche mit 5% PA-Anteil; Füllgut Saft Gewicht Primärverpackung 43,1 g; mit 25% PET-Rezyklat (aus open-loop Recycling)		2.10 S 1000 mL
1000 mL PET-Flasche; Multilayer Flasche mit 5% PA-Anteil; Füllgut Saft Gewicht Primärverpackung 43,1 g; ohne R-PET; verbesserte Sortiertiefe: 70% (statt 58%)		2.11 S 1000 mL
1500 mL PET-Flasche; Monolayer -Flasche mit 5% PA (als Additiv); Füllgut Saft Gewicht Primärverpackung 38,1 g ; ohne R-PET; kürzere MHD (~ 6 Monate)		2.12 S 1500 mL
Aspekt: Leichtes PET-Flaschengewicht für Eistee (Vorratshaltung)		
1500 mL PET-Flasche; Monolayer Flasche (ohne Additive); Füllgut Eistee Gewicht Primärverpackung 40,0 g ; ohne R-PET		2.13 E 1500 mL
Aspekt: neue Anwendungsbereiche PET - Füllgut Frischmilch (Vorratshaltung)		
1000 mL Getränkekarton ohne Aluminiumlage, ohne Ausgusshilfe; Gewicht der Primärverpackung 27,4 g/Pack; Füllgut Frischmilch	1.10 M 1000 mL	
1000 mL Getränkekarton ohne Aluminiumlage, mit Ausgusshilfe; Gewicht der Primärverpackung 30,9 g/Pack; Füllgut Frischmilch	1.11 M 1000 mL	
1000 mL PET-Flasche; Monolayer Flasche (ohne Additive); Gewicht Primärverpackung 25,4 g; ohne R-PET; Füllgut Frischmilch		2.14 M 1000 mL
Aspekt: Relevanz des Allokationsfaktors bei der Systemallokation		
1000 mL Getränkekarton mit Aluminiumlage, mit Ausgusshilfe; Füllgut Saft/Nektar Gewicht der Primärverpackung 31,5 g/Pack – 100:0-Allokation (= 100% Gutschrift)	1.12 S 100% A.	
1000 mL PET-Flasche; Multilayer Flasche mit 5% PA-Anteil; Füllgut Saft Gewicht Primärverpackung 43,1 g – 100:0-Allokation (= 100% Gutschrift)		2.15 S 100% A.
Aspekt: Relevanz der Berücksichtigung der Entsorgung im 2. Lebenszyklus		
1000 mL Getränkekarton mit Aluminiumlage, mit Ausgusshilfe; Füllgut Saft/Nektar Gewicht der Primärverpackung 31,5 g/Pack – ohne LZ 2	1.13 S ohne LZ 2	
1000 mL PET-Flasche; Multilayer Flasche mit 5% PA-Anteil; Füllgut Saft Gewicht Primärverpackung 43,1 g; ohne R-PET ohne LZ 2		2.16 S ohne LZ 2

2.3.2.1 PET-Flaschen für Saft/Nektar (Vorratskauf)

Am Beispiel des mengenmäßig wichtigsten Füllgutbereichs Saft/Nektar (Vorratskauf) werden mögliche Entwicklungen im PET-System untersucht. Ob - und in welchem Umfang - diese Aspekte tatsächlich in näherer Zukunft umgesetzt werden, kann gegenwärtig nicht beurteilt werden.

Verwendung von 25% PET-Rezyklat (2.10 S 1000 mL)

Nach vorliegenden Informationen bestehen PET-Flaschen für die hier betrachteten Füllgüter aus primärem PET-Granulat. Die Verwendung von PET-Sekundärmaterial wäre für die Getränkeindustrie durchaus von Interesse.

Aus technischer Sicht ist es möglich, einen Teil des Primärmaterials durch PET-Rezyklat zu ersetzen, das aus gebrauchten Flaschen gewonnen wird. Unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Mengen und alternativen Verwertungsmöglichkeiten, erscheint jedoch mit Blick auf die Materialverfügbarkeit in den nächsten Jahren maximal ein Anteil von 25% R-PET möglich.

Nach gegenwärtigem Stand der Technik sind PET-Flakes, die aus Multilayer-Flaschen gewonnen werden, nicht für ein bottle-to-bottle Recycling geeignet. Daher muss angenommen werden, dass das verwendete PET-Rezyklat aus anderen Produktsystemen stammt (*open-loop* Recycling), beispielsweise aus aufbereiteten Mineralwasserflaschen.

Verbesserte Sortierung von erfassten Leichtverpackungen (2.11 S 1000 mL)

Nach Auskunft des DSD wird sich zukünftig die positive Erfassung von PET-Flaschen bei der Sortierung von Leichtverpackungen erhöhen. Bezogen auf das Jahr 2010 wird sich demnach die Sortiertiefe (d.h. Zuordnung in die PET-Flaschenfraktion) von gegenwärtig 58% auf dann 70% verbessern.

Abfüllung in leichte, großvolumige Flaschen (2.12 S 1500 mL)

In bestimmten Vertriebskanälen gibt es einen Trend zu großvolumigen, leichten PET-Flaschen. So wird gegenwärtig (2006) Fruchtnektar bei *Aldi Nord* in einer nur 33 g leichten Monolayer-Flasche mit 1500mL Füllvolumen angeboten. Diese Flaschenspezifikation wird hier untersucht. Dazu wird angenommen, dass zur Erhöhung der Barriereigenschaften Polyamid mit einem Anteil von 5% eingesetzt wird.

Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Flasche die (Mindest-)Anforderungen des Füllgutschutzes erfüllt. Dennoch dürfte die Barrierewirkung geringer sein als bei Multilayer-Flaschen und Getränkekartons. Ob eine solche Flasche auch für Premium-Produkte mit höheren Anforderungen an die Mindesthaltbarkeit verwendet werden würde, kann bezweifelt werden, so dass hier möglicherweise nur eine eingeschränkte Funktionsgleichheit besteht.

2.3.2.2 Leichte PET-Flaschen für Eistee (Vorratskauf; 2.13 E 1500 mL)

Gegenüber dem Basisszenario besteht auch bei Eistee ein deutliches Potential zur Verringerung des Flaschengewichts. In Abstimmung mit Experten hält Hr. Lentz (Fa. Emig) ein Gewicht von 35 g für eine 1500 mL-Flasche für realisierbar. Das entspricht einer Verringerung des PET-Gewichts um 16%.

Derart leichte Flaschen würden überwiegend beim „vereinfachten“ Abfüllverfahren Verwendung finden, wobei dem Füllgut Konservierungsmitteln zugegeben werden. Da dies bei anderen Verpackungen nicht unbedingt erforderlich ist, besteht auch hier möglicherweise nur eine eingeschränkte Funktionsgleichheit.

2.3.2.3 Neue Anwendungsbereiche für PET: Füllgut Frischmilch, Vorratskauf

Der Vergleich von Karton und PET für Frischmilch erfolgt im Kapitel Sensitivitätsanalysen, da er für das Basisjahr 2005 keine Relevanz im deutschen Markt hat. Das (fiktive) PET-System 2.14 M wird mit Getränkekartons (Bezugsjahr 2005) verglichen.

2.3.2.4 Relevanz der Systemallokation

Durch die Berechnung der Basisszenarien für Saft (Vorratskauf) mit einer alternativen Allokationsregel wird die Ergebnisrelevanz dieser wertbasierten Systemfestlegung bestimmt. Dieses Vorgehen wird auch in der ISO-Norm gefordert.

Bei der hier exemplarisch angewandten „100:0-Allokation“ wird dem abgebenden System der volle Nutzen (= 100% Gutschrift) für Sekundärmaterial angerechnet.

2.3.2.5 Relevanz der Einbeziehung der Entsorgung im 2. Lebensweg

Die Relevanz der Einbeziehung der Entsorgung im 2. Lebensweg (LZ 2) wird durch die alternative Berechnung der Basisszenarien für Saft (Vorratskauf) im Kap. 5.5 überprüft (vgl. Abschnitt 1.9.2). Dieses Vorgehen ist eine direkte Fortschreibung der UBA-Methodik, da auch in den UBA-Studien die Entsorgung im LZ 2 nicht berücksichtigt wurde.

3 Ausgewählte Daten zur Sachbilanz

3.1 Herstellung der Roh- und Verbundkartons

3.1.1 Herstellung der Rohkartons

Für die Modellierung der Rohkartonherstellung werden vier standortspezifische Datensätze der Firmen Stora-Enso, Ässi-Domän und Korsnäs herangezogen. Sie repräsentieren die Produktion an drei schwedischen und einem finnischen Standort im Jahr 2002. Die Datenhebung erfolgte im Rahmen einer früheren Ökobilanz im Auftrag des FKN [IFEU 2004a]. Aus den vorliegenden Daten wird ein Mittelwert für die Rohkartonherstellung gebildet, der für alle untersuchten Getränkekartontypen verwendet wird.

Der prinzipielle Verfahrensablauf in einem integrierten Rohkartonwerk umfasst folgende Prozessschritte:

- Faseraufschluss
- Faserbleiche
- Kartonherstellung

Als Faserrohstoff werden neben elementar-chlorfrei gebleichtem Zellstoff auch ungebleichte Zellstoffe und Halbzellstoffe verwendet. Das Rohstoffgemisch enthält neben den Holzfasern auch mineralische Füllstoffe und Strichmittel. Die wesentlichen eingesetzten Prozesschemikalien sind je nach Verfahrensablauf Schwefelsäure, Natriumchlorat, Natriumhydroxid, Wasserstoffperoxid und Salzsäure. Die Vorketten für diese Prozesschemikalien gehen im Wesentlichen auf die Datenbasis von [UBA 2000] zurück. Soweit dies vom Datenformat her möglich war, wurden die Stromvorketten aktualisiert.

Die vorliegenden Datensätze beinhalten Informationen zu Wasseremissionen in Form von Summenparametern (CSB, BSB, N-, P-total, AOX). Ein Großteil der benötigten Prozessenergie wird in eigenen Anlagen erzeugt, wofür in bedeutendem Umfang Reststoffe aus der Faseraufbereitung verwendet werden. An drei Standorten besteht ein Überschuss von Prozesswärme, die als Heizenergie extern verwendet wird. Der Bezug von Fremdstrom wird mit dem jeweiligen nationalen Erzeugungsmix berücksichtigt.

Für die Berechnung des Aufwands der Holzbereitstellung werden Informationen aus [UBA 2000a]²¹ verwendet. Die Daten umfassen die Waldbewirtschaftung, einschließlich Holzeinschlag und -transport.

Der Transport der Rohkartons zur Verbundherstellung in Deutschland wird ebenfalls berücksichtigt.

3.1.2 Herstellung des Verbundkartons

Hauptbestandteil des Getränkekarton-Verbunds ist der Rohkarton. Er wird durch eine Schicht aus LDPE auf der Außen- und Innenseite versiegelt. Die Bedruckung erfolgt je nach Verfahren vor bzw. nach diesem ersten Beschichtungsprozess. Für länger haltbare Produkte, wie Saft und Eistee, wird zum Schutz vor Licht und Sauerstoff auf der Innenseite zusätz-

²¹ Umweltbundesamt (Hrsg.): Ökobilanzen für graphische Papiere. UBA-Texte 22/00: Materialband I; Industrieholz (Forst NORD)

lich eine dünne Aluminiumfolie eingearbeitet. Diese wird vom Inhalt durch eine weitere LDPE-Schicht getrennt. Bei Frischmilch und ähnlichen Produkten wird keine Aluminiumlage benötigt.

Der Kartonverbund wird auf ein vorgegebenes Format zugeschnitten und zum Abfüller transportiert. Für den Transport werden die Zuschnitte entweder auf Rollen gewickelt oder flächig in Schichten gestapelt und in Kartons verpackt. Erst auf der Abfüllmaschine erfährt der Getränkekarton die endgültige Formung und Versiegelung.

Die Daten zur Herstellung des Verbunds wurden im Rahmen der Ökobilanz für Saft [IFEU 2004a] erhoben. Sie repräsentieren die Produktion an den deutschen Standorten der beiden größten Hersteller im Zeitraum 2002/2003. Die Daten ermöglichen eine differenzierte Betrachtung einzelner Verbundtypen, die für die unterschiedlichen Verpackungsvolumina verwendet werden. Sie enthalten jeweils Angaben zu Energie- und Wasserverbrauch, Emissionen, Abfällen und Verpackungsmaterial für den Versand. Nach Auskunft der Unternehmen sind diese Daten im Wesentlichen auch für das Bezugsjahr dieser Studie gültig. Soweit bekannt, wurden zwischenzeitlich umgesetzte (kleinere) Änderungen berücksichtigt. Dies betrifft beispielsweise die Menge des benötigten Verpackungsmaterials für einzelne Typen.

3.2 Herstellung Aluminiumfolie

Für die Herstellung von Kartonverbundmaterial wird ausschließlich primäres Aluminium verwendet. Die Grundlage für die verwendeten Ökobilanzdaten bilden die im Jahr 2000 veröffentlichten Ökopprofile der European Aluminium Association (EAA), Brüssel [EAA 2000].

Tabelle 3-1 Verwendete Aluminiumdatensätze

Material	Datum der Veröffentlichung	Bezugszeitraum	Umfasste Anlagen
Primäraluminium	2000	1995-1998	k.A.
Aluminiumbänder u. -folien (5 - 20 µm Stärke)	2000	1998	k.A.

Der Datensatz zum Primäraluminium beschreibt die Herstellung von Aluminium ausgehend von der Bauxitgewinnung über die Tonerdeherstellung bis zum fertigen Aluminiumbarren einschließlich der Anodenherstellung und der Elektrolyse. Die Daten beruhen auf Erhebungen des europäischen Aluminiumverbandes (EAA) in den Jahren 1995 und 1998. Dabei wurde eine Repräsentativität von 92% bzw. 98% bezogen auf die europäische Primäraluminiumherstellung erreicht.

Der Datensatz wurde nach Angaben der EAA auf Basis einer Umfrage bei den Mitgliedsfirmen im Jahr 2002 teilweise aktualisiert. Dieser aktualisierte Datensatz wurde von der EAA zur Verwendung in Ökobilanzen bereit gestellt [EAA 2006]. Angaben zur Repräsentativität der aktualisierten Daten liegen zur Zeit noch nicht vor.

Die Datensätze für Aluminiumfolien beruhen ebenfalls auf Erhebungen des Verbands im Jahr 1998 für die Herstellung von Halbzeug aus Aluminium. Dabei wurde je nach Produktgruppe eine Repräsentativität von 20 – 70% erreicht.

Die Datensätze wurden von der EAA in aggregierter Form veröffentlicht. Lediglich der Anteil der Stromerzeugung kann aus den Datensätzen separiert werden. Zum Zwecke der Daten-

symmetrie wurden daher die Aluminiumdatensätze mit aktualisierten Datensätzen für Netzstrom kombiniert.

Der Strommix für die Primäraluminiumherstellung (Tabelle 3-2) berücksichtigt, dass im europäischen Markt 61% des Primäraluminiums selbst erzeugt und die übrigen 39% (19% Russland; 20% restliche Welt) importiert werden. Dieser Ansatz fand auch schon in Phase 2 der UBA-Ökobilanz Berücksichtigung. In der vorliegenden Studie wurden die Emissionsfaktoren der Stromerzeugung vom IFEU auf die drei genannten Herkunftsbereiche angepasst.

Tabelle 3-2 Energieträgereinsatz für die Herstellung von Primäraluminium

	Wasserkraft	Kernkraft	Steinkohle	Braunkohle	Erdgas	Erdöl
Referenzszenario mit Importen [EAA 2000]	52,5%	14,9%	19,9%	4,7%	4,8%	3,3%

3.3 Verpackungskomponenten aus Kunststoff

Innerhalb der betrachteten Verpackungssysteme werden folgende Kunststoffe eingesetzt:

- Polyethylen niederer Dichte (LDPE) als Verbundmaterial im Getränkekarton sowie als Material für Folien von Um- und Transportverpackungen
- Polyethylen hoher Dichte (HDPE) als Material für Ausgusshilfen und Flaschenverschlüsse
- Polypropylen (PP) als Material für Trinkhalme und Folien-Etiketten
- Polyamid (PA) als Barrierematerial in PET-Flaschen
- Polyethylenterephthalat (PET) als Material zur Herstellung von Getränkeflaschen

Mit Ausnahme der PET-Herstellung bilden die Berichte des europäischen Herstellerverbands *PlasticsEurope* (vormals APME) die Grundlage für die verwendeten Ökobilanzdaten (Tabelle 3-3). In den Veröffentlichungen von *PlasticsEurope* werden für jeden Kunststoff die gewichteten Mittelwerte des In- und Outputs der westeuropäischen Kunststoffhersteller zusammengefasst. In den Datensätzen sind alle Prozessstufen von der Rohölförderung bis zum fertigen Polymer zusammengefasst. Die Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Daten ist damit sehr eingeschränkt. Die in dieser Studie verwendeten Datensätze wurden im Jahr 2005 auf der Homepage von *PlasticsEurope* veröffentlicht [PlasticsEurope 2005a-d]. Dabei handelt es sich um Neuberechnungen früherer Veröffentlichungen. Die zugrunde liegenden Datenerhebungen für die Polymerisierung fanden Ende der 90er Jahre statt.

Tabelle 3-3 Verwendete Datensätze zur Kunststoffstellung

Kunststoffart	Datum der Veröffentlichung	Bezugszeitraum	Umfasste Anlagen
<i>PlasticsEurope 2005a-d</i>			
LDPE	2005	1999	27
HDPE	2005	1999	24
PP	2005	1999	28
PA (Nylon 66)	2005	1996	k.A.
<i>Petcore / [IFEU 2004b]</i>			
PET	<i>bisher unveröffentlicht</i>	2002-2003	5

3.3.1 Herstellung von LDPE

Polyethylen geringer Dichte (LDPE) wird in einem Hochdruckprozess hergestellt und enthält eine hohe Anzahl an langen Seitenketten.

Der Datensatz umfasst die Produktion von LDPE-Granulat ab der Entnahme der Rohstoffe aus der natürlichen Lagerstätte inkl. der damit verbundenen Prozesse. Die Daten beziehen sich auf einen Zeitraum um 1999. Sie wurden in insgesamt 27 Polymerisationsanlagen erhoben. Die betrachteten Anlagen umfassen eine Jahresproduktion von 4.480.000 Tonnen. Die europäische Gesamtproduktion lag 1999 bei ca. 4.790.000 Tonnen. Die Daten repräsentieren somit 93,5% der westeuropäischen LDPE-Produktion [PlasticsEurope 2005a].

3.3.2 Herstellung von HDPE

Polyethylen hoher Dichte (HDPE) wird in verschiedenen Niederdruckverfahren hergestellt und enthält weniger Seitenketten als das LDPE.

Der Datensatz umfasst die Produktion von HDPE-Granulat ab der Entnahme der Rohstoffe aus der natürlichen Lagerstätte inkl. der damit verbundenen Prozesse. Die Daten beziehen sich auf einen Zeitraum um 1999. Sie wurden in insgesamt 24 Polymerisationsanlagen erhoben. Die betrachteten Anlagen umfassen eine Jahresproduktion von 3.870.000 Tonnen. Die europäische Gesamtproduktion lag 1999 bei ca. 4.310.000 Tonnen. Die Daten repräsentieren 89,7% der westeuropäischen HDPE-Produktion [PlasticsEurope 2005b].

3.3.3 Herstellung von PP

Polypropylen entsteht durch die katalytische Polymerisation von ungesättigtem Propylen zu langkettigem Polypropylen. Die beiden wichtigen Verfahren sind die Niederdruck-Fällungs- und die Gasphasen-Polymerisation. In einem abschließenden Schritt wird das Polymerpulver im Extruder zu Granulat verarbeitet.

Der Datensatz umfasst die Produktion von PP-Granulat ab der Entnahme der Rohstoffe aus der natürlichen Lagerstätte inkl. der damit verbundenen Prozesse. Die Daten beziehen sich auf einen Zeitraum um 1999. Sie wurden in insgesamt 28 Polymerisationsanlagen erhoben. Die betrachteten Anlagen umfassen eine Jahresproduktion von 5.690.000 Tonnen. Die europäische Gesamtproduktion lag 1999 bei ca. 7.400.000 Tonnen. Die Daten repräsentieren 76,9% der westeuropäischen PP-Produktion [PlasticsEurope 2005c].

3.3.4 Herstellung von PA (Nylon 66)

Nylon wird entweder durch direkte Polymerisation von Aminosäuren hergestellt oder durch Reaktion eines Diamins mit einer zweiprotonigen Säure. Unterschiedliche Nylons (Polyamide) werden nach einem Nummerierungssystem klassifiziert, das sich auf die Anzahl von Kohlenstoffatomen zwischen aufeinander folgenden Stickstoffatomen in der Hauptkette beziehen. Polymere die sich von einem Diamin und einer zweiprotonigen Säure ableiten, werden durch zwei Ziffern charakterisiert. Die erste bezieht sich auf den Beitrag an Kohlenstoffatomen durch das Diamin, die zweite auf den Beitrag der Säure. Nylon 66 entsteht aus der Reaktion von Hexamethyldiamin und Adipinsäure.

Der Datensatz umfasst die Produktion von PA 66 ab der Entnahme der Rohstoffe aus der natürlichen Lagerstätte inkl. der damit verbundenen Prozesse. Die Daten beziehen sich auf einen Zeitraum um 1996 [PlasticsEurope 2005d]. Informationen zu den berücksichtigten Anlagen und der Repräsentativität des Datensatzes sind nicht verfügbar.

3.3.5 Herstellung von PET

Die Daten zur Herstellung von primärem Polyethylenterephthalat (PET) sind für diese Studie von besonderer Bedeutung. Der hier verwendete PET-Datensatz wurde im Rahmen einer Ökobilanz im Auftrag von PETCORE²² erarbeitet [IFEU 2004b]. Die Daten zur Herstellung von PET-Granulat sind bisher noch nicht veröffentlicht, allerdings erfolgte im Rahmen einer kritischen Begutachtung der PETCORE-Studie auch eine Prüfung der Daten und methodischen Vorgehensweise hinsichtlich der Ableitung der PET-Daten. Aus Sicht der Autoren ist die größere Transparenz dieses Datensatzes ein starkes Argument für dessen Verwendung gegenüber dem entsprechenden Datensatz von *PlasticsEurope*.²³

Im Folgenden wird zunächst der Ablauf der PET-Produktion für den Syntheseweg über Terephthalsäure erläutert und anschließend die zur Modellierung verwendeten Datensätze beschrieben. Neben dem dargestellten Syntheseweg über Terephthalsäure (PTA) existiert noch ein weiteres Verfahren über Dimethylterephthalat (DMT), das in Europa allerdings nur noch vereinzelt in älteren, kleineren Anlagen verwendet wird und daher für die gegebene Fragestellung nicht relevant ist.

Ein Überblick über die an der Synthese von PET beteiligten Prozesse findet sich in Abbildung 3-1. Die Prozesskette beginnt mit der Förderung von Rohöl bzw. Rohgas. Aus Rohöl wird sowohl Naphta als auch Reformatzbenzin gewonnen. Das Naphta dient zusammen mit Erdgas als Ausgangsmaterial für die Ethenherstellung (Ethen-Cracking). Aus dem Reformatzbenzin hingegen wird para-Xylen gewonnen. Das para-Xylen wird mit Luft zu Terephthalsäure oxidiert, die wiederum durch katalytische Behandlung mit Wasserstoff von Verunreinigungen befreit wird.

Das Ethen wird mit Sauerstoff über Ethenoxid zu Ethylenglykol (EG) oxidiert und hydrolysiert. Die gereinigte Terephthalsäure (Purified Terephthalic Acid, PTA) und Ethylenglykol sind die Ausgangsstoffe für die folgende Veresterung zum bis-(2-Hydroxyethyl)-Terephthalat (BHET). Dieses formale Monomer wird durch den nachfolgenden Polykondensationsschritt zu Polyethylenterephthalat (PET) polykondensiert.

²² [PET Containers Recycling Europe](#)

²³ Die spezifische Umweltwirkung für die Bereitstellung von PET wäre bei Verwendung der *PlasticsEurope* Daten höher, als bei Anwendung des hier beschriebenen Datensatzes.

Für die Herstellung von PET-Flaschen wird das amorphe PET einem zusätzlichen Kondensationsschritt (= Nachkondensation) in der Festphase unterzogen (solid state polycondensation, SSP), da hierfür eine höhere Viskosität (intrinsic viscosity, IV) benötigt wird. Für PET in Flaschen-Qualität liegt die typische Viskosität zwischen 0,78 und 0,82²⁴.

Die technologische Weiterentwicklung im Bereich der PET-Produktion konzentriert sich aber vor allem auf den Polykondensationsschritt. Daher wurde - basierend auf Daten der Teilprozesse - die gesamte PET-Produktion im Systemmodell umgesetzt und nachfolgend für die Modellierung der Basisszenarien verwendet.

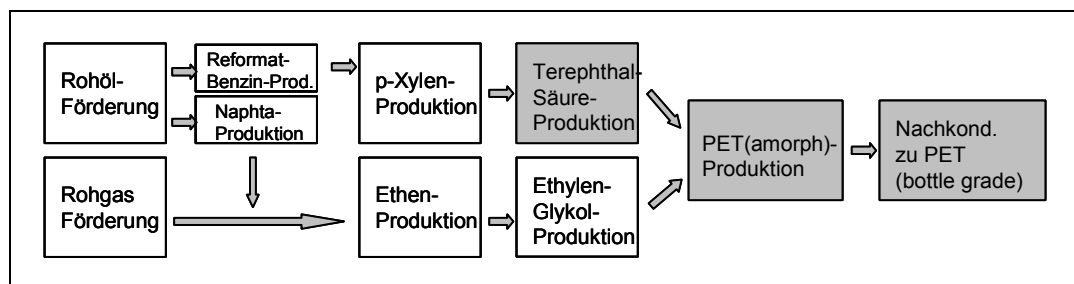


Abbildung 3-1: Prozesskette der PET-Herstellung

Zur Modellierung der Daten für die Herstellung der Vorprodukte Naphta, Reformatbenzin und p-Xylen wurde ein am IFEU-Institut entwickeltes Raffineriemodell, das die derzeit in Europa verwendete Technologie widerspiegelt, eingesetzt. Die Datengrundlage für die Modellierung der Ethenproduktion aus Erdgas und Naphta bilden dem IFEU vorliegende Daten verschiedener europäischer Cracker in einer etwa repräsentativen Verteilung. Die Daten stammen aus den Jahren 2000 und 2001. Die Daten zur Ethylenglykol-Produktion charakterisieren einen Querschnitt durch europäische Anlagen, der sich auf die Jahre 1997-2000 bezieht.

Die Daten zur Terephthalsäure-Produktion basieren auf Werten europäischer Anlagen, die von Prof. Rieckmann (FH Köln) erhoben und von IFEU entsprechend den Anforderungen an eine ISO-konforme Ökobilanz aufgearbeitet und eingesetzt wurden.

Der Datensatz zur PET-Produktion in Flaschenqualität basiert auf einer Produktionskapazität von fünf europäischen Anlagen und wurde von Prof. Rieckmann (FH Köln) zusammengestellt. Die Angaben beziehen sich auf den Zeitraum 2002/2003. Es werden ca. 36% der europäischen PET-Produktion durch den PET-Datensatz abgedeckt, was angesichts der Unterschiede bzgl. der erfassten Anlagen und PET-Qualitäten auf eine repräsentative Darstellung der europäischen Flaschen-PET-Produktion schließen lässt.

²⁴ Maß für die Viskosität von PET, gemessen als Fließgeschwindigkeit von 100mL PET-haltigem Lösungsmittel durch ein Kapillar-Viskosimeter im Verhältnis zu einer Referenzlösung

3.4 PET-Flaschenherstellung

Die Produktion von PET-Flaschen erfolgt in der Regel zweistufig, d.h. es werden aus dem getrockneten PET-Granulat zunächst sog. Preforms hergestellt und diese in einem zweiten Schritt zu Flaschen verarbeitet. Der Energiebedarf der Preform- und Flaschenherstellung beschränkt sich i.d.R. auf die Verwendung von Strom zur Trocknung, Aufheizung und Formgebung.

Der Energieverbrauch für den Spritzguss von Preforms korreliert mit dem Prefomgewicht. In dieser Studie wird durchgängig mit einem spezifischen Strombedarf von 2,6 kJ/g gerechnet.

Im Rahmen dieser Studie konnten keine Energieverbräuche für die Herstellung der untersuchten Flaschen im Streckblasverfahren (SBM) erhoben werden. Daher wurde auf aktuelle Daten zurückgegriffen, die dem IFEU-Institut aus anderen Projekten vorliegen. Der Energieverbrauch für den SBM-Prozess wird unter anderem vom Flaschenvolumen bestimmt. Für diese Studie wurden die in Tabelle 3-4 dokumentierten Werte verwendet.

Tabelle 3-4 Rechenwerte für die Herstellung von PET-Einwegflaschen

Flaschenvolumen	Strombedarf / 1000 Stück
1500 mL	30,8 kWh
1000 mL	22,2 kWh
500 mL	20,8 kWh
330 mL	13,6 kWh

3.5 Herstellung von Wellpappe und Wellpappetrays

In der vorliegenden Ökobilanz wurden die von der FEFCO²⁵ im Jahr 2003 veröffentlichten Datensätze zur Herstellung von Wellpappe-Rohpapieren und Wellpappe-Verpackungen verwendet [FEFCO 2003].

Tabelle 3-5 Verwendete Datensätze zur Wellpappeherstellung [FEFCO 2003]

Karton-Material	Datum der Veröffentlichung	Bezugszeitraum	Repräsentativität	Umfasste Staaten
Kraftliner	2003	2002	>70%	A, Fi, Fr, P, Sk, Se
Testliner	2003	2002	52%	A, B, Dk, Fr, D, It, NL, Es, CH, UK
Wellenstoff	2003	2002		
Wellpappe und Trays	2003	2002	20% (111 Werke)	A, B, Cz, Dk, Fi, Fr, D, Hu, It, NL, Es, No, Se, CH, UK

Im Einzelnen wurde auf die Datensätze zur Herstellung von „Kraftliner“ (überwiegend aus Primärfasern), „Testliner“ und „Wellenstoff“ (beide aus Altpapier) sowie der Wellpappeverpackung zurückgegriffen. Die Datensätze stellen gewichtete Mittelwerte der in der Datenerhe-

²⁵ FEFCO: Fédération Européenne des Fabricants de Carton Ondulé, Brussels.

bung der FEFCO erfassten europäischen Standorte dar (Tabelle 3-5). Sie beziehen sich auf die Produktion im Jahr 2002.

Bei Wellpappen wird häufig aus Gründen der Stabilität ein Anteil von Frischfasern eingesetzt. Im europäischen Mittel liegt nach [FEFCO 2003] dieser Anteil bei 24%. Mangels spezifischer Daten wurde dieser Split auch in der vorliegenden Studie angesetzt.

3.6 Daten zur Getränkeabfüllung

Die Abfüllung von Getränkekartons und PET-Einwegflaschen findet in prinzipiell ähnlichen Prozessen statt. So ist die kaltseptische Abfüllung von Fruchtsaft das Standardverfahren für beide Verpackungstypen. Auch der Energiebedarf und der Verpackungsausschuss der entsprechenden Abfülllinien sind vergleichbar.

Für die Abfüllung von Getränkekartons werden in dieser Studie die Daten aus der Ökobilanz für Saft herangezogen [IFEU 2004a], die von einem der größten deutschen Fruchtsafthersteller bereitgestellt wurden. Die Angaben zu Strom-, Druckluft-, Dampf- und Wasserverbrauch wurden für die einzelnen Anlagenkomponenten auf einem sehr hohen Detaillierungsniveau ermittelt, basierend auf Messungen an bestehenden Anlagen. Neben der eigentlichen Befüllung der Getränkekartons umfassen die Daten auch die Formgebung der Kartons, Versiegelung, Applikation der Ausgusshilfen und Beladung der Kundenpaletten.

Für die Abfüllung von PET-Flaschen wurden Daten für vergleichbare Systeme verwendet, die dem IFEU-Institut aus anderen Projektzusammenhängen vorliegen, bspw. [IFEU 2004b].

Im Rahmen dieser Studie war es nicht möglich neue Messdaten für die Abfüllung der hier untersuchten Gebinde zu erheben. Die verwendeten Rechenwerte wurden jedoch den im Projektbeirat vertretenen Getränkefirmen zur Prüfung übermittelt.

Aus Sicht der Autoren sind die hier verwendeten Daten für den Kontext dieser Studie von ausreichender Repräsentativität. Der Bereich Abfüllung ist im Gesamtlebensweg der betrachteten Einwegsyste-me von eher untergeordneter Bedeutung, sofern die thermische Behandlung des Getränks nicht betrachtet.

3.7 Daten zur Getränkedistribution

Für die betrachteten Füllgüter sind keine Informationen über die mittlere Distributionsentfernung verfügbar. Die Erhebung und Ableitung aktueller, repräsentativer Daten zur Getränkedistribution ist mit sehr hohem Aufwand verbunden und war nicht Gegenstand dieser Studie.

Behelfsweise wird für alle betrachteten Gebinde auf das Distributionsmodell aus UBA-II für den Füllgutbereich „Getränke ohne CO₂ des Segments Vorratskauf (> 0,5 L)“ zurückgegriffen. Die Entfernungen und eingesetzten Fahrzeugtypen für die zweistufige Distribution sind in Tabelle 3-6 enthalten. Die mittlere Transportentfernung liegt demnach bei rund 350 km.

Tabelle 3-6 Transportentfernungen und Zusammensetzung des Fuhrparks zur Distribution (nach [UBA 2000] für Getränke ohne CO₂ des Segments Vorratskauf)

Distributionswege	Einweg	Transportentfernung		Transportanteile (Vol.-% Getränkemenge) nach Fahrzeugen					
		[km]		Sattelzug 40 t	Sattelzug 28 - 32 t	Lkw + Hänger 40 t	Lkw bis 23 t	Lkw bis 16,5 t	Liefer- wagen
		voll	leer						
1. Distributionsstufe									
Direktvertrieb	7%	230	50	19%	0%	63%	15%	3%	0%
an GFGH	5%	230	60	33%	5%	57%	4%	1%	0%
an Zentralläger	88%	270	100	33%	3%	61%	3%	0%	0%
2. Distributionsstufe									
von GFGH		50	30	5%	1%	30%	31%	29%	4%
von Zentrallägern		90	60	34%	5%	43%	17%	1%	0%
gesamt		347	149						

GFGH = Getränkereichgroßhandel

Generell haben die Annahmen zur Distributionsentfernung bei Verpackungssystemen mit ähnlichem Gewicht keine hohe Relevanz für den Systemvergleich, da eine Distribution von Karton- und PET-Einwegverpackungen über gleich weite Strecken angenommen werden kann. Die Verwendung dieser Daten ist aus Sicht der Autoren angemessen für den Kontext dieser Studie.

3.8 Verwertung gebrauchter Packstoffe

3.8.1 Erfassung und Sortierung von Einwegverpackungen

Die über Dualen Systeme erfassten Getränkekartons und PET-Einwegflaschen durchlaufen zusammen mit anderen Leichtverpackungen eine Sortierung. Bei positiver Erkennung erfolgt die Zuweisung in die entsprechende Zielfraktion. Anfallende Sortierreste wurden nach Information des DSD im Jahr 2005 etwa je zur Hälfte als Restabfall entsorgt bzw. in Zementwerken verwertet. 27% der erfassten PET-Flaschen gelangen nicht in die PET-Fraktion sondern werden zusammen mit anderen Verpackungen als Mischkunststofffraktion (MKS) verwertet.

3.8.2 Recycling gebrauchter Getränkekartons

Nach Sortierung liegen Getränkekartons als eine eigene Materialfraktion vor. Das Verbundmaterial wird im Anschluss in zwei deutschen und einer finnischen Anlage aufbereitet. Der Hauptzweck der Aufbereitung ist die Rückgewinnung der Fasern, die durch Aufquellung in einem Pulper (dt.: Stoffauflöser) vom restlichen Verbund, den so genannten Rejekten, gelöst werden. Die Fasern werden in der Regel noch in der gleichen Papierfabrik zu Endprodukten weiterverarbeitet.

Die deutschen Standorte geben die Rejekte zur Verwertung an Zementwerke ab. Dort dient der PE-Anteil als Brennstoff zum Ersatz von Steinkohle und das Aluminium als Ersatz für den Zuschlagstoff Bauxit.

Im Jahr 2005 wurden 20% der in Deutschland gesammelten Verbundkarton in der finnischen Anlage verwertet. Dort wird das Rejekt in der am gleichen Standort befindlichen Ecogas-Anlage verwertet. Dabei wird das Polyethylen in die Gasphase gebracht und zur Energieerzeugung verbrannt. Ein Teil der Energie wird zum Betrieb der Ecogas-Anlage verwendet. Der verbleibende Energieüberschuss wird im angegliederten Papierwerk eingesetzt. Laut Angaben der Anlagenbetreiber werden etwa 85 % des eingesetzten Aluminiums zurückgewonnen und werkstofflich verwertet.

3.8.3 Recycling von PET-Flaschen

Die in den Sortieranlagen erhaltene PET-Flaschenfraktion wird einer Flaschenaufbereitung zugeführt. Durch den Aufbereitungsprozess werden PET-Flakes als Produkt gewonnen. Die Aufwendungen und die Effizienz der Aufbereitung hängen dabei wesentlich von der Qualität der Ausgangsware, der Zielqualität der Flakes und der eingesetzten Technologie ab.

Die in Europa derzeit eingesetzten Aufbereitungsanlagen für PET-Flaschen unterscheiden sich zwar im Alter und in den Detailverfahren, dennoch weisen die meisten Anlagen die nachstehenden Verfahrensschritte auf. Deren Reihenfolge kann je nach Anlagenkonzeption variieren.

- Ballenöffnung und Vereinzelung der Flaschen
- Manuelle oder automatische Sortierung (Entfernung von Störstoffen und Metallen teilweise Abtrennung von PVC und Farbtrennung von PET)
- Zerkleinerung der Flaschen zu Flakes
- Dichtentrennung (Separierung v.a. von PE, PP und EVOH)
- Waschprozess (meist warm mit NaOH)
- Mechanische und thermische Trocknung der PET-Flakes
- Abfüllung der PET-Flakes

Die in dieser Studie verwendeten Prozessdaten wurden im Rahmen der Studie im Auftrag von PETCORE [IFEU 2004b] erarbeitet und validiert. Für die Aufbereitung von Multilayer-Flaschen wird nach Information des DSD eine Verringerung der PET-Ausbeute um 2% angenommen.

3.8.4 Verwertung der Mischkunststoff-Fraktion

Ein Teil der erfassten transparenten PET-Flaschen sowie der Großteil der durchgefärbten, nicht-transparenten Flaschen fallen in den Sortieranlagen als Mischkunststoff an. Im Zuge der Weiterverarbeitung wird dieser zunächst zerkleinert, per Windsichtung gereinigt und dann in einem Thermoreaktor (Agglomerator) angeschmolzen und pelletiert. Der Energieverbrauch dafür wurde auf 1.188 MJ/t Input angesetzt. Die Daten gehen auf Angaben der DKR zurück [UBA 2001] und decken sich mit den Auftragnehmern vorliegenden Angaben eines Anlagenbetreibers.

Bei dem Verfahren handelt es sich um eine Trockenaufbereitung. Das heißt, es fällt kein direktes Abwasser an, da mit der Wertstofffraktion 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.

Thermische Verwertung

Im Jahr 2005 wurde der bei weitem größte Anteil der MKS thermisch verwertet. Dabei wurde das Material als Ersatzbrennstoff überwiegend Zementwerken, z.T auch als Reduktionsmittel in Hochöfen eingesetzt. Bilanztechnisch wurde angenommen, dass dabei fossile Energieträger ersetzt werden.

Rohstoffliche Verwertung

Ein kleinerer Teil der Mischkunststoffe wurde im Sekundärrohstoffverwertungszentrum SVZ bei Cottbus rohstofflich verwertet. Die Bilanzierung erfolgt auf Grundlage von Daten aus

[UBA 2000b, IVV 2001]. Als Produkt wird Methanol erhalten, dem als Gutschrift die Herstellung von Methanol aus Mineralöl angerechnet wurde.

Eine werkstoffliche Verwertung von MKS erfolgt in Bezug auf den PET-Anteil nicht, da diese Kunststoffart aus dem entsprechenden Verwertungsstrom als nicht erwünschter Bestandteil aussortiert wird.

3.9 Hintergrunddaten

Die in der UBA-Ökobilanz für die Bilanzierung der Bereitstellung von Netzstrom und LKW-Transporten verwendeten Daten (Emissionsfaktoren, Energiemix) bezogen sich auf den Stand etwa Mitte der 1990er Jahre. Mittlerweile wurden aufgrund von gesetzlichen Rahmenbedingungen insbesondere der EU (LKW-EURO-Normen, EU-Verordnung zu Großfeuerungsanlagen) erhebliche technische Veränderungen implementiert.

Die entsprechenden Daten wurden vom IFEU-Institut auf den durchschnittlichen Stand des Zeitraums 2000-2003 aktualisiert.

3.9.1 Lkw-Transporte

Für den Gütertransport auf der Straße wurde die derzeit auf den Straßen eingesetzte (dieselbetriebene) Lkw-Flotte modelliert.

Der Datensatz beruht auf Standardemissionsdaten, die für das Umweltbundesamt Berlin, Umweltbundesamt Wien und das Bundesamt für Umweltschutz (BUWAL), Bern in dem „Handbuch für Emissionsfaktoren“ [INFRAS 2004] zusammengestellt, validiert, fortgeschrieben und ausgewertet wurden. Alle Faktoren berücksichtigen die entsprechenden Zusammensetzungen des Kfz-Bestandes und ggf. Fahrleistungsanteile in Deutschland. Das „Handbuch“ ist eine Datenbankanwendung und liefert als Ergebnis den fahrleistungsbezogenen Kraftstoffverbrauch und die Emissionen differenziert nach **Lkw-Klassen**, **Straßenkategorien** und in gesonderten Berechnungen auch nach **Auslastungsgraden**.

Um die gebräuchlichsten Lkw-Typen abbilden zu können, wurden die sechs in der folgenden Tabelle 3-7 dargestellten Größenklassen gebildet.

Tabelle 3-7: Lkw-Fahrzeugklassen mit den zugehörigen zulässigen Gesamtgewichten und maximalen Nutzlasten

Klasse	Zulässiges Gesamtgewicht.	Maximale Nutzlast
1 Lkw	7,5 t	3,75 t
2 Solo Lkw	14 - 20 t	10,5 t
3 Solo Lkw	über 20 t	15,3 t
4 Lkw/Sattelzug	bis 32 t	20,5 t
5 Lkw-/Sattelzug	über 32 t	25 t
Quelle: Schmidt 1998		

Der Auslastungsgrad – das Verhältnis von tatsächlicher Zuladung zu maximaler Nutzlast – beeinflusst die spezifischen Transportaufwendungen wesentlich und wurde in dem Modell berücksichtigt. Der Dieselverbrauch teilt sich in den lastunabhängigen Teil B_{leer} , den der leere Lkw bereits benötigt, und den zuladungsabhängigen Verbrauch B_{last} , der linear mit dem

Transportgewicht und dem Auslastungsgrad zunimmt, auf (Abbildung 3-2). Da B_{leer} auf das gesamte Transportgut aufgeteilt wird, nehmen die spezifische Verbräuche bzw. Emissionen (bezogen auf das Transportgewicht) mit zunehmendem Auslastungsgrad ab.

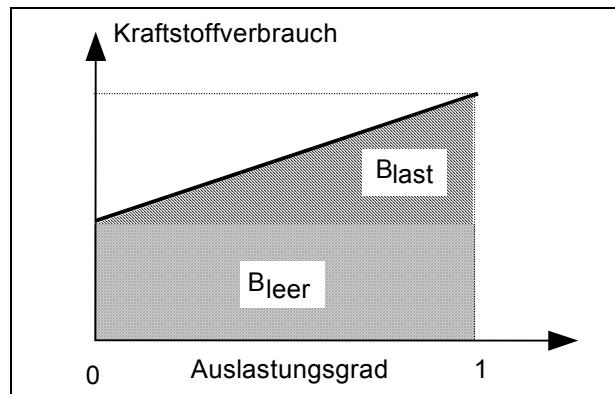


Abbildung 3-2: Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit vom Auslastungsgrad

Auf Basis der oben genannten Parameter Lkw-Klasse, Straßenkategorie und Auslastungsgrad wurden der Kraftstoffeinsatz und die Emissionen in Abhängigkeit von Transportgewicht und -entfernung bestimmt. Der in dieser Studie verwendete Datensatz bezieht sich auf das Jahr 2003.

3.9.2 Strombereitstellung

Die Strombereitstellung für Prozesse, die innerhalb des deutschen Bezugsraums angesiedelt sind, wurde mit dem deutschen Mix an Energieträgern bilanziert. Vorprodukte, deren Herstellung auch im Ausland erfolgt, wurden mit dem entsprechenden regionalen Energieträger-Mix berechnet, sofern das Aggregationsniveau der jeweiligen Datensätze eine separate Modellierung der Strombereitstellung ermöglichte.

Das Vorgehen bei der Modellierung der Strombereitstellung erfolgt - unabhängig von der regionalen Zuordnung – nach dem gleichen Prinzip. Der Mix an Energieträgern im deutschen Netzstrom wurde gemäß der Angaben des Verbands der Elektrizitätswirtschaft (VDEW)²⁶ auf den Stand 2003 aktualisiert (siehe Tabelle 3-8).

²⁶ Energieträgereinsatz zur Stromerzeugung AGE (Internet Stand 8. Aug. 2003, Tab. 2.10.1); Bruttostromerzeugung in Deutschland AGE (Internet Stand 5. Feb. 2004); Nettostromerzeugung in Deutschland VDEW (Internet, Stand 15.3.2004)

Tabelle 3-8: Kraftwerkssplit im Modell Netzstrom Deutschland 2003

Energieträger	BRD 2003 Anteile [%]
Steinkohle	23,9%
Braunkohle	26,1%
Mineralöl	1,1%
Naturgase	12,3%
Kernenergie	27,8%
Wasser (ohne Pumpspeicher)	3,6%
Windkraft	3,3%
Sonstige	1,8%

Quelle VDEW 2004: "Energiepolitik und Stromwirtschaft" für das Jahr 2003

Die Modellierung der Kraftwerke erfolgte auf der Basis von Messwerten, die dem IFEU von Betreibern deutscher Kraftwerke zur Verfügung gestellt wurden. Diese Daten wurden mit Hilfe von Literaturangaben, besonders [GEMIS 2001], [Ecoinvent 2003], ergänzt.

4 Ergebnisse - Bezug 2005

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der untersuchten Verpackungssysteme mit dem Bezugsjahr 2005 dargestellt. Dies betrifft die Füllgüter Saft/Nektar (Vorratshaltung und Sofortverzehr), Eistee sowie Milchmischgetränke, entsprechend der Übersicht in Abschnitt 2.3.1.

Die Ergebnisdarstellung erfolgt separat für die sieben betrachteten Umweltindikatoren (vgl. Kap. 1.10.1) sowie die Sachbilanzgröße *KEA gesamt*.²⁷

Für die graphische Darstellung der Indikatorergebnisse wird die Gesamtumweltwirkung der untersuchten Verpackungssysteme die nachfolgend aufgeführten Prozessgruppen (Sektoren) unterteilt. Die in den Grafiken verwendeten Kurzbezeichnungen der Sektoren werden hervorgehoben aufgeführt.

- Herstellung von Getränke-Rohkartons
Rohkarton
- Herstellung von Primäraluminium und Aluminiumfolie
Aluminiumfolie
- Herstellung von Kunststoffgranulat zur Produktion von Flaschen-Preforms (PET, PA) und Verbundkarton (LDPE)
Kunststoffe (Verbund / Flasche)
- Herstellung des Kartonverbunds aus den Packstoffen bzw. Herstellung von PET-Preforms und Flaschenblasen (SBM)
Herstellung (Verbund / Flasche)
- Herstellung der Flaschenetiketten aus Papier bzw. PE-Folie
Etikett (Flasche)
- Materialbereitstellung und Verschluss-Herstellung für Flaschen und Verbundkartons
Verschluss
- Herstellung der Materialien für Sekundär- und Tertiärverpackungen: Wellpappe-Trays, Paletten, Folie
Sek./Tert. Verpackung
- Abfüllung und Verpackung von PET-Flaschen und Getränkekartons
Abfüllung
- Distribution des der Verkaufseinheiten vom Abfüllbetrieb zum *point of sale*
Distribution
- Sammlung, Aufbereitung, Verwertung und Entsorgung von Verpackungsmaterial
Entsorgung + Recycling
- **Gutschrift Sekundärmaterialien**
- Nutzenergie aus Abfallverbrennung und thermischer Verwertung
Gutschrift Energie

²⁷ Sowohl der *fossile Ressourcenverbrauch* als auch *KEA gesamt* charakterisieren den Energieeinsatz, weswegen hier eine gewisse Doppelbewertung erfolgt. Im Gegensatz zum *fossilen Ressourcenverbrauch* erfasst der *Kumulierte Energieaufwand* jedoch auch den Verbrauch nuklearer und erneuerbarer Energieträger.

In der ersten (gestaffelten) Säule der Ergebnisgrafiken werden die Aufwändungen des jeweiligen Systems (ohne Gutschriften) dargestellt. Die Beträge der Gutschriften werden als negative Balkenabschnitte abgebildet. Dabei handelt es sich um Materialien bzw. Energie, die im open-loop die Systemgrenze überschreiten und für andere Produktsysteme bereit stehen. Die Gutschrift erfolgt für die Substitution primärer Rohstoffe bzw. die vermiedenen Emissionen.

Das **Nettoergebnis** ergibt sich aus System minus Gutschrift. Der entsprechende Balken ist **grau** dargestellt, auf eine sektorale Untergliederung wird hierbei verzichtet. Der Vergleich unterschiedlicher Verpackungssysteme erfolgt auf Basis der Nettoergebnisse.

Alle Ergebnisse beziehen sich auf die funktionelle Einheit: Bereitstellung von 1000 L Getränk im Handel.

Die Besprechung der Ergebnisse stützt sich im Wesentlichen auf die Auswertung der fünf vom Umweltbundesamt als prioritär eingestuften Umweltwirkungskategorien *Ressourcenverbrauch*, *Treibhauseffekt*, *Versauerung*, *terrestrische Eutrophierung* und *Sommersmog*.

Neben den Balkendiagrammen erfolgt eine Auswertung in Form von Tabellen. Darin sind die prozentualen Unterschiede für wichtige Systemvergleiche enthalten. Eine Signifikanzschwelle der angegebenen Unterschiede wird an dieser Stelle nicht definiert, da diskrete Schwellenangaben in Ökobilanzuntersuchungen sehr stark vom gewählten Systemumfang und den szenariobedingten Variationen abhängen und streng mathematisch nicht belastbar hergeleitet werden können. Es ist jedoch selbstverständlich, dass große prozentuale Abweichungen (etwa solche im zweistelligen %-Bereich) aussagekräftiger sind als kleine. Dies sollte der Leser bei der Interpretation der Tabellen des Kapitels 4 beachten. Weitere Ausführungen zu diesem Aspekt finden sich im Kapitel 7.

4.1 Ergebnisse für Saft/Nektar: Vorratshaltung

Die Ergebnisse der Verpackungssysteme für Saft/Nektar im Marktsegment Vorratshaltung sind in den Abbildung 4-1 und 4-2 dargestellt. Die Beschreibung der Systeme erfolgt hier in einer gewissen Ausführlichkeit, stellvertretend für ähnliche Ergebnisse in anderen Marktsegmenten, so dass dort nur mehr auf Abweichungen bzw. besondere Erkenntnisse hingewiesen werden muss.

4.1.1 Verpackungssystem Getränkekarton

Die Ergebnisbeschreibung für Getränkekartons im Marktsegment Saft/Nektar – Vorratshaltung erfolgt zunächst für das mengenmäßig wichtigste Verpackungssystem, **1000 mL-Karton mit Ausgusshilfe (2.02 S)**. In den Abbildungen sind ebenfalls die Varianten Karton ohne Verschluss (2.01 S) sowie 1500mL Karton (2.03 S) enthalten.

Das Kartonsystem wird in allen Indikatoren von der Herstellung der Packstoffe Aluminiumfolie, Polyethylen und Getränkeohrkarton geprägt. In Summe tragen dieser Sektoren ca. 50 bis 70% zum Systemaufwand bei. Besonders hohe Einzelbeiträge bestehen für die Kunststoffherstellung bei *Sommersmog* und *fossilen Ressourcenverbrauch* (> 30%) sowie für Aluminiumfolie bei *Versauerung* (30%) und *Sommersmog* (34%). Die große Relevanz des Aluminiumsektors ist umso bemerkenswerter, da der Massenanteil dieses Materials an der Primärverpackung nur knapp 5% beträgt.

Erwartungsgemäß werden die Kategorien mittlerer Priorität (*aquatische Eutrophierung* und *Naturraumbeanspruchung Forst*) von der Rohkartonherstellung dominiert (~80%). Größere

Bedeutung hat dieser Sektor aber auch für *Versauerung* und *terrestrische Eutrophierung* (>20%). Dies ist v.a. auf die Erzeugung der benötigten Prozessenergie zurückzuführen. Während der Rohkartonanteil am *fossilen Ressourcenverbrauch* bei nur 12% liegt, trägt der Sektor zu 41% zum *KEA gesamt* bei. Ein solcher Bedeutungsunterschied in diesen beiden Kategorien ist bei den anderen Sektoren nicht zu finden. Er geht darauf zurück, dass der Energiegehalt des verwendeten Holzes zur Rohkartonproduktion beim KEA angerechnet wird.

Mit 4-7% Beitrag in den prioritären Kategorien ist die eigentliche Verbundherstellung von eher untergeordneter Bedeutung. Mit maximal 5% Beitrag ist die Relevanz des Sektors Abfüllung noch geringer.

Die Herstellung der Ausgusshilfen hat 17% Anteil am *fossilen Ressourcenverbrauch*, in den anderen Kategorien liegen die Beiträge bei 7-8%. Die Bereitstellung der Sekundär- und Tertiärverpackung zeigt Beiträge um 10%, die v.a. auf die Wellkartonherstellung zurückgehen. Bei *aquatischer Eutrophierung* und *Naturraumbeanspruchung Forst* liegen die Anteile des Sektors bei knapp 20%. Die Distribution ist nur für die Umweltkategorie *terrestrische Eutrophierung* von Bedeutung (8%).

Die Beiträge des Sektors Entsorgung und Recycling sind sehr unterschiedlich, Bedeutung hat er v.a. bei *terrestrischer Eutrophierung* (14%) und *Treibhauseffekt* (23%), da dem Sektor die Emissionen aus der Verbrennung der Verpackungskomponenten angerechnet werden.

Die relative Bedeutung der Gutschriften (Sekundärmaterial und Energie) liegt zwischen 8% (*Sommersmog*) und 35% (*Treibhauseffekt*). Dabei überwiegt der Anteil der Gutschriften für substituierte Energie.

Für die Berechnung der Variante des **Getränkekartons ohne Ausgusshilfe (1.01 S)** wurde eine (leicht) modifizierte Verpackungsspezifikation herangezogen (vgl. Tabelle 2-1, geringeres Verbundgewicht). Die Ergebnisse dieses Systems ähneln jedoch denen des zuvor beschriebenen Kartons mit Verschluss, natürlich entfällt der Bereich Verschlussherstellung, wodurch sich die relative Bedeutung der übrigen Sektoren etwas verschiebt.

Vor allem bei *Treibhauseffekt* und *Versauerung* macht sich der Verzicht auf die Ausgusshilfe doppelt bemerkbar: Neben dem entfallenden Sektor Verschluss sind auch die absoluten Werte des Sektors Entsorgung/Recycling deutlich geringer, da weniger Kunststoff verbrannt werden muss.

Die Netto-Ergebnisse dieser Variante sind zwischen 8 und 28% geringer als die des Basis-szenarios (2.02 S) mit Verschluss. Am größten ist der Unterschied beim *fossilen Ressourcenverbrauch*.

Bezogen auf die funktionelle Einheit muss auch für den **Getränkekarton mit 1500 mL-Volumen (1.03 S)** etwas weniger Verpackungsmaterial eingesetzt werden (weniger Verbund- und Verschlussmaterial). Die Nettoergebnisse liegen bei den prioritären Indikatoren um 8-15% niedriger als im System 1.02 S 1000 mL. Bei *Naturraumbeanspruchung* und *aquatischer Eutrophierung* besteht praktisch kein Unterschied.

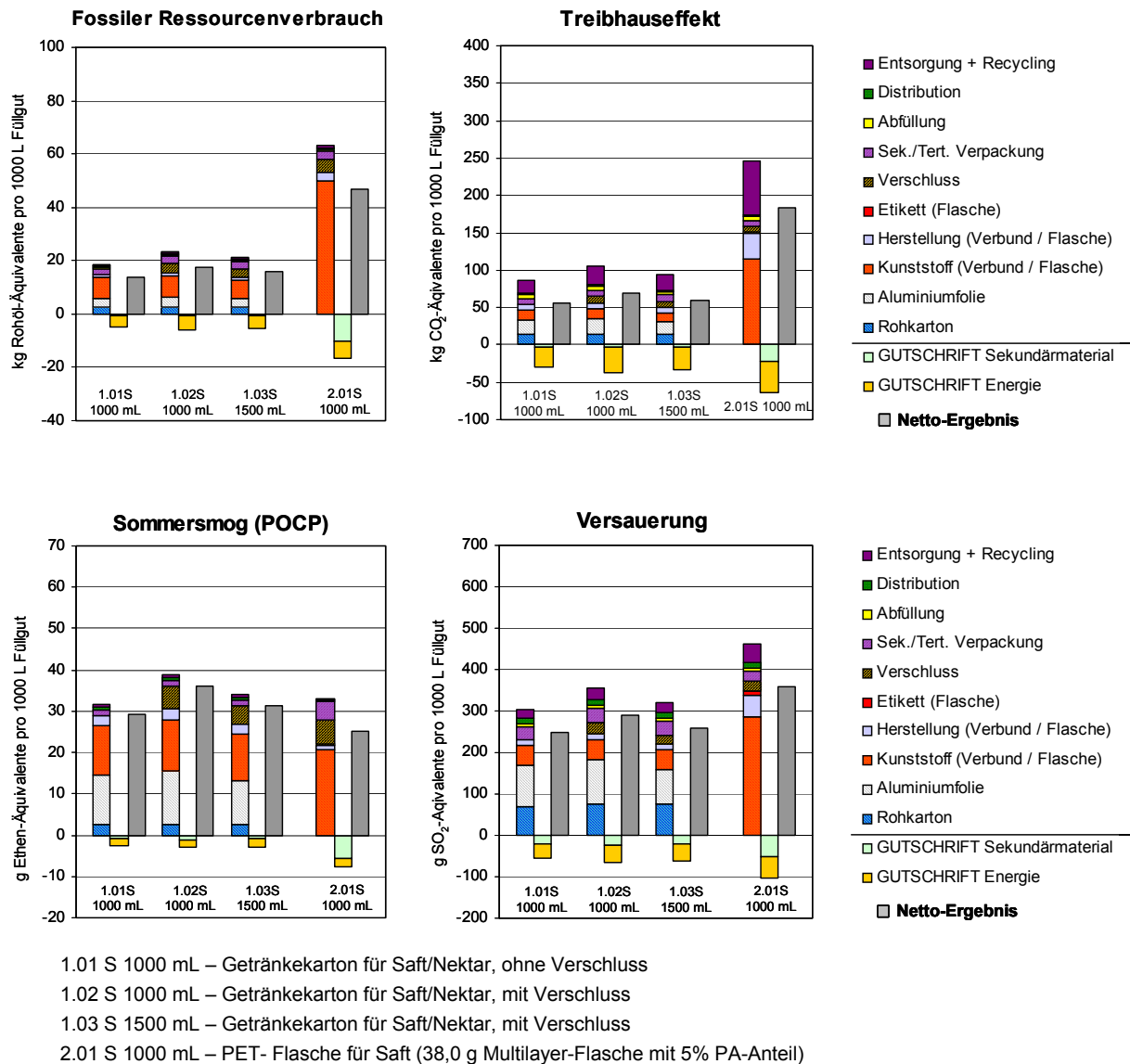


Abbildung 4-1: Indikatorergebnisse der betrachteten Verpackungssysteme im Marktsegment Vorratshaltung bezogen auf die Verpackung und Distribution von 1000 L Saft/Nektar

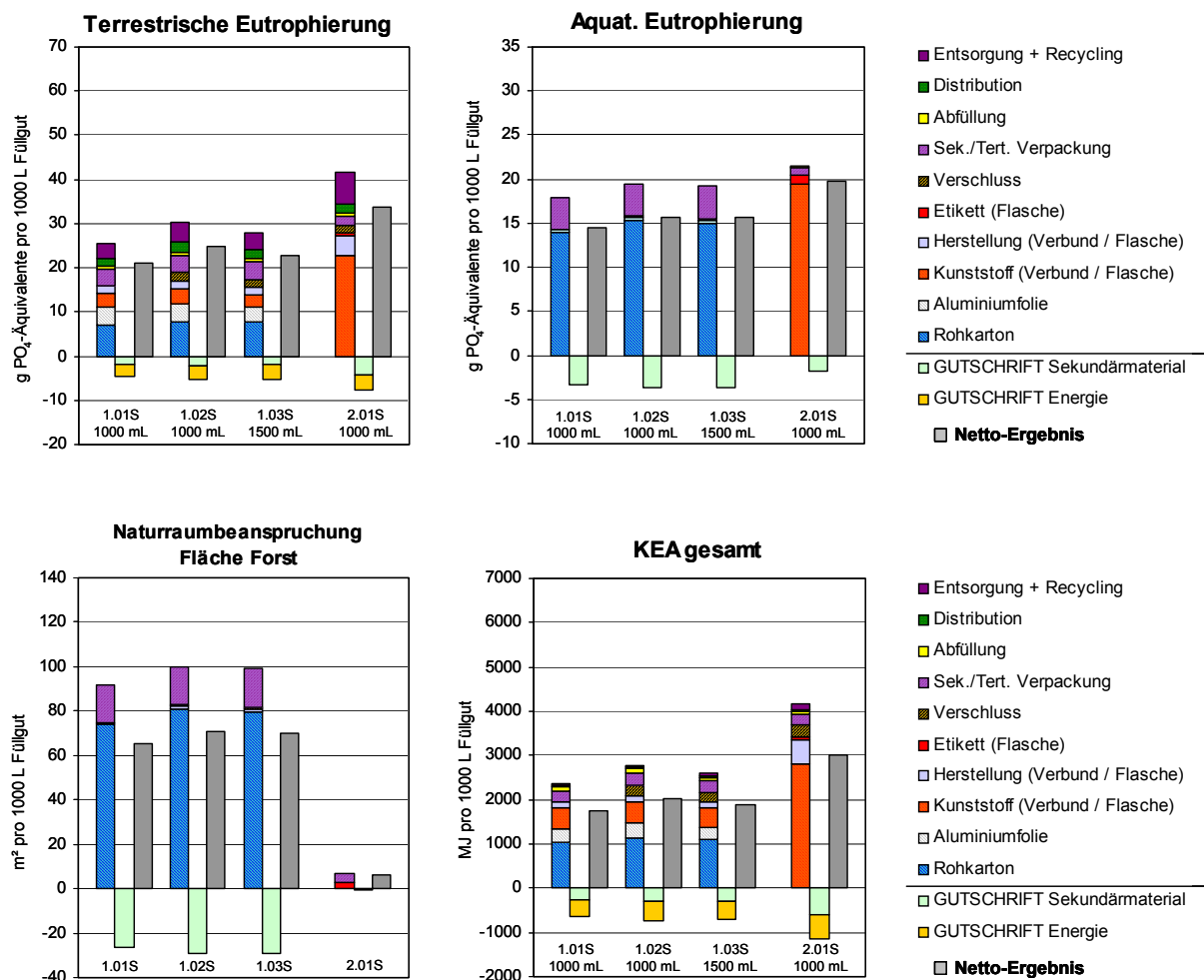
Ökologische Relevanzeinstufung der Indikatoren durch das UBA:

Beanspruchung fossiler Ressourcen: große Priorität

Treibhauseffekt: sehr große Priorität

Sommersmog: große Priorität

Versauerung: große Priorität



1.01 S 1000 mL – Getränkekarton für Saft/Nektar, ohne Verschluss

1.02 S 1000 mL – Getränkekarton für Saft/Nektar, mit Verschluss

1.03 S 1500 mL – Getränkekarton für Saft/Nektar, mit Verschluss

2.01 S 1000 mL – PET-Flasche für Saft (38,0 g Multilayer-Flasche mit 5% PA-Anteil)

Abbildung 4-2: Indikatorergebnisse der betrachteten Verpackungssysteme im Marktsegment Vorratshaltung bezogen auf die Verpackung und Distribution von 1000 L Saft/Nektar

Ökologische Relevanzeinstufung der Indikatoren durch das UBA:

Terrestrische Eutrophierung: große Priorität

Aquatische Eutrophierung: mittlere Priorität

Naturraumbeanspruchung – Fläche Forst: mittlere Priorität

Kumulierter Energieaufwand (KEA gesamt): keine Einstufung

4.1.2 Verpackungssystem PET-Flasche

Die Ergebnisse der hier betrachteten PET-Multilayerflasche werden in allen Kategorien deutlich von der Herstellung des Flaschenmaterials dominiert (Flasche besteht aus 95% PET, 5% PA). Die Beiträge des entsprechenden Sektors liegen für die prioritären Indikatoren zwischen 47% (*Treibhauseffekt*) und 79% (*fossiler Ressourcenverbrauch*). Bemerkenswert ist der hohe Beitrag des Sektors bei *aquatischer Eutrophierung* (90%). In einer Detailanalyse wurde ermittelt, dass - trotz des geringen Massenanteils - mehr als die Hälfte dieser Umweltwirkung durch die Herstellung des PA-Granulats verursacht wird.

Die energieintensive Herstellung von Preforms und PET-Flaschen hat einen deutlichen Anteil an den Gesamtumweltwirkungen (3-14% in den prioritären Kategorien).

Wie beim Getränkekarton sind die Sektoren Abfüllung und Distribution von untergeordneter Bedeutung (jeweils <5%). Die Verschlussherstellung hat nur in der Kategorie *Sommersmog* einen größeren Anteil (18%). Gleiches gilt für die Herstellung der Sekundär- und Tertiärverpackung (14% bei *Sommersmog*). Die Beiträge für die Herstellung der Papieretiketten sind sehr gering (~2%).

Die Relevanz von „Entsorgung und Recycling“ ist in den einzelnen Kategorien sehr unterschiedlich. Beim *fossilen Ressourcenverbrauch* liegt der Anteil bei 2%, beim *Treibhauseffekt* ist er mit 29% am größten.

Die Bedeutung der Gutschriften ist relativ groß. In den prioritären Kategorien entspricht die Höhe der Gutschrift 19-26% des Systemaufwands. Sekundärmaterialien und substituierte Energie tragen in etwa gleichem Maße zur Gutschrift bei.

4.1.3 Vergleich Getränkekarton und PET-Flasche (Saft, Vorratshaltung)

Der Systemvergleich von Getränkekarton und PET-Flasche ist in Tabelle 4-1 enthalten, bezogen auf die Nettoergebnisse. Aus den Abbildungen und der Tabelle geht hervor, dass der Getränkekarton mit Ausgushilfe (1.02 S) in 6 der betrachteten 8 Kategorien deutlich geringer Indikatorwerte aufweist als die PET-Flasche.

Der größte Systemunterschied besteht bei der Naturraumbeanspruchung. Für den Getränkekarton wird eine um das 10fache größere Forstfläche benötigt als für das PET-System. Bemerkenswert ist aber auch der große Unterschied bei *Treibhauseffekt* und *fossilem Ressourcenverbrauch*. Bei diesen Indikatoren ist die Umweltwirkung der PET-Flasche mehr als doppelt so hoch als die des Kartons.

Tabelle 4-1 Vergleich Getränkekarton (mit Verschluss) und PET-Einweg im Marktsegment Saft/Nektar - Vorratshaltung (1000 mL Füllvolumen)

Indikator	Karton (1.02 S 1000 mL) versus PET (2.01 S 1000 mL)
Treibhauseffekt	-167%
Fossiler Ressourcenverbrauch	-164%
Sommersmog (POCP)	42%
Versauerung	-23%
Terrestrische Eutrophierung	-37%
Aquatische Eutrophierung	-26%
Naturraumbeanspruchung - Fläche Forst	999%
Kumulierter Energieaufwand (KEA) gesamt	-48%

Relative Systemunterschiede, bezogen auf das jeweils kleinere Ergebnis
(Rechnerische Unterschiede ohne Festlegung einer Signifikanzschwelle).

negative Werte: Indikatorwert des Getränkekartons ist kleiner als derjenige der PET-Flasche

positive Werte: Indikatorwert des Getränkekartons ist größer als derjenige der PET-Flasche

Beim Vergleich der anderen beiden Getränkekartonsysteme (1.01 S, 1.03 S) mit der PET-Flasche verschiebt sich das oben beschriebene Ergebnis geringfügig zu Gunsten der Kartons. Die geringere Umweltwirkung des PET-Systems bei *Sommersmog* und *Naturraumbeanspruchung (Forst)* bleibt jedoch bestehen.

4.2 Ergebnisse für Saft/Nektar: Sofortverzehr

In Abbildung 4-3 und 4-4 sind die Ergebnisse der Verpackungssysteme für Saft/Nektar im Marktsegment Sofortverzehr dargestellt. Untersucht wurden Getränkekartons mit 500 mL- und 200 mL-Füllvolumen sowie PET-Einwegflaschen mit 500 mL- und 330 mL-Volumen.

In den Darstellungen ist die 330 mL-Flasche (2.03 S) durch eine gestrichelte Linie von den übrigen Systemen getrennt. Dadurch soll kenntlich gemacht werden, dass die Barrierewirkung dieses Flaschentyps (ohne Barrierelage, ohne Additive) geringer ist, als die der übrigen Systeme. Es besteht nur eine eingeschränkte Funktionsgleichheit, da diese 330 mL-Flasche eine kürzere Mindesthaltbarkeit des Füllgutes gewährleisten dürfte.

4.2.1 Verpackungssysteme Getränkekarton

Hier werden nur **500mL-Kartons mit Ausgusshilfe** betrachtet (1.04 S; entspricht ca. zwei Drittel des Marktes). Für die Herleitung des mittleren Verschlussgewichts (3,4 g) wurden Verpackungen *nicht* berücksichtigt, die mit leichten *Pull Tabs* ausgestattet sind. Die Indikatorergebnisse für den Gesamtmarkt sind demnach etwas geringer, als die hier vorgestellten Ergebnisse.

Die Beiträge der einzelnen Sektoren zur Gesamtumweltwirkung entsprechen in etwa dem Bild, das sich bei 1 L-Kartons zeigte. Der Sektor Verschluss tritt jedoch deutlicher hervor und hat großen Anteil an den Indikatorwerten bei *Sommersmog* (23%) und *fossilem Ressourcenverbrauch* (27%).

Für die Getränkeabfüllung in **200 mL-Kartons (1.05 S)** ist der Einsatz von Verbundmaterial - bezogen auf das abgefüllte Volumen - etwas höher als bei 500 mL-Kartons. Die Bedeutung der Packstoffherstellung ist entsprechend größer. Dies gilt besonders für den Sektor Aluminiumfolie.

Die kleinvolumigen Getränkekartons sind vollständig mit Trinkhalmen ausgestattet. Die Herstellung dieser leichten Ausgusshilfe, einschließlich des umhüllenden Blisters, hat jedoch keinen großen Anteil an den Umweltwirkungen des Gesamtsystems.

Die Netto-Ergebnisse des 500mL-Kartons mit Verschluss sind denen der 200 mL-Verpackung sehr ähnlich.

4.2.2 Verpackungssysteme PET-Flaschen

Die PET-Flaschen werden sehr stark vom Sektor Kunststoffherstellung dominiert. In der Kategorie *Treibhauseffekt* ist zusätzlich auch die Entsorgung von großer Bedeutung.

Das Wirkungsprofil der leichten 330 mL-Monolayerflasche ist praktisch identisch mit dem der 500 mL-Multilayerflasche. Ein deutlicher Unterschied besteht allerdings in der Kategorie *aquatische Eutrophierung*. Da die kleine Flasche kein Polyamid als Barrierematerial enthält, ist ihre Umweltwirkung in dieser Kategorie nur halb so groß wie die der Multilayer-Flasche.

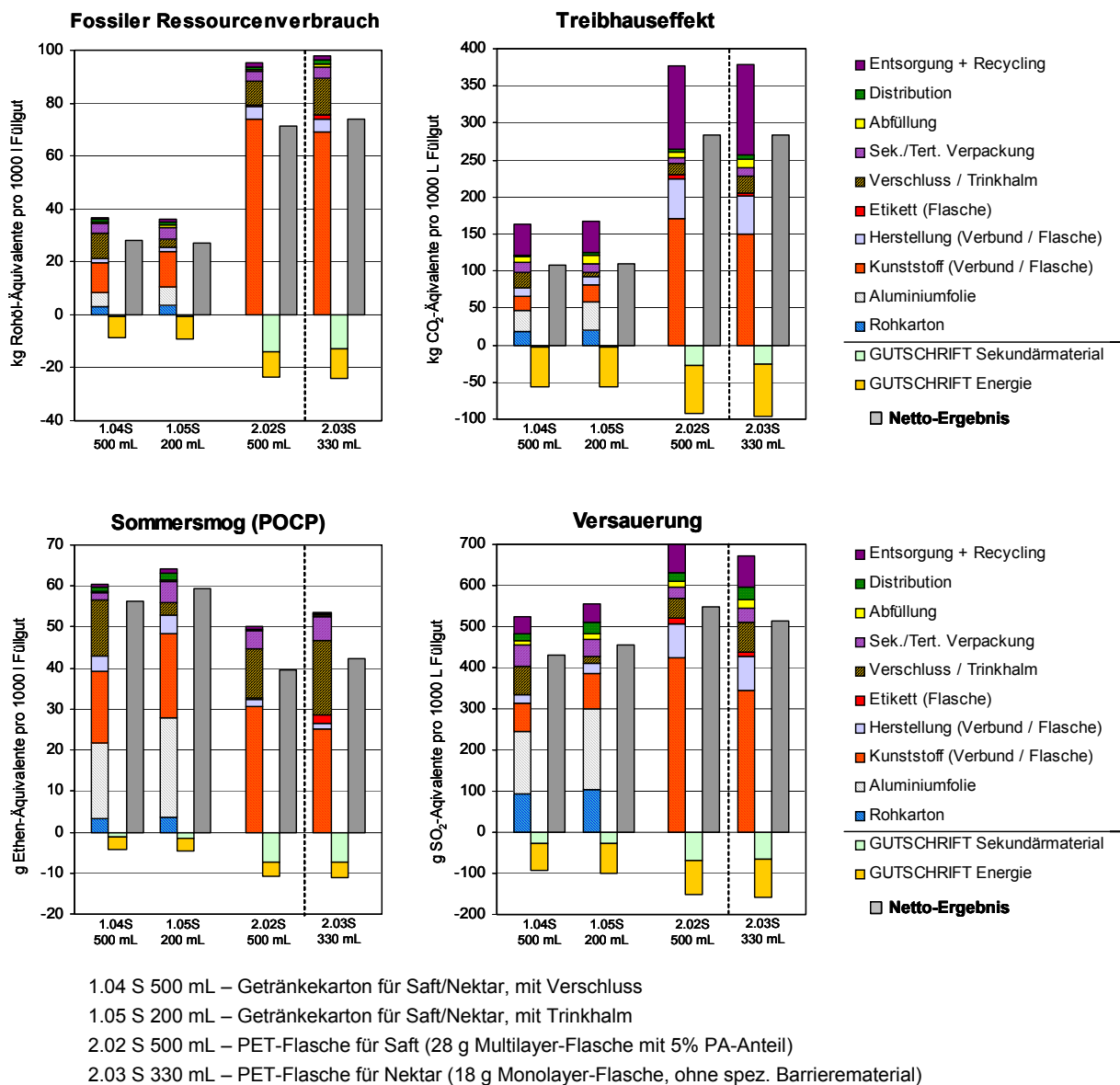


Abbildung 4-3: Indikatorergebnisse der betrachteten Verpackungssysteme im Marktsegment So-
fortverzehr bezogen auf die Verpackung und Distribution von 1000 L Saft/Nektar

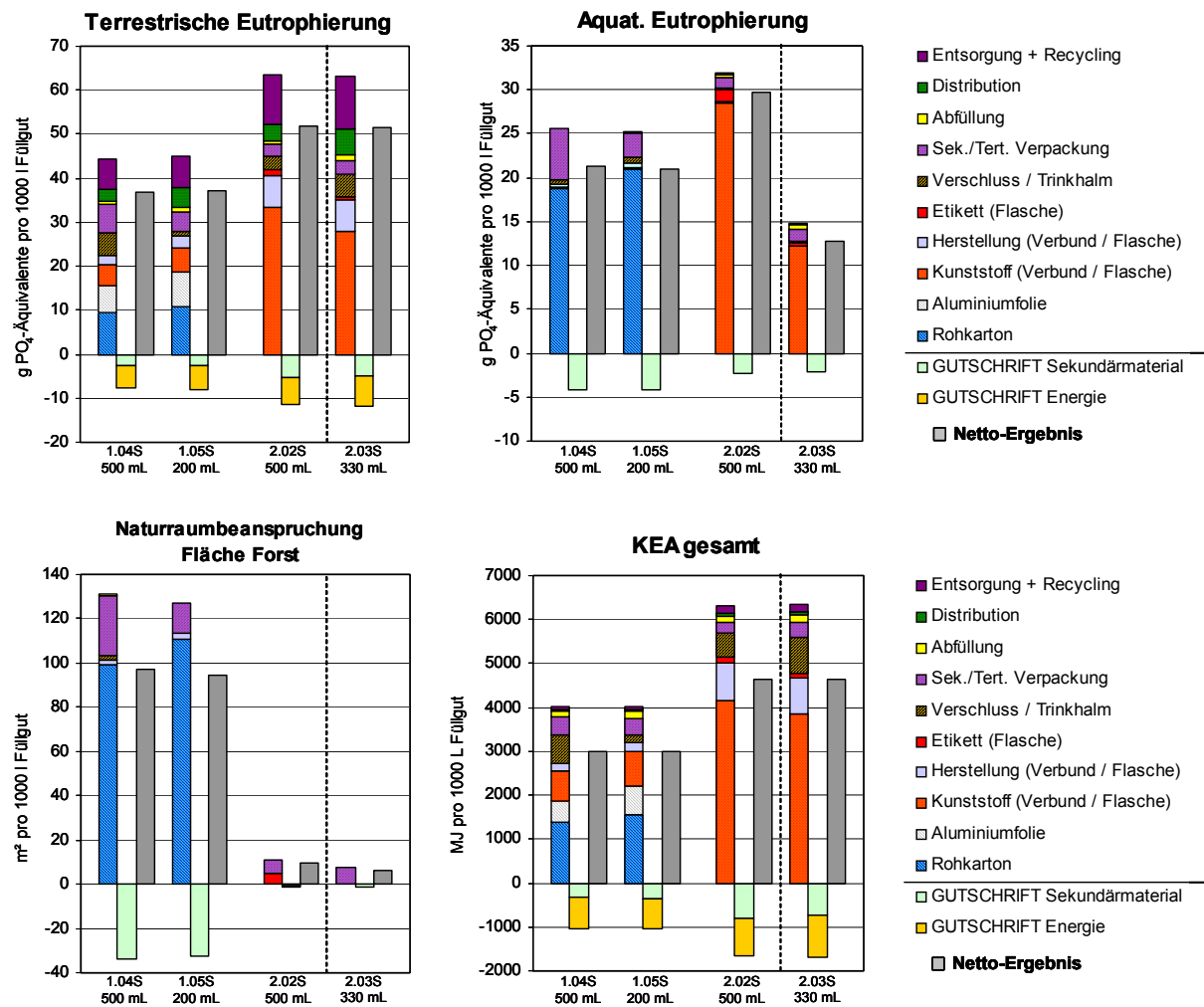
Ökologische Relevanzeinstufung der Indikatoren durch das UBA:

Beanspruchung fossiler Ressourcen: große Priorität

Treibhauseffekt: sehr große Priorität

Sommersmog: große Priorität

Versauerung: große Priorität



1.04 S 500 mL – Getränkekarton für Saft/Nektar, mit Verschluss

1.05 S 200 mL – Getränkekarton für Saft/Nektar, mit Trinkhalm

2.02 S 500 mL – PET-Flasche für Saft (28 g Multilayer-Flasche mit 5% PA-Anteil)

2.03 S 330 mL – PET-Flasche für Nektar (18 g Monolayer-Flasche ohne spez. Barrierematerial)

Abbildung 4-4: Indikatorergebnisse der betrachteten Verpackungssysteme im Marktsegment Sofortverzehr bezogen auf die Verpackung und Distribution von 1000 L Saft/Nektar

Ökologische Relevanzeinstufung der Indikatoren durch das UBA:

Terrestrische Eutrophierung: große Priorität

Aquatische Eutrophierung: mittlere Priorität

Naturraumbeanspruchung – Fläche Forst: mittlere Priorität

Kumulierter Energieaufwand (KEA gesamt): keine Einstufung

4.2.3 Vergleich der Verpackungssysteme

Der Vergleich der Verpackungssysteme erfolgt paarweise in Tabelle 4-2, separat für die 500 mL-Gebinde und die kleinvolumigen „portion packs“.

Tabelle 4-2 Vergleich von Getränkekartons und PET-Einweg im Marktsegment Saft/Nektar - Sofortverzehr (500 mL Füllvolumen und „portion packs“)

Indikator	Karton (1.04 S 500 mL) versus PET (2.02 S 500 mL)	Karton (1.05 S 200 mL) versus PET (2.03 S 330 mL)
Treibhauseffekt	-162%	-156%
Fossiler Ressourcenverbrauch	-152%	-175%
Sommersmog (POCP)	+43%	+40%
Versauerung	-27%	-13%
Terrestrische Eutrophierung	-41%	-39%
Aquatische Eutrophierung	-39%	+66%
Naturraumbeanspruchung - Fläche Forst	+892%	+1448%
Kumulierter Energieaufwand (KEA) gesamt	-55%	-56%

Relative Systemunterschiede, bezogen auf das jeweils kleinere Ergebnis (Rechnerische Unterschiede ohne Festlegung einer Signifikanzschwelle).

negative Werte: Indikatorwert des Getränkekartons ist kleiner als derjenige der PET-Flasche

positive Werte: Indikatorwert des Getränkekartons ist größer als derjenige der PET-Flasche

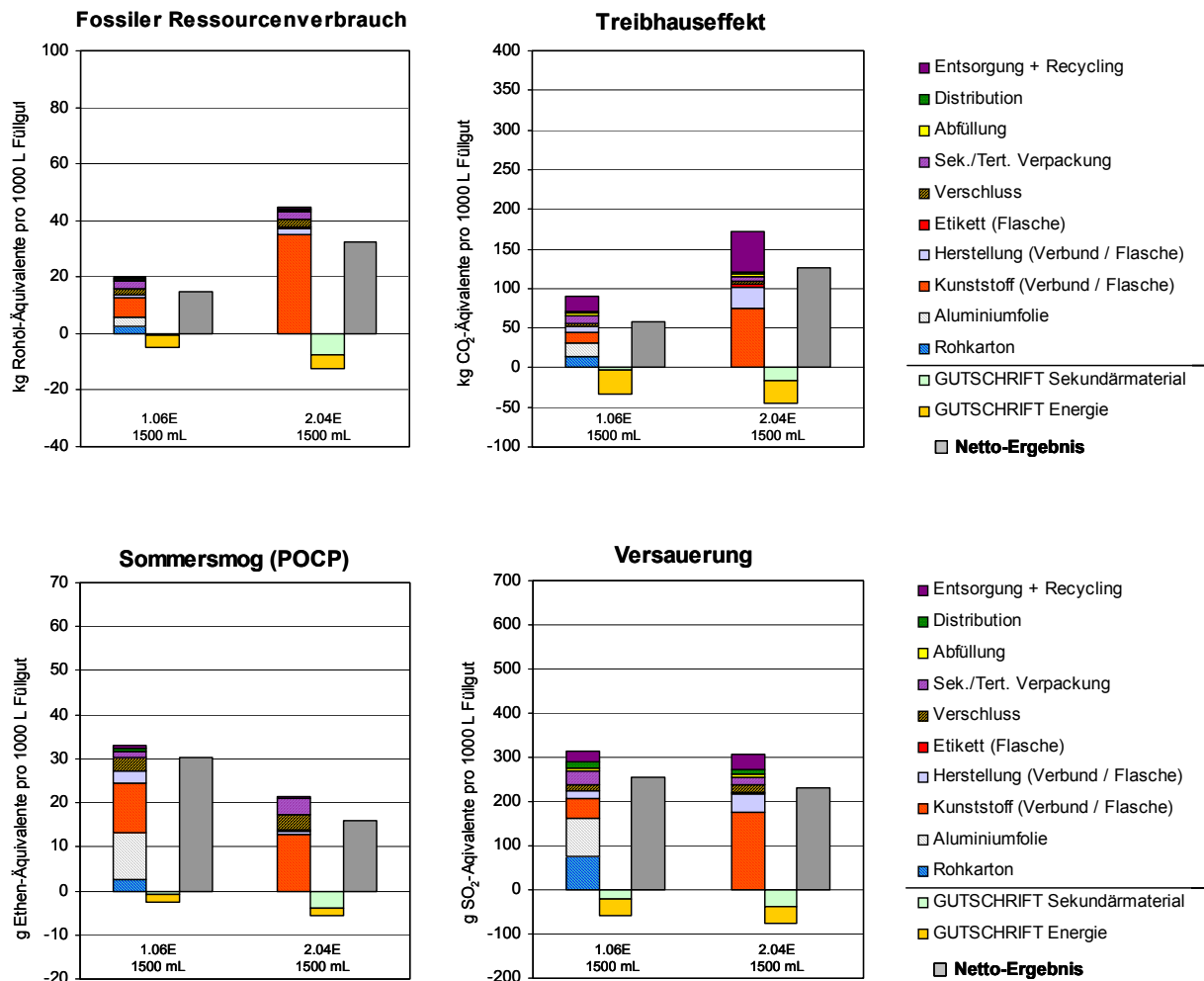
Der Systemvergleich der 500 mL-Verpackungen ergibt praktisch das gleiche Bild wie für den oben beschriebenen Marktbereich Vorratshaltung. Auch hier zeigt der Karton deutlich geringere Indikatorwerte in 6 Kategorien. Auch die relativen Systemunterschiede für die einzelnen Kategorien entsprechen im Wesentlichen denen bei 1000 mL-Verpackungen.

Beim Vergleich der kleinvolumigen Verpackungen (200/330 mL) ergeben sich in 4 der 5 prioritären Umweltkategorien geringere Indikatorwerte für den Karton. In der Kategorie *Versauerung* besteht nur ein relativ geringer Unterschied. Für *Sommersog* ist der Indikatorwert des Kartons höher.

Im Unterschied zum Vergleich der 500 mL-Gebinde ist bei den kleinvolumigen Verpackungen der Indikatorwert des Kartons für *aquatische Eutrophierung* deutlich höher. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die betrachtete 330 mL-Flasche kein PA enthält

In den Kategorien *Treibhauseffekt* und *fossile Ressourcenverbrauch* sind die Indikatorwerte beider Kartonsysteme weniger als halb so groß wie die entsprechender PET-Einwegflaschen. Die *Naturraumbeanspruchung (Forst)* der Kartonsysteme ist um ein vielfaches höher als für PET-Flaschen.

4.3 Ergebnisse für Eistee: Vorratshaltung



1.06 E 1500 mL – Getränkekarton für Eistee, mit Verschluss

2.04 E 1500 mL – PET-Flasche für Eistee (41,5 g Monolayer-Flasche, ohne Barriere)

Abbildung 4-5: Indikatorergebnisse der betrachteten Verpackungssysteme im Marktsegment Vorratshaltung bezogen auf die Verpackung und Distribution von 1000 L Eistee

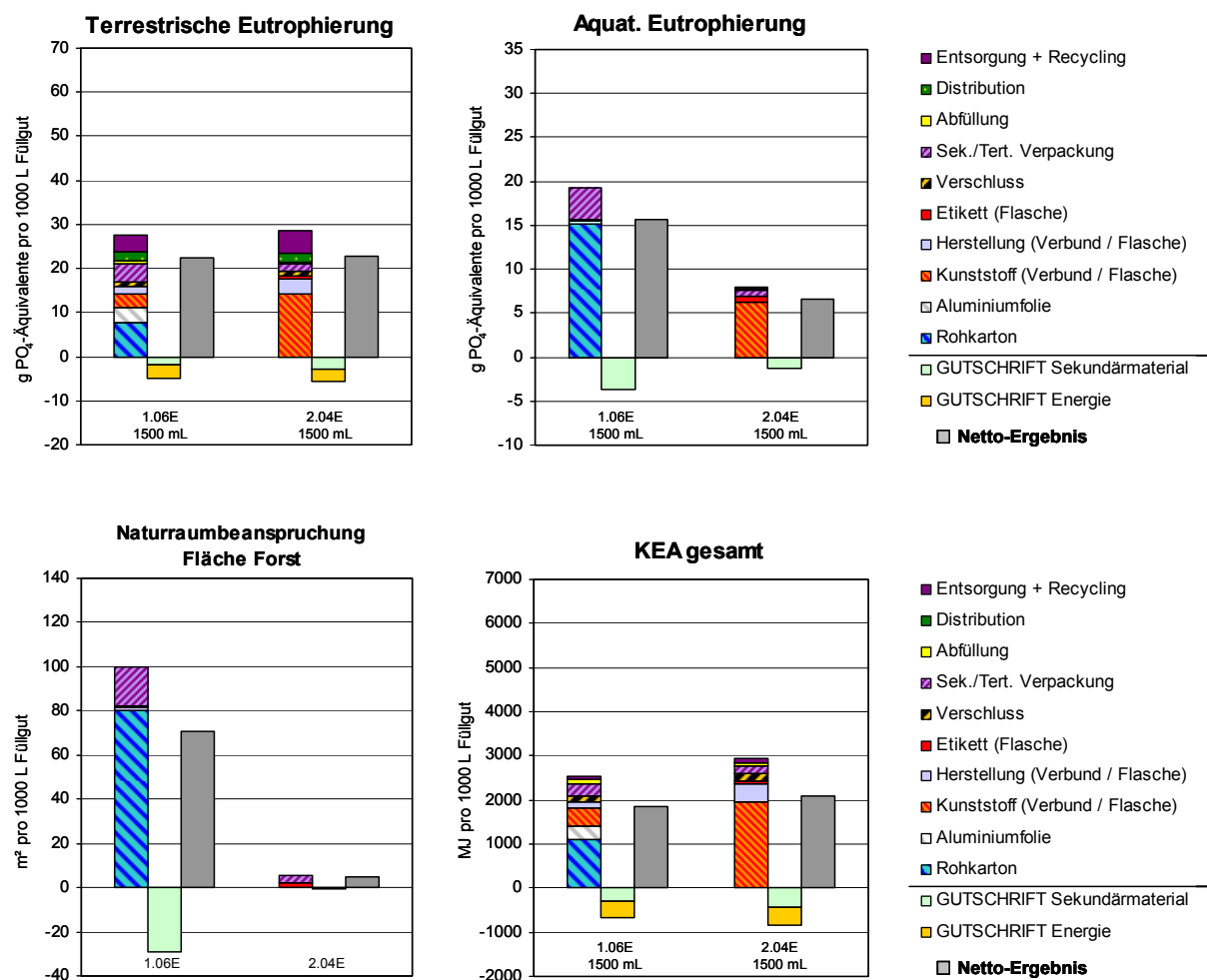
Ökologische Relevanzeinstufung der Indikatoren durch das UBA:

Beanspruchung fossiler Ressourcen: große Priorität

Treibhauseffekt: sehr große Priorität

Sommersmog: große Priorität

Versauerung: große Priorität



1.06 E 1500 mL – Getränkekarton für Eistee, mit Verschluss

2.04 E 1500 mL – PET-Flasche für Eistee (41,5 g Monolayer-Flasche, ohne Barriere)

Abbildung 4-6: Indikatorergebnisse der betrachteten Verpackungssysteme im Marktsegment Vorratshaltung bezogen auf die Verpackung und Distribution von 1000 L Eistee

Ökologische Relevanzeinstufung der Indikatoren durch das UBA:

Terrestrische Eutrophierung: große Priorität

Aquatische Eutrophierung: mittlere Priorität

Naturraumbeanspruchung – Fläche Forst: mittlere Priorität

Kumulierter Energieaufwand (KEA gesamt): keine Einstufung

Die Verpackungsspezifikation des Getränkekartons für Eistee (1.05 E 1500 mL) ist im Wesentlichen mit der des 1500 mL-Kartons für Saft/Nektar vergleichbar. Die betrachtete PET-Flasche für Eistee mit 1500 mL Volumen (2.04 E) unterscheidet sich jedoch deutlich von der bisher betrachteten Saftflasche im Marktsegment Vorratshaltung. Da Eistee kein „empfindliches Füllgut“ ist, können zur Verpackung Monolayer-Flaschen ohne besondere Barriereigenschaften eingesetzt werden.

Aus dem Vergleich der Nettoergebnisse (Tabelle 4-3) können folgende Feststellungen zum Vergleich der Eistee-Verpackungen abgeleitet werden:

Die Indikatorwerte des Kartons sind in den Kategorien *Treibhauseffekt* und *fossilem Ressourcenverbrauch* deutlich kleiner als die der PET Flasche.

In den Kategorien *Sommersmog*, *aquatische Eutrophierung* und *Naturraumbeanspruchung* sind die Indikatorwerte des Kartons deutlich höher.

Bei der *Versauerung* sind die Unterschiede der Indikatorwerte relativ gering, bei der *terrestrischen Eutrophierung* weisen beide Systeme die nahezu gleichen Indikatorergebnisse auf.

Tabelle 4-3 Vergleich Getränkekarton und PET-Einweg im Marktsegment Vorratshaltung Eistee (1500 mL Füllvolumen)

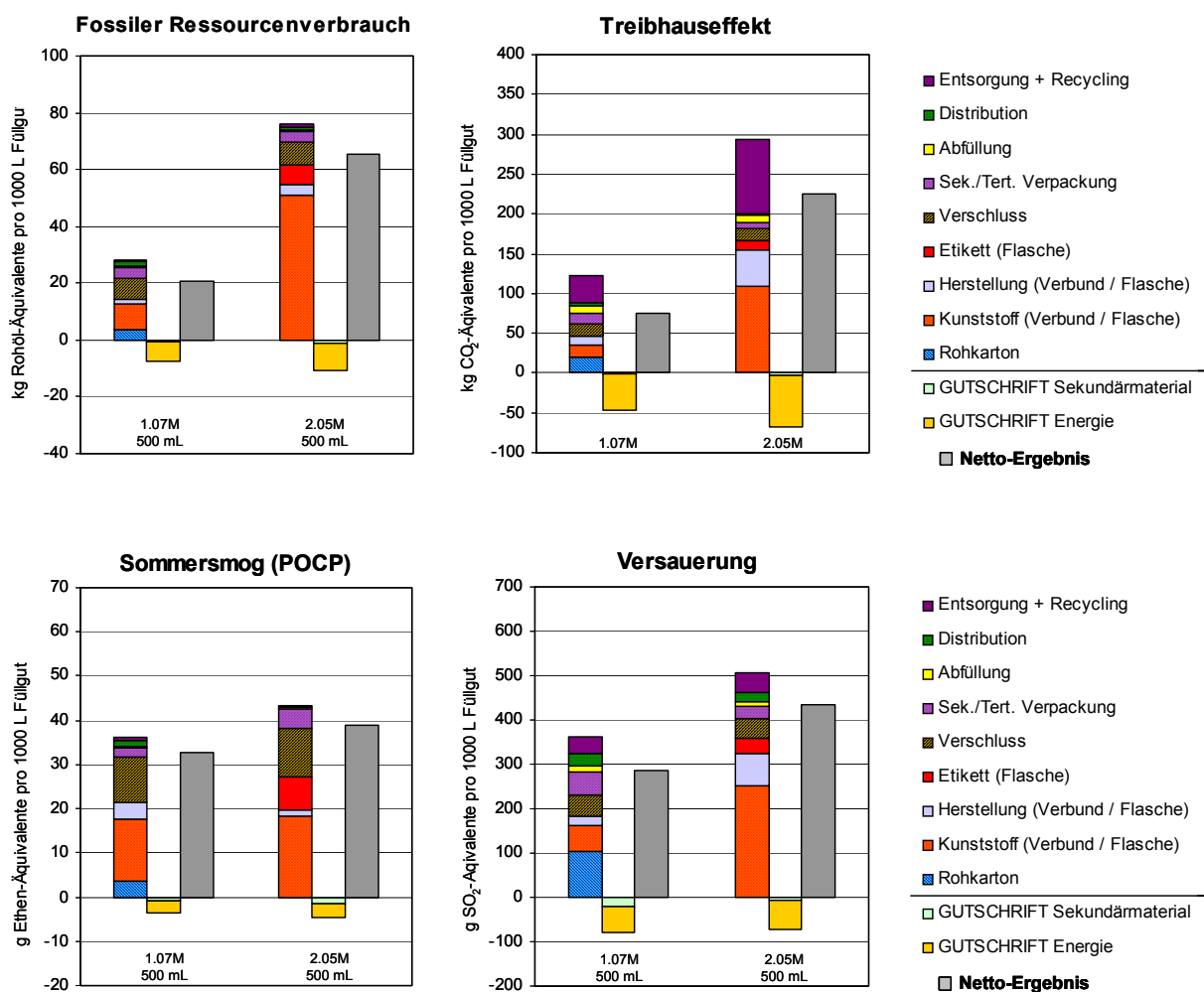
Indikator	Karton (1.06 E 1500 mL) versus PET (2.04 E 1500 mL)
Treibhauseffekt	-117%
Fossiler Ressourcenverbrauch	-119%
Sommersmog (POCP)	+92%
Versauerung	+11%
Terrestrische Eutrophierung	-1%
Aquatische Eutrophierung	+138%
Naturraumbeanspruchung - Fläche Forst	+1325%
Kumulierter Energieaufwand (KEA) gesamt	-14%

Relative Systemunterschiede, bezogen auf das jeweils kleinere Ergebnis (Rechnerische Unterschiede ohne Festlegung einer Signifikanzschwelle).

negative Werte: Indikatorwert des Getränkekartons ist kleiner als derjenige der PET-Flasche

positive Werte: Indikatorwert des Getränkekartons ist größer als derjenige der PET-Flasche

4.4 Ergebnisse für Milchlischgetränke: Sofortverzehr



1.07 M 500 mL – Getränkekarton für gekühlt distribuierte Milch/Milchlischgetränke, mit Ausgushilfe

2.05 M 500 mL – PET-Flasche für Milchlischgetränke (20 g Monolayer-Flasche ohne Barriere)

Abbildung 4-7: Indikatorergebnisse der betrachteten Verpackungssysteme im Marktsegment Sofortverzehr bezogen auf die Verpackung und Distribution von 1000 L Frischmilch/Milchlischgetränke

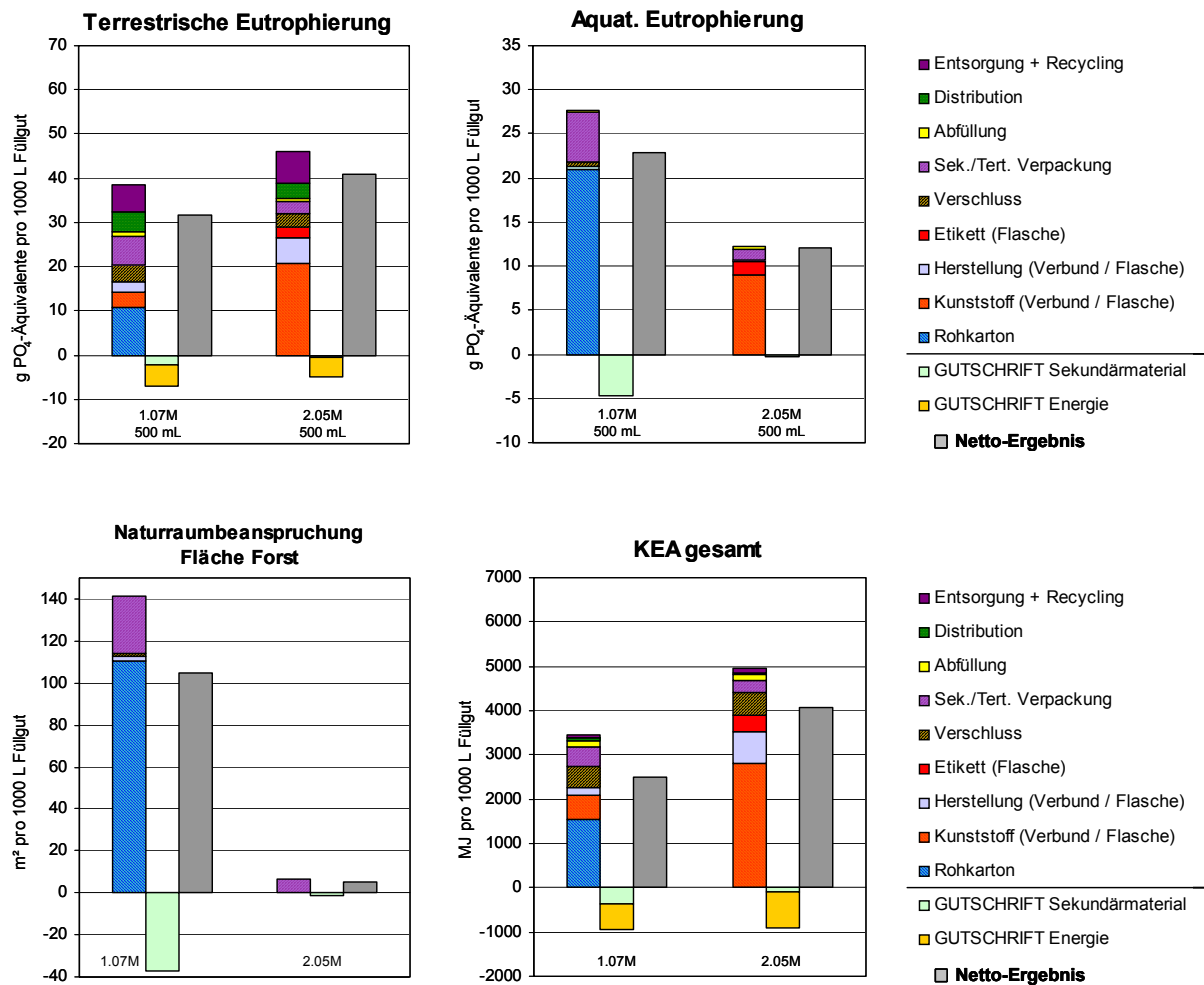
Ökologische Relevanzeinstufung der Indikatoren durch das UBA:

Beanspruchung fossiler Ressourcen: große Priorität

Treibhauseffekt: sehr große Priorität

Sommersmog: große Priorität

Versauerung: große Priorität



1.07 M 500 mL – Getränkekarton für gekühlt distribuierte Milch/Milchmischgetränke, mit Ausgusshilfe
 2.05 M 500 mL – PET-Flasche für Milchmischgetränke (20 g Monolayer-Flasche ohne Barriere)

Abbildung 4-8: Indikatorergebnisse der betrachteten Verpackungssysteme im Marktsegment Sofortverzehr bezogen auf die Verpackung und Distribution von 1000 L Frischmilch/Milchmischgetränke

Ökologische Relevanzeinstufung der Indikatoren durch das UBA:

Terrestrische Eutrophierung: große Priorität

Aquatische Eutrophierung: mittlere Priorität

Naturraumbeanspruchung – Fläche Forst: mittlere Priorität

Kumulierter Energieaufwand (KEA gesamt): keine Einstufung

Für den Systemvergleich von Milchlischgetränke mit kurzer Haltbarkeit (Sofortverzehr) werden ein 500 mL-Karton mit Verschluss und eine 500 mL PET-Monolayerflasche miteinander verglichen. Durch den Verzicht auf die jeweilige Barrierelage (kein Aluminium im Karton, kein PA in der Flasche) sind die Indikatorwerte beider Verpackungssysteme niedriger als die von Saftverpackungen mit gleichem Volumen.

Durchgefärbte PET-Flaschen, wie das hier betrachtete System, werden gegenwärtig nicht werkstofflich verwertet. Stattdessen werden die gesammelten Flaschen als Mischkunststoff energetisch verwertet. In den Abbildungen 4-7 und 4-8 ist erkennbar, dass fast ausschließlich Energie gutgeschrieben wird. Die geringen Anteile von Sekundärmaterial-Gutschrift gehen im Wesentlichen auf das Recycling von Transportverpackungen zurück.

Die Ergebnisse des Systemvergleichs auf Ebene der Netto-Ergebnisse sind in Tabelle 4-4 dargestellt. In allen prioritären Kategorien sind die Indikatorwerte des Kartonsystems geringer als die der PET-Flasche. Bei *Treibhauseffekt* und *fossilem Ressourcenverbrauch* ist der Systemunterschied zwischen Karton und PET-Flasche noch deutlicher ausgeprägt als bei den betrachteten Saft- und Eistee-Verpackungen (Indikatoren der PET-Flasche sind hier um den Faktor 3 größer als die des Kartons).

Die relativ geringen Indikatorergebnisse des Kartons können vor allem mit dem Verzicht auf eine Aluminiumlage erklärt werden.

Tabelle 4-4 Vergleich Getränkekarton (mit Ausgusshilfe) und PET-Einweg im Marktsegment Sofortverzehr Milchlischgetränke (500 mL Füllvolumen)

Indikator	Karton (1.07 M 500 mL) versus PET (2.05 M 500 mL)
Treibhauseffekt	-199%
Fossiler Ressourcenverbrauch	-217%
Sommersmog (POCP)	-18%
Versauerung	-53%
Terrestrische Eutrophierung	-29%
Aquatische Eutrophierung	+90%
Naturraumbeanspruchung - Fläche Forst	+1836%
Kumulierter Energieaufwand (KEA) gesamt	-63%

Relative Systemunterschiede, bezogen auf das jeweils kleinere Ergebnis (Rechnerische Unterschiede ohne Festlegung einer Signifikanzschwelle).

negative Werte: Indikatorwert des Getränkekartons ist kleiner als derjenige der PET-Flasche

positive Werte: Indikatorwert des Getränkekartons ist größer als derjenige der PET-Flasche

5 Sensitivitätsanalysen

5.1 Ergebnisrelevanz technischer Verbesserungen bei PET-Flaschen

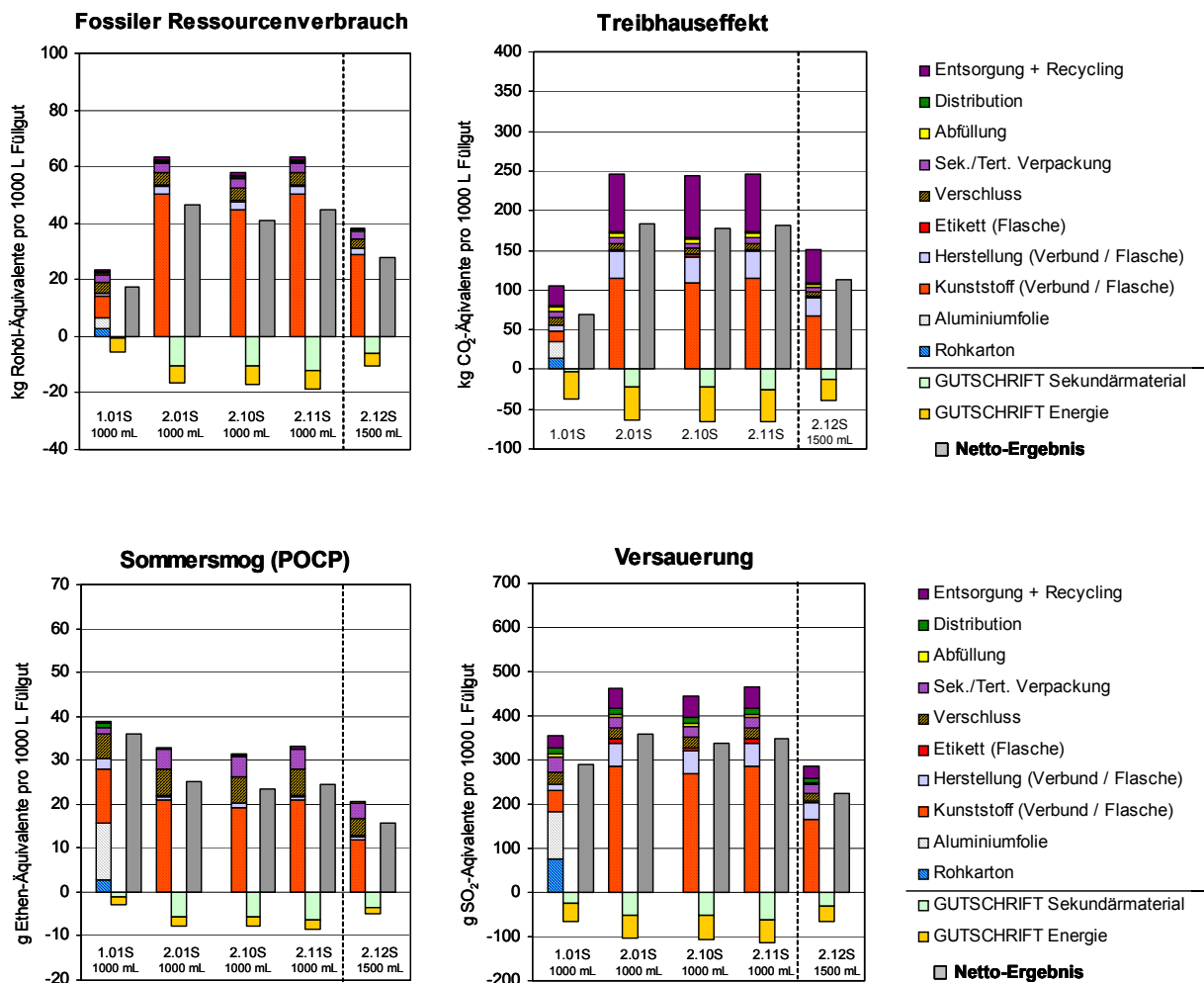
In diesem Kapitel werden unterschiedliche technische Aspekte betrachtet, die das ökologische Profil der untersuchten PET-Einwegflaschen positiv beeinflussen können. Dazu werden Flaschen im Marktsegment Saft/Nektar (Vorratshaltung) untersucht.

In den Abbildungen 5-1 und 5-2 sind auch die Basisszenarien (1000 mL für Karton und PET) dargestellt, um die Relevanz der Sensitivitätsbetrachtungen direkt einschätzen zu können. Die Ergebnisse des Systems 2.12 S 1500 mL sind durch eine Linie von den übrigen Szenarien abgetrennt. Diese Monolayer-Flasche dürfte im Vergleich zu den übrigen Verpackungen nur eine verkürzte Mindesthaltbarkeit gewährleisten, so dass nur eine eingeschränkte Vergleichbarkeit der Produktfunktion gegeben ist.

Der Einsatz von **25% PET-Rezyklat** (*open-loop* Material) der im System **2.10 S** angenommen wird, führt tendenziell zu geringeren Indikatorergebnissen als im Basisszenario (2.01). Die Aufbereitung von Flaschen zu R-PET ist dem Sektor „Kunststoff“ zugeordnet. Für *aquatische Eutrophierung* ergibt sich in diesen Sektor eine höhere Umweltwirkung als beim ausschließlichen Einsatz von Primärmaterial, da das PET-Recycling mit entsprechenden Wasseremissionen verbunden ist. In den übrigen Kategorien sind jedoch sowohl die Umweltwirkungen der Kunststoff-Herstellung als auch die Netto-Ergebnisse etwas geringer. Am deutlichsten wird dieser Effekt beim *fossilen Ressourcenverbrauch*.

Eine **verbesserte PET-Sortierung (2.11 S)** aus dem gesammelten Leichtverpackungsstrom führt ebenfalls in den einzelnen Kategorien zu einer (etwas) geringeren Umweltwirkung der betrachteten PET-Einwegflaschen. Die größeren Gutschriften für Sekundärmaterial sind beispielsweise in den Kategorien *Treibhauseffekt* und *Versauerung* erkennbar.

Mit dem **System 2.12 S 1500 mL** wurde eine sehr leichte Flasche untersucht (33 g Flaschengewicht), die zudem noch ein größeres Volumen hat. D.h. es werden weniger Flaschen und Verschlüsse zur Verpackung von 1000 L Füllgut benötigt. Die Indikatorergebnisse dieses Flaschentyps sind deutlich geringer als die der Multilayer-Flasche im Basisszenario (2.01 S).



- 1.02 S 1000 mL – Getränkekarton für Saft/Nektar, mit Verschluss (2005)
 2.01 S 1000 mL – PET- Flasche für Saft (38 g Multilayer mit 5% PA; 2005)
 2.10 S 1000 mL – PET- Flasche für Saft (38 g Multilayer mit 5% PA), mit 25% PET-Rezyklat
 2.11 S 1000 mL – PET- Flasche für Saft (38 g Multilayer mit 5% PA), verbesserte Sortierung (+20% in PET-Fraktion)
 2.12 S 1500 mL – PET- Flasche für Saft (33 g Monolayer mit 5% PA; kürzere MHD)

Abbildung 5-1: Indikatorergebnisse gegenwärtiger Verpackungssysteme und optimierter PET-Systeme (Vorratshaltung) bezogen auf die Verpackung und Distribution von 1000 L Saft/Nektar

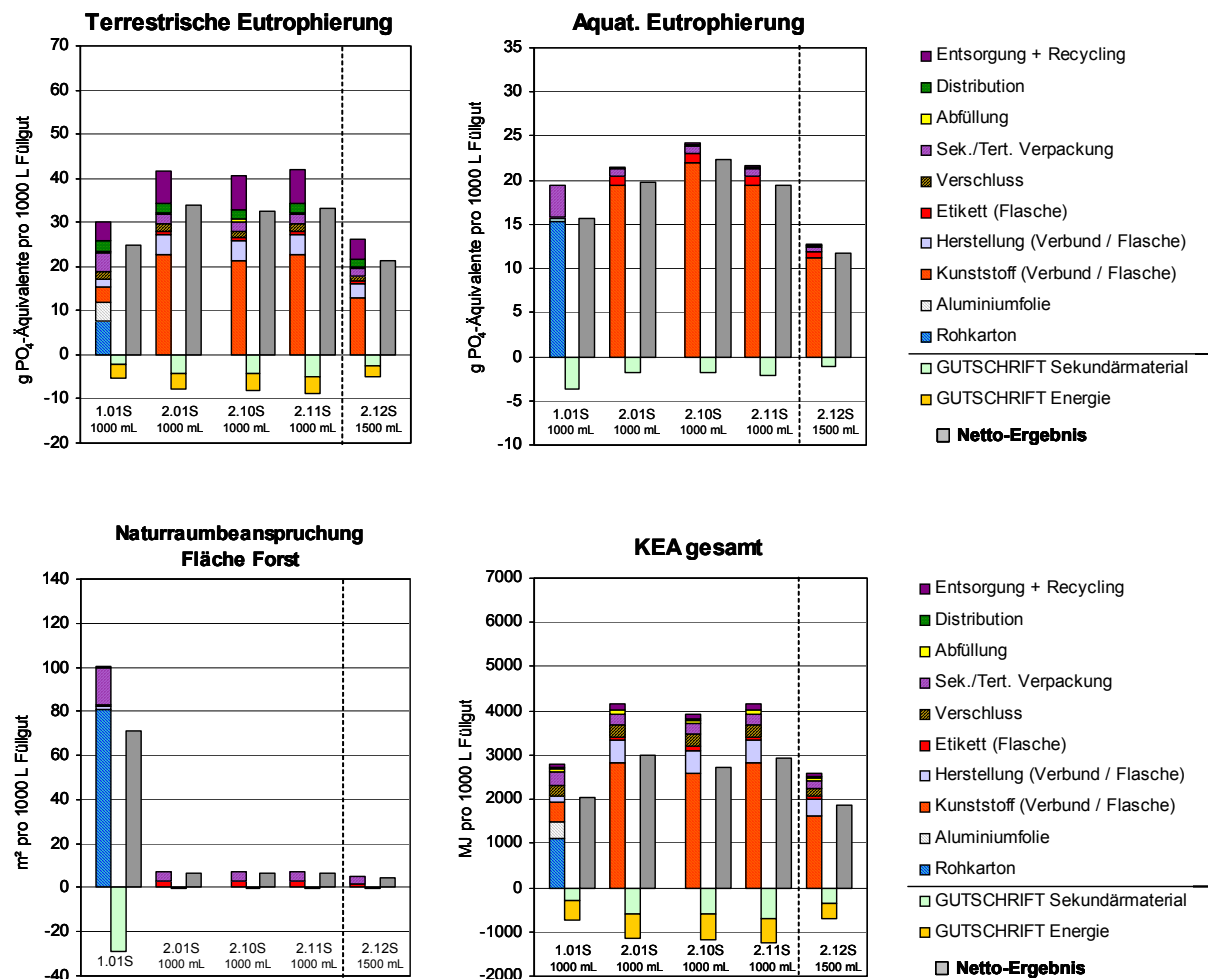
Ökologische Relevanzeinstufung der Indikatoren durch das UBA:

Beanspruchung fossiler Ressourcen: große Priorität

Treibhauseffekt: sehr große Priorität

Sommersmog: große Priorität

Versauerung: große Priorität



- 1.02 S 1000 mL – Getränkekarton für Saft/Nektar, mit Verschluss (2005)
 2.01 S 1000 mL – PET- Flasche für Saft (38 g Multilayer mit 5% PA; 2005)
 2.10 S 1000 mL – PET- Flasche für Saft (38 g Multilayer mit 5% PA), mit 25% PET-Rezyklat
 2.11 S 1000 mL – PET- Flasche für Saft (38 g Multilayer mit 5% PA), verbesserte Sortierung (+20% in PET-Fraktion)
 2.12 S 1500 mL – PET- Flasche für Saft (33 g Monolayer mit 5% PA; kürzere MHD)

Abbildung 5-2: Indikatorergebnisse gegenwärtiger Verpackungssysteme und optimierter PET-Systeme (Vorratshaltung) bezogen auf die Verpackung und Distribution von 1000 L Saft/Nektar

Ökologische Relevanzeinstufung der Indikatoren durch das UBA:

Terrestrische Eutrophierung: große Priorität

Aquatische Eutrophierung: mittlere Priorität

Naturraumbeanspruchung – Fläche Forst: mittlere Priorität

Kumulierter Energieaufwand (KEA gesamt): keine Einstufung

Vergleich Getränkekarton mit Sensitivitätsszenarien PET (Saft/Nektar, Vorratshaltung)

Die relativen Systemunterschiede des Getränkekartons im Vergleich zu PET-Flaschen unter Berücksichtigung einzelner technischer Verbesserungen sind in Tabelle 5-1 dargestellt.

Sowohl der Einsatz von 25% R-PET bei der Flaschenherstellung als auch eine verbesserte PET-Sortierung haben keinen großen Einfluss auf den Vergleich der Verpackungssysteme. Die spezifischen Unterschiede zwischen Karton und PET bleiben erhalten, auch der relative Abstand der Systeme ändert sich nur begrenztem Umfang.

Anders sieht es aus beim Vergleich der leichten Monolayer-Flasche mit 1500 mL-Füllvolumen. Allerdings muss hier nochmals auf die eingeschränkte Vergleichbarkeit aufgrund unterschiedlicher Funktionalität hingewiesen werden.

Bei drei Indikatoren kommt es zur Ergebnisumkehr. Geringere Indikatorwerte des Kartons bestehen nur mehr bei *Treibhauseffekt* und *fossilen Ressourcenverbrauch*. Der Abstand der Systeme ist in diesen Kategorien geringer als bei den übrigen Vergleichen, kann aber noch als großer Unterschied bezeichnet werden.

Tabelle 5-1 Vergleich des 1000mL-Getränkekartons (Bezug 2005, mit Ausgusshilfe) und PET-Einwegsystemen unter Annahme bestimmter technischer Optimierungen.
Füllgut Saft/Nektar; Marktsegment Vorratshaltung

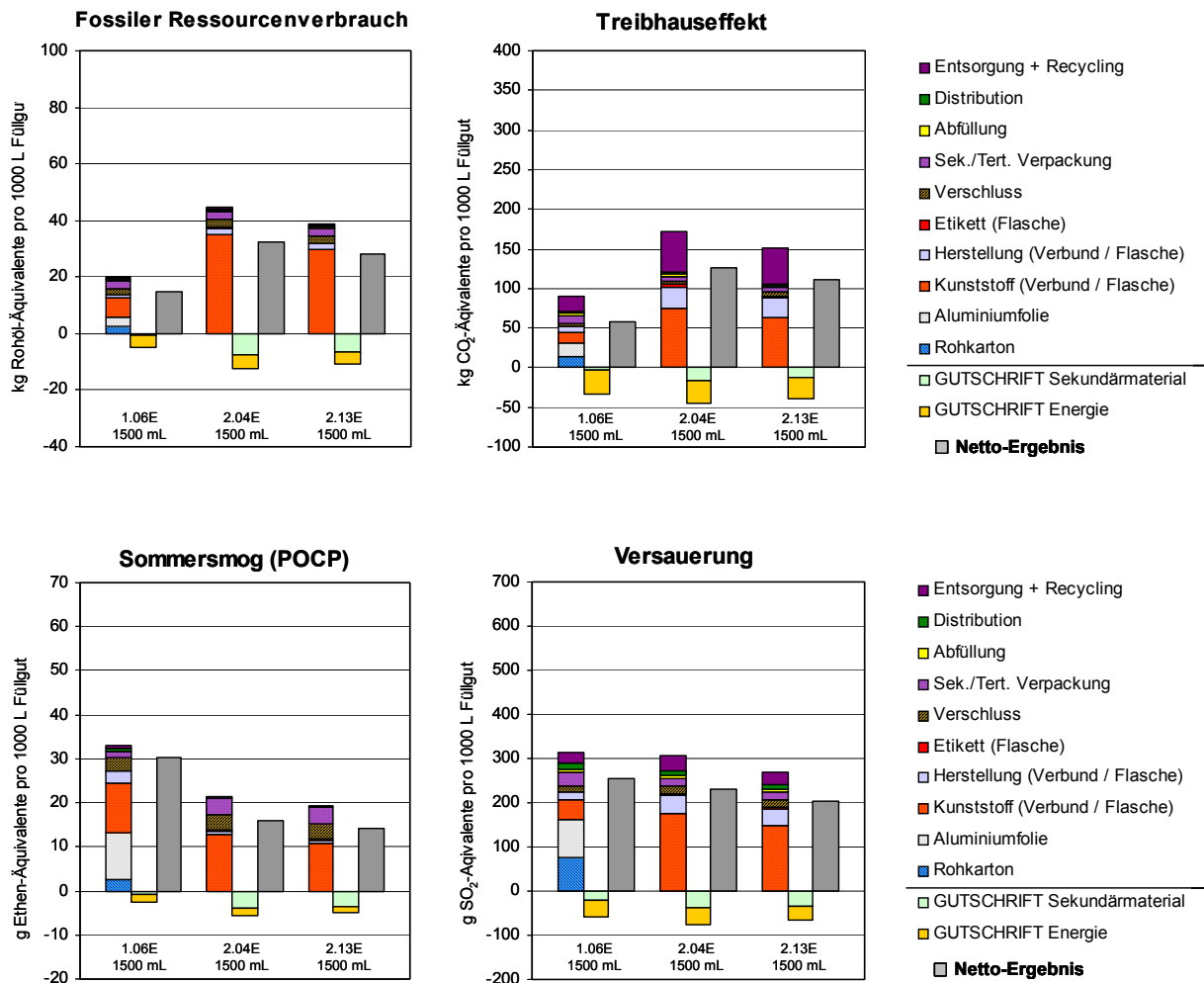
Indikator	Karton 2005 (1.02 S 1000 mL) versus:		
	25% R-PET Anteil (2.10 S 1000 mL)	bessere Sortierung (2.11 S 1000 mL)	leichte 1500 mL- Flasche (2.12 S)
Treibhauseffekt	-160%	-165%	-66%
Fossiler Ressourcenverbrauch	-131%	-154%	-59%
Sommersmog (POCP)	+53%	+47%	+127%
Versauerung	-16%	-20%	+30%
Terrestrische Eutrophierung	-31%	-35%	+16%
Aquatische Eutrophierung	-42%	-24%	+35%
Naturraumbeanspruchung - Fläche Forst	+997%	+1000%	+1393%
Kumulierter Energieaufwand (KEA) gesamt	-34%	-43%	+9%

Relative Systemunterschiede, bezogen auf das jeweils kleinere Ergebnis
(Rechnerische Unterschiede ohne Festlegung einer Signifikanzschwelle).

negative Werte: Indikatorwert des Getränkekartons ist kleiner als derjenige der PET-Flasche

positive Werte: Indikatorwert des Getränkekartons ist größer als derjenige der PET-Flasche

5.2 Ergebnisse für eine gewichtsoptimierte PET-Flasche (Eistee)



1.06 E 1500 mL – Getränkekarton für Eistee, mit Verschluss (2005)

2.04 E 1500 mL – PET-Flasche für Eistee (41,5 g Monolayer-Flasche, ohne Barriere; 2005)

2.13 E 1500 mL – leichte PET-Flasche für Eistee (35,0 g Monolayer-Flasche, ohne Barriere)

Abbildung 5-3: Indikatorergebnisse gegenwärtiger Verpackungssysteme und einer gewichtsoptimierten PET-Flasche im Marktsegment Vorratshaltung bezogen auf die Verpackung und Distribution von 1000 L Eistee

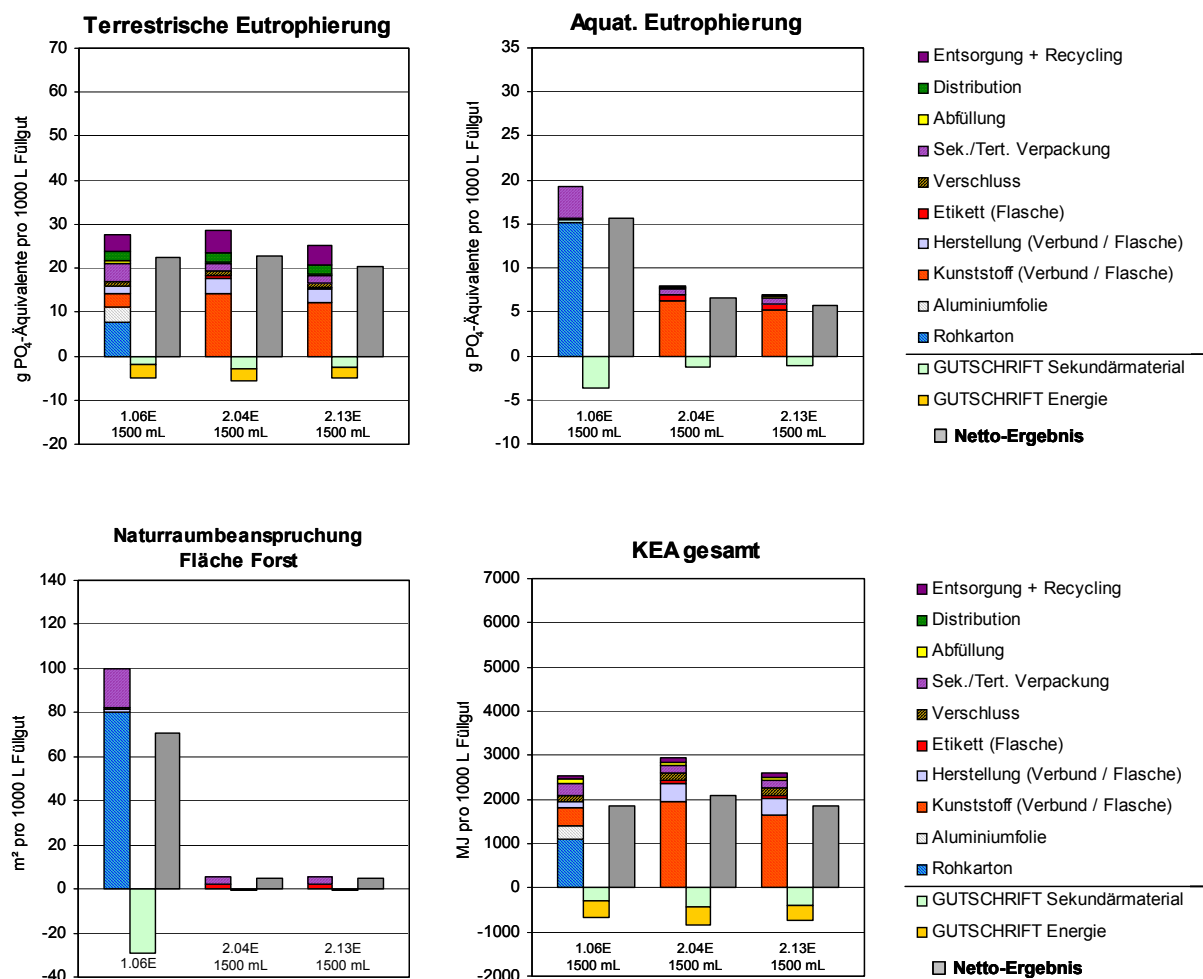
Ökologische Relevanzeinstufung der Indikatoren durch das UBA:

Beanspruchung fossiler Ressourcen: große Priorität

Treibhauseffekt: sehr große Priorität

Sommersmog: große Priorität

Versauerung: große Priorität



1.06 E 1500 mL – Getränkekarton für Eistee, mit Verschluss (2005)

2.04 E 1500 mL – PET-Flasche für Eistee (41,5 g Monolayer-Flasche, ohne Barriere; 2005)

2.13 E 1500 mL – leichte PET-Flasche für Eistee (35,0 g Monolayer-Flasche, ohne Barriere)

Abbildung 5-4: Indikatorergebnisse gegenwärtiger Verpackungssysteme und einer gewichtsoptimierten PET-Flasche im Marktsegment Vorratshaltung bezogen auf die Verpackung und Distribution von 1000 L Eistee

Ökologische Relevanzeinstufung der Indikatoren durch das UBA:

Terrestrische Eutrophierung: große Priorität

Aquatische Eutrophierung: mittlere Priorität

Naturraumbeanspruchung – Fläche Forst: mittlere Priorität

Kumulierter Energieaufwand (KEA gesamt): keine Einstufung

In dieser Sensitivitätsbetrachtung wird eine **gewichtsoptimierte PET-Flasche für Eistee** untersucht (35 g PET bei 1500 mL Füllvolumen). Den Ergebnissen dieses Szenarios (2.13 E) sind die Basisszenarien für Eistee (Karton und PET) gegenüber gestellt (vgl. Kap. 4.3).

Die geringere Umweltwirkung der leichten PET-Einwegflasche gegenüber dem Basisszenario (2.04 E) ist vor allem in der Kategorie *Treibhauseffekt* erkennbar (Abbildung 5-3). Im Vergleich zum Getränkekarton ergeben sich für diese PET-Flasche die in Tabelle 5-2 aufgeführten relativen Systemunterschiede. Das Ergebnis ähnelt dem Vergleich von Karton und der leichten 1500 mL-Flasche für Saft/Nektar.

Auch im Vergleich zur leichten PET-Flasche für Eistee sind die Indikatorwerte des Getränkekartons deutliche bei *Treibhauseffekt* und *fossilem Ressourcenverbrauch* deutlich geringer. Beim KEA gesamt besteht kein Unterschied der Systeme. In allen anderen Kategorien sind die Indikatorwerte der PET-Flasche geringer.

Auch für den Vergleich von Karton und leichter Eistee-Flasche ist die Funktionsgleichheit nur eingeschränkt gegeben, da nach den vorliegenden Informationen derart leichte Flaschen gegenwärtig nur für das „vereinfachte Abfüllverfahren“ unter Einsatz von Konservierungsmitteln Verwendung finden.

Tabelle 5-2 Vergleich Getränkekarton und leichte PET-Einwegflasche im Marktsegment Vorratshaltung Eistee (1500 mL Füllvolumen)

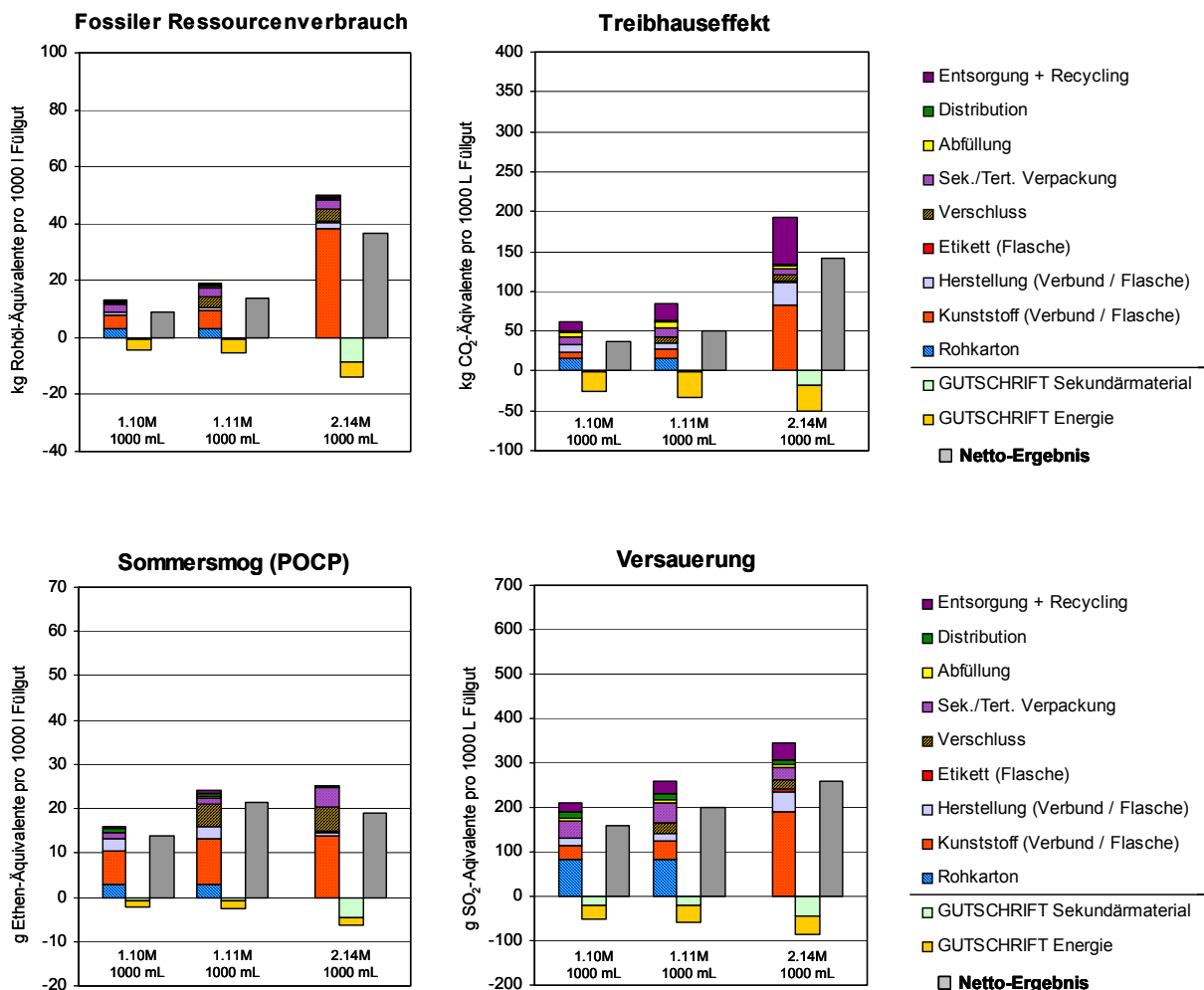
Indikator	Karton (1.06 E 1500 mL) versus PET (2.13 E 1500 mL)
Treibhauseffekt	-91%
Fossiler Ressourcenverbrauch	-90%
Sommersmog (POCP)	+113%
Versauerung	+25%
Terrestrische Eutrophierung	+11%
Aquatische Eutrophierung	+171%
Naturraumbeanspruchung - Fläche Forst	+1327%
Kumulierter Energieaufwand (KEA) gesamt	-1%

Relative Systemunterschiede, bezogen auf das jeweils kleinere Ergebnis (Rechnerische Unterschiede ohne Festlegung einer Signifikanzschwelle).

negative Werte: Indikatorwert des Getränkekartons ist kleiner als derjenige der PET-Flasche

positive Werte: Indikatorwert des Getränkekartons ist größer als derjenige der PET-Flasche

5.3 Ergebnisse für neue Anwendungsbereiche PET: Frischmilch, Vorratshaltung



1.10 S 1000 mL – Getränkekarton für Frischmilch, ohne Verschluss (2005)

1.11 S 1000 mL – Getränkekarton für Frischmilch, mit Verschluss (2005)

2.14 S 1000 mL – PET-Flasche für Frischmilch (30 g Monolayer-Flasche, klar, ohne Barriere)

Abbildung 5-5: Indikatorergebnisse der betrachteten Verpackungssysteme im Marktsegment Vorratshaltung bezogen auf die Verpackung und Distribution von 1000 L Frischmilch

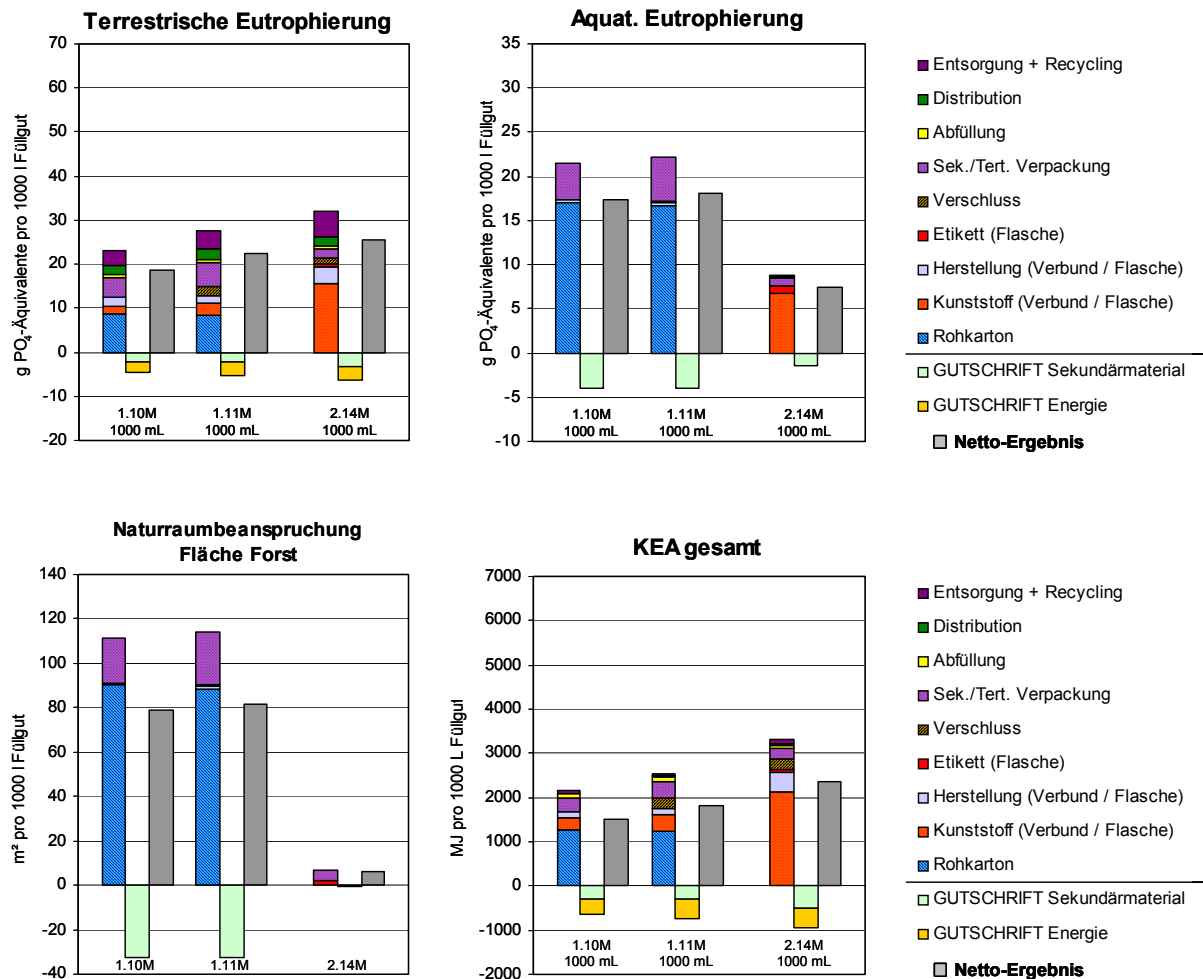
Ökologische Relevanzeinstufung der Indikatoren durch das UBA:

Beanspruchung fossiler Ressourcen: große Priorität

Treibhauseffekt: sehr große Priorität

Sommersmog: große Priorität

Versauerung: große Priorität



1.10 S 1000 mL – Getränkekarton für Frischmilch, ohne Verschluss (2005)

1.11 S 1000 mL – Getränkekarton für Frischmilch, mit Verschluss (2005)

2.14 S 1000 mL – PET-Flasche für Frischmilch (30 g Monolayer-Flasche, klar, ohne Barriere)

Abbildung 5-6: Indikatorergebnisse der betrachteten Verpackungssysteme im Marktsegment Vorratshaltung bezogen auf die Verpackung und Distribution von 1000 L Frischmilch

Ökologische Relevanzeinstufung der Indikatoren durch das UBA:

Terrestrische Eutrophierung: große Priorität

Aquatische Eutrophierung: mittlere Priorität

Naturraumbeanspruchung – Fläche Forst: mittlere Priorität

Kumulierter Energieaufwand (KEA gesamt): keine Einstufung

In den Abbildungen 5-5 und 5-6 werden die Ergebnisse von Kartonverpackungen für **Frischmilch** (mit und ohne Ausgusshilfe) einer PET-Monolayerflasche gegenüber gestellt. Da im Bezugsjahr der Studie ein solches Verpackungssystem in Deutschland nicht eingesetzt wurde, erfolgt die Betrachtung als Sensitivität.

Sowohl beim Karton als auch bei den PET-Flaschen wird keine Barrierelage benötigt. Die Beiträge der einzelnen Sektoren an den Gesamtumweltwirkungen entsprechen im Wesentlichen den Ergebnissen der untersuchten Verpackungen für Milchmischgetränke.

In den Grafiken ist ein relativ großer Unterschied der Kartonsysteme 1.10 und 1.11 erkennbar, der auf die Ausstattung mit Ausgusshilfen zurückgeht.

Im Unterschied zu den PET-Flaschen für Milchmischgetränke wird hier angenommen, dass die Flaschen für Frischmilch aus klarem, transparentem PET bestehen. Daher sind sie für stoffliches Recycling geeignet, die entsprechenden Gutschriften für PET-Flakes sind in den Grafiken deutlich erkennbar.

Die in Tabelle 5-3 aufgeführten relativen Systemunterschiede beziehen sich nur auf den Vergleich von Kartons mit Ausgusshilfe (= 94% des Marktes) und PET-Flaschen. Das Kartonsystem zeigt in 5 der untersuchten Kategorien geringere Indikatorwerte als PET. Deutlich ausgeprägt sind die Unterschiede nur bei *Treibhauseffekt* und *fossilem Ressourcenverbrauch*. Der einzige prioritäre Indikator, bei dem die Flasche einen geringen Indikatorwert aufweist, ist die Kategorie *Sommersmog*. Dies gilt allerdings nur gegenüber Kartons mit Verschluss, der Karton ohne Ausgusshilfe (1.10 M) hat in dieser Kategorie einen geringeren Indikatorwert als die PET-Flasche (vgl. Abb. 5-5).

Tabelle 5-3 Vergleich Getränkekarton mit Ausgusshilfe und PET-Einweg im Marktsegment Vorratshaltung Frischmilch (1000 mL Füllvolumen)

Indikator	Karton (1.11 M 1000 mL) versus PET (2.14 M 1000 mL)
Treibhauseffekt	-180%
Fossiler Ressourcenverbrauch	-161%
Sommersmog (POCP)	+14%
Versauerung	-29%
Terrestrische Eutrophierung	-14%
Aquatische Eutrophierung	+145%
Naturraumbeanspruchung - Fläche Forst	+1267%
Kumulierter Energieaufwand (KEA) gesamt	-31%

Relative Systemunterschiede, bezogen auf das jeweils kleinere Ergebnis (Rechnerische Unterschiede ohne Festlegung einer Signifikanzschwelle).

negative Werte: Indikatorwert des Getränkekartons ist kleiner als derjenige der PET-Flasche

positive Werte: Indikatorwert des Getränkekartons ist größer als derjenige der PET-Flasche

5.4 Ergebnisrelevanz der Systemallokation

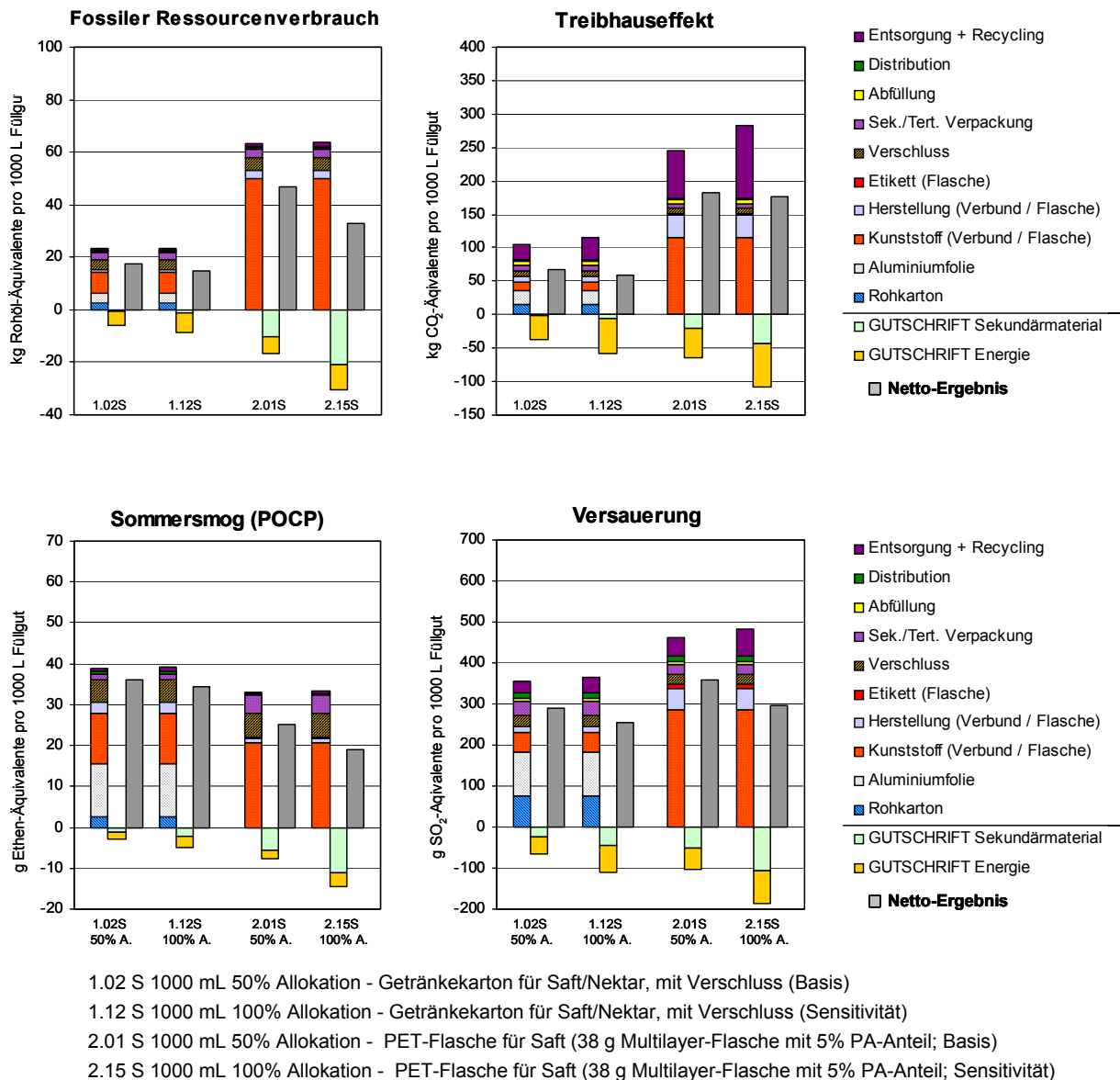


Abbildung 5-7: Indikatorergebnisse für Getränkekarton (1000 mL mit Ausgusshilfe) und PET-Einwegflasche (1000 mL) in Abhängigkeit von der angewandten Allokationsmethode, bezogen auf die Verpackung und Distribution von 1000 L Saft/Nektar

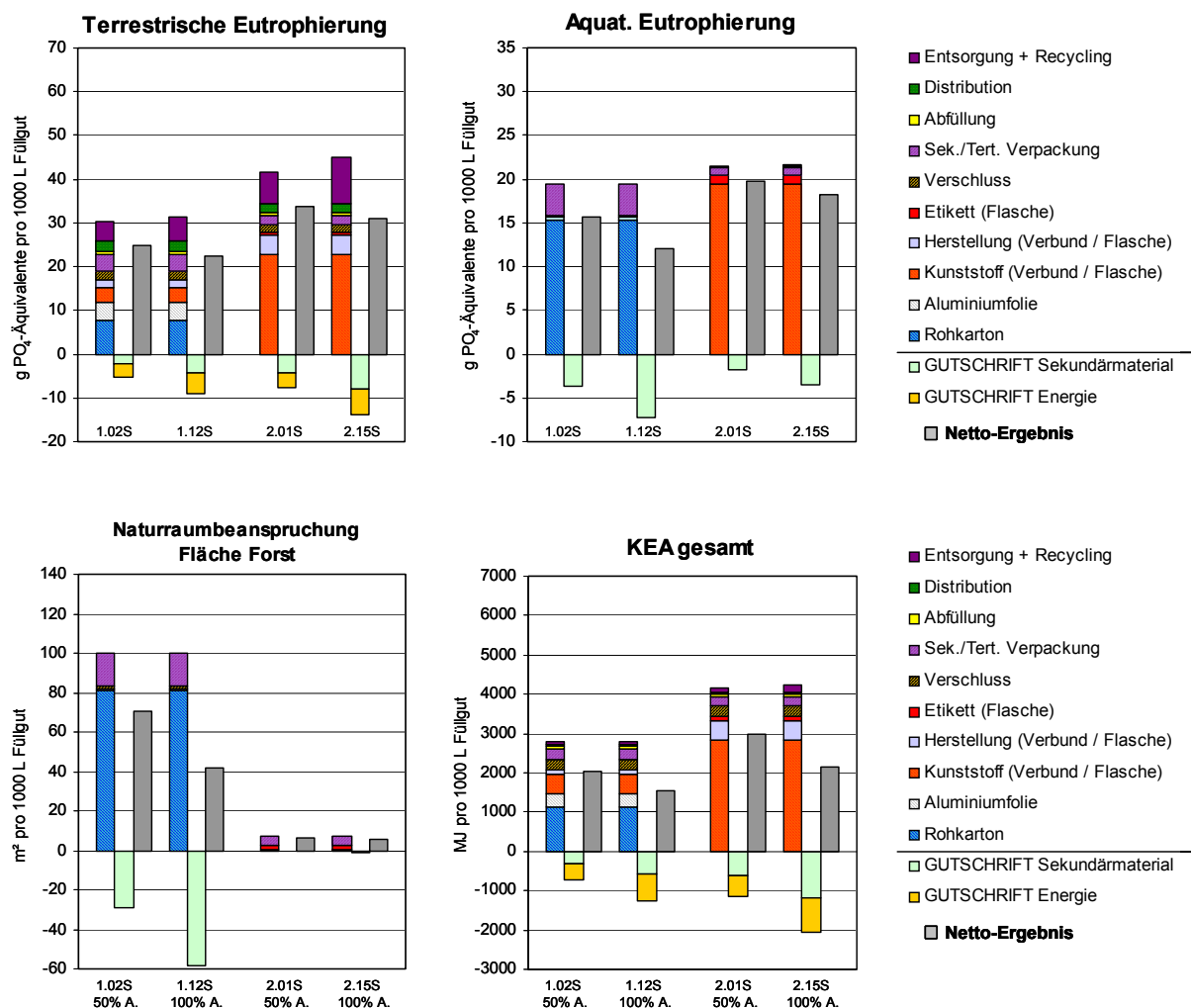
Ökologische Relevanzeinstufung der Indikatoren durch das UBA:

Beanspruchung fossiler Ressourcen: große Priorität

Treibhauseffekt: sehr große Priorität

Sommersmog: große Priorität

Versauerung: große Priorität



1.02 S 1000 mL 50% Allokation - Getränkekarton für Saft/Nektar, mit Verschluss (Basis)

1.12 S 1000 mL 100% Allokation - Getränkekarton für Saft/Nektar, mit Verschluss (Sensitivität)

2.01 S 1000 mL 50% Allokation - PET-Flasche für Saft (38 g Multilayer-Flasche mit 5% PA-Anteil; Basis)

2.15 S 1000 mL 100% Allokation - PET-Flasche für Saft (38 g Multilayer-Flasche mit 5% PA-Anteil; Sensitivität)

Abbildung 5-8: Indikatorergebnisse für Getränkekarton (1000 mL mit Ausgusshilfe) und PET-Einwegflasche (1000 mL) in Abhängigkeit von der angewandten Allokationsmethode, bezogen auf die Verpackung und Distribution von 1000 L Saft/Nektar

Ökologische Relevanzeinstufung der Indikatoren durch das UBA:

Terrestrische Eutrophierung: große Priorität

Aquatische Eutrophierung: mittlere Priorität

Naturraumbeanspruchung – Fläche Forst: mittlere Priorität

Kumulierter Energieaufwand (KEA gesamt): keine Einstufung

In diesem Abschnitt wird die Relevanz der Festlegungen zur Systemallokation überprüft. Neben den Basisszenarien unter Anrechnung von 50%-Gutschriften (50:50-Allokation) für Sekundärmaterialien werden hier ein Karton- und ein System mit 100%-Gutschrift (100:0-Allokation) berechnet (vgl. Kap. 1.9.2).

In den Abbildungen 5-7 und 5-8 ist erkennbar, dass neben den Gutschriften-Sektoren auch der Bereich *Entsorgung und Recycling* von der angewandten Allokationsmethode betroffen ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei der 100%-Gutschrift mehr Material aufbereitet und verwertet wird.

Im Fokus dieser Sensitivität steht jedoch nicht die Frage, wie sich die absoluten Indikatorwerte ändern, sondern vielmehr ob der Vergleich der Verpackungssysteme davon betroffen ist.

Tabelle 5-4 dokumentiert die relativen Systemunterschiede von PET und Karton in Abhängigkeit von der Allokationsmethode. Daraus geht hervor, dass die abgeleiteten Erkenntnisse unabhängig von den Festlegungen zur Systemallokation Bestand haben.

In einzelnen Kategorien werden die relativen Unterschiede bei Anwendung der 100:0-Allokation kleiner, in anderen größer. In keinem Fall ändert sich jedoch die Richtung oder Signifikanz der Ergebnisse.

Tabelle 5-4 Vergleich Getränkekarton (mit Verschluss) und PET-Einweg im Marktsegment Saft/Nektar - Vorratshaltung (1000 mL Füllvolumen) unter Anwendung unterschiedlicher Allokationsverfahren

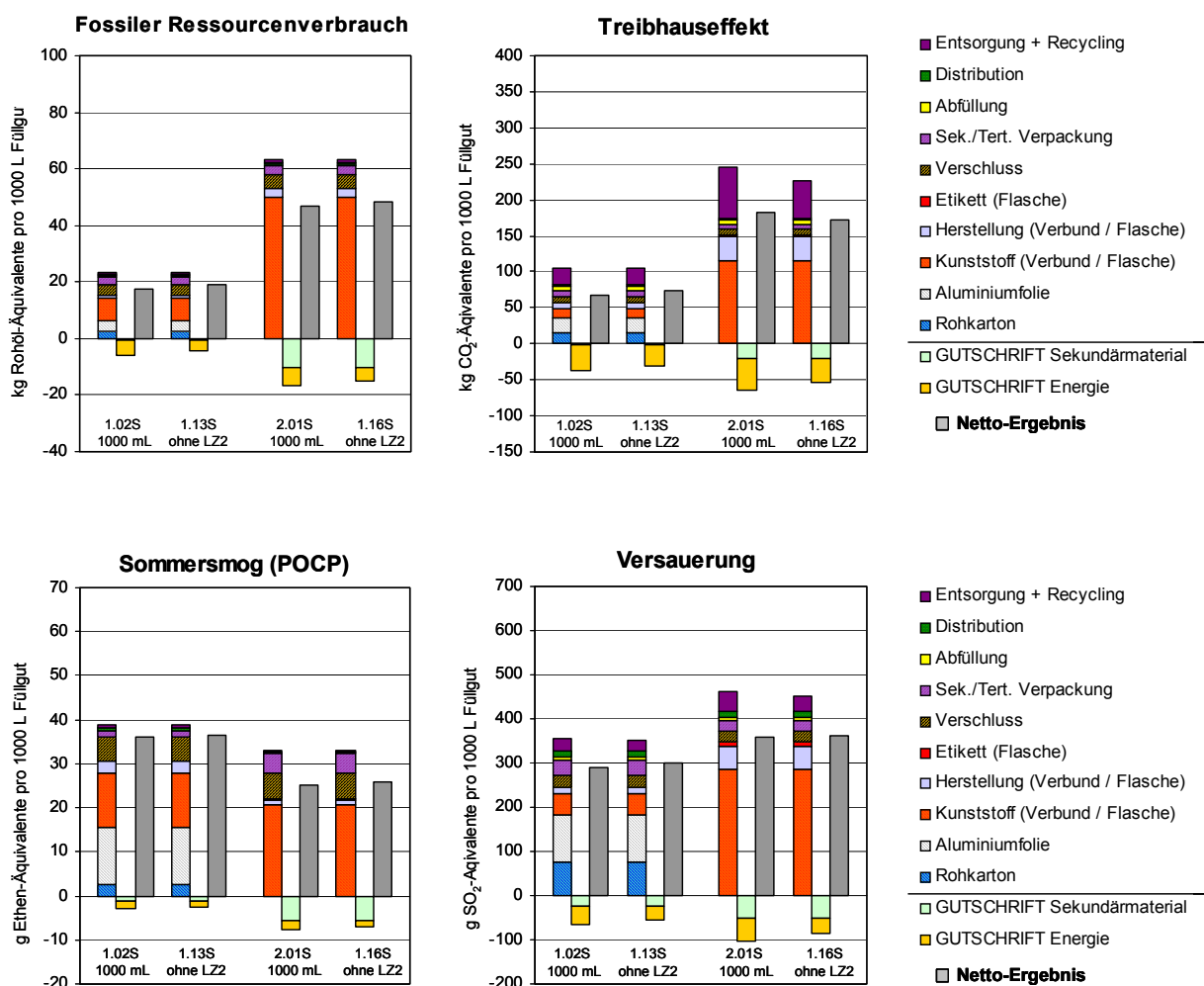
Indikator	50:50-Allokation	100:0-Allokation
	Karton (1.02 S 1000 mL) versus PET (2.01 S 1000 mL) <i>entspricht Tabelle 4-1</i>	Karton (1.12 S 1000 mL) versus PET (2.15 S 1000 mL)
Treibhauseffekt	-167%	-204%
Fossiler Ressourcenverbrauch	-164%	-123%
Sommersmog (POCP)	+42%	+81%
Versauerung	-23%	-16%
Terrestrische Eutrophierung	-37%	-38%
Aquatische Eutrophierung	-26%	-51%
Naturraumbeanspruchung - Fläche Forst	+999%	+622%
Kumulierter Energieaufwand (KEA) gesamt	-48%	-40%

Relative Systemunterschiede, bezogen auf das jeweils kleinere Ergebnis (Rechnerische Unterschiede ohne Festlegung einer Signifikanzschwelle).

negative Werte: Indikatorwert des Getränkekartons ist kleiner als derjenige der PET-Flasche

positive Werte: Indikatorwert des Getränkekartons ist größer als derjenige der PET-Flasche

5.5 Ergebnisrelevanz Berücksichtigung der Entsorgung im LZ 2



1.02 S 1000 mL mit LZ 2 - Getränkekarton für Saft/Nektar, mit Ausgusshilfe (Basis)

1.13 S 1000 mL *ohne* LZ 2 - Getränkekarton für Saft/Nektar, mit Verschluss (Sensitivität)

2.01 S 1000 mL mit LZ 2 - PET-Flasche für Saft (38 g Multilayer-Flasche mit 5% PA-Anteil; Basis)

2.16 S 1000 mL *ohne* LZ 2 - PET-Flasche für Saft (38 g Multilayer-Flasche mit 5% PA-Anteil; Sensitivität)

Abbildung 5-9: Indikatorergebnisse für Getränkekarton (1000 mL mit Ausgusshilfe) und PET-Einwegflasche (1000 mL) in Abhängigkeit von der Berücksichtigung der Entsorgung im zweiten Lebenszyklus (LZ 2).

Bezug: Verpackung und Distribution von 1000 L Saft/Nektar

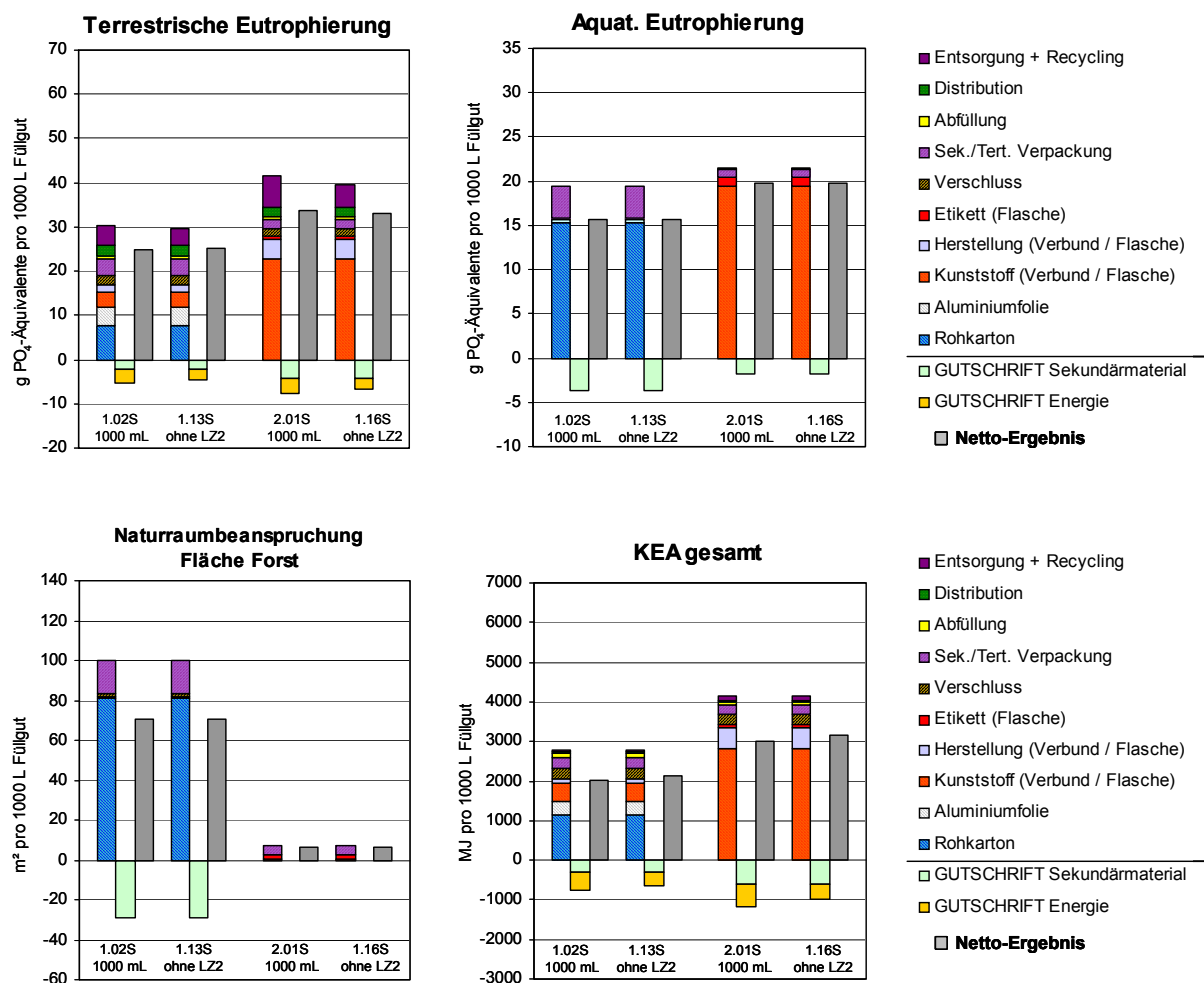
Ökologische Relevanzeinstufung der Indikatoren durch das UBA:

Beanspruchung fossiler Ressourcen: große Priorität

Treibhauseffekt: sehr große Priorität

Sommersmog: große Priorität

Versauerung: große Priorität



1.02 S 1000 mL mit LZ 2 - Getränkekarton für Saft/Nektar, mit Ausgusshilfe (Basis)

1.13 S 1000 mL *ohne* LZ 2 - Getränkekarton für Saft/Nektar, mit Verschluss (Sensitivität)

2.01 S 1000 mL mit LZ 2 - PET-Flasche für Saft (38 g Multilayer-Flasche mit 5% PA-Anteil; Basis)

2.16 S 1000 mL *ohne* LZ 2 - PET-Flasche für Saft (38 g Multilayer-Flasche mit 5% PA-Anteil; Sensitivität)

Abbildung 5-10: Indikatorergebnisse für Getränkekarton (1000 mL mit Ausgusshilfe) und PET-Einwegflasche (1000 mL) in Abhängigkeit von der Berücksichtigung der Entsorgung im zweiten Lebenszyklus (LZ 2).

Bezug: Verpackung und Distribution von 1000 L Saft/Nektar

Ökologische Relevanzeinstufung der Indikatoren durch das UBA:

Terrestrische Eutrophierung: große Priorität

Aquatische Eutrophierung: mittlere Priorität

Naturraumbeanspruchung – Fläche Forst: mittlere Priorität

Kumulierter Energieaufwand (KEA gesamt): keine Einstufung

Die Einbeziehung der Entsorgung von gutgeschriebenen Materialien im 2. Lebenszyklus („LZ 2“) stellt in gewissem Sinn eine Systemraumerweiterung gegenüber dem Ansatz in den UBA-Studien dar (vgl. Kap. 1.9.2). Hier wird überprüft, inwieweit diese methodische Festlegung den Vergleich der Verpackungssysteme beeinflusst.

In den Abbildungen 5-9 und 5-10 sind die Basisszenarien mit LZ 2 sowie - als Sensitivität - ohne Berücksichtigung der Entsorgung im 2. Lebenszyklus dargestellt. Es ist erkennbar, dass die Netto-Ergebnisse in relativ geringem Maß von dieser Festlegung beeinflusst werden.

Tabelle 5-5 dokumentiert die relativen Systemunterschiede von PET und Karton in Abhängigkeit von der Berücksichtigung der Entsorgung im LZ 2. In den prioritären Kategorien sind die relativen Systemunterschiede (etwas) deutlicher, wenn LZ 2 berücksichtigt wird. Tendenziell verschiebt sich das Ergebnis zu Gunsten des Kartonsystems, allerdings nicht bei *Sommersmog*. In keiner Kategorie ändert sich jedoch die Richtung oder Signifikanz der Ergebnisse. Ein nennenswerter Effekt besteht nur in der Kategorie *Treibhauseffekt*, Einfluss auf die generelle Erkenntnis hat dies aber nicht.

Es kann festgestellt werden, dass die abgeleiteten Erkenntnisse unabhängig von Einbeziehung der Entsorgung im 2. Lebenszyklus Bestand haben.

Tabelle 5-5 Vergleich Getränkekarton (mit Ausgusshilfe) und PET-Einweg im Marktsegment Saft/Nektar - Vorratshaltung (1000 mL Füllvolumen) bei unterschiedlichem methodischen Vorgehen: mit/ohne Berücksichtigung der Entsorgung im zweiten Lebenszyklus (LZ 2)

Indikator	Berücksichtigung LZ 2	ohne Berücksichtigung LZ 2
	Karton (1.02 S 1000 mL) versus PET (2.01 S 1000 mL) <i>entspricht Tabelle 4-1</i>	Karton (1.13 S 1000 mL) versus PET (2.16 S 1000 mL)
Treibhauseffekt	-167%	-132%
Fossiler Ressourcenverbrauch	-164%	-157%
Sommersmog (POCP)	+42%	+40%
Versauerung	-23%	-22%
Terrestrische Eutrophierung	-37%	-32%
Aquatische Eutrophierung	-26%	-26%
Naturraumbeanspruchung - Fläche Forst	+999%	+996%
Kumulierter Energieaufwand (KEA) gesamt	-48%	-48%

Relative Systemunterschiede, bezogen auf das jeweils kleinere Ergebnis (Rechnerische Unterschiede ohne Festlegung einer Signifikanzschwelle).

negative Werte: Indikatorwert des Getränkekartons ist kleiner als derjenige der PET-Flasche

positive Werte: Indikatorwert des Getränkekartons ist größer als derjenige der PET-Flasche

6 Weitere Ergebnisauswertungen

6.1 Variabilität der Getränkekartongewichte

Die Rechenwerte für die Verpackungsspezifikationen des Getränkekartons wurden als Mittelwerte aus den auf dem deutschen Markt gehandelten Getränkekartontypen gewichtet mit deren Marktanteilen hergeleitet. Die Daten stammen von den drei Herstellerfirmen. Bereits in Abb. 2-1 und Abb. 2-2 wurde ersichtlich, dass dabei die Gewichte einzelner Getränkekartontypen erheblich vom Mittelwert abweichen können.

Die Variabilität der Gewichte ist besonders ausgeprägt beim 1000 mL Karton mit Verschluss in der Untersuchungsgruppe *Fruchtsäfte und Fruchtnektare*. In der Abb. 6-1 ist diese Gewichtsverteilung nochmals dargestellt. Als Zusatzinformation sind in Abb. 6-1 ein „5%-Perzentil“ sowie ein „95%-Perzentil“ angegeben. Diese Angaben sind hier so zu verstehen, dass die am jeweiligen Perzentil liegenden Getränkekartontypen eine obere und untere Gewichtsbandbreite definieren, innerhalb derer 90% aller auf dem deutschen Markt gehandelten Getränkekartons angesiedelt sind.

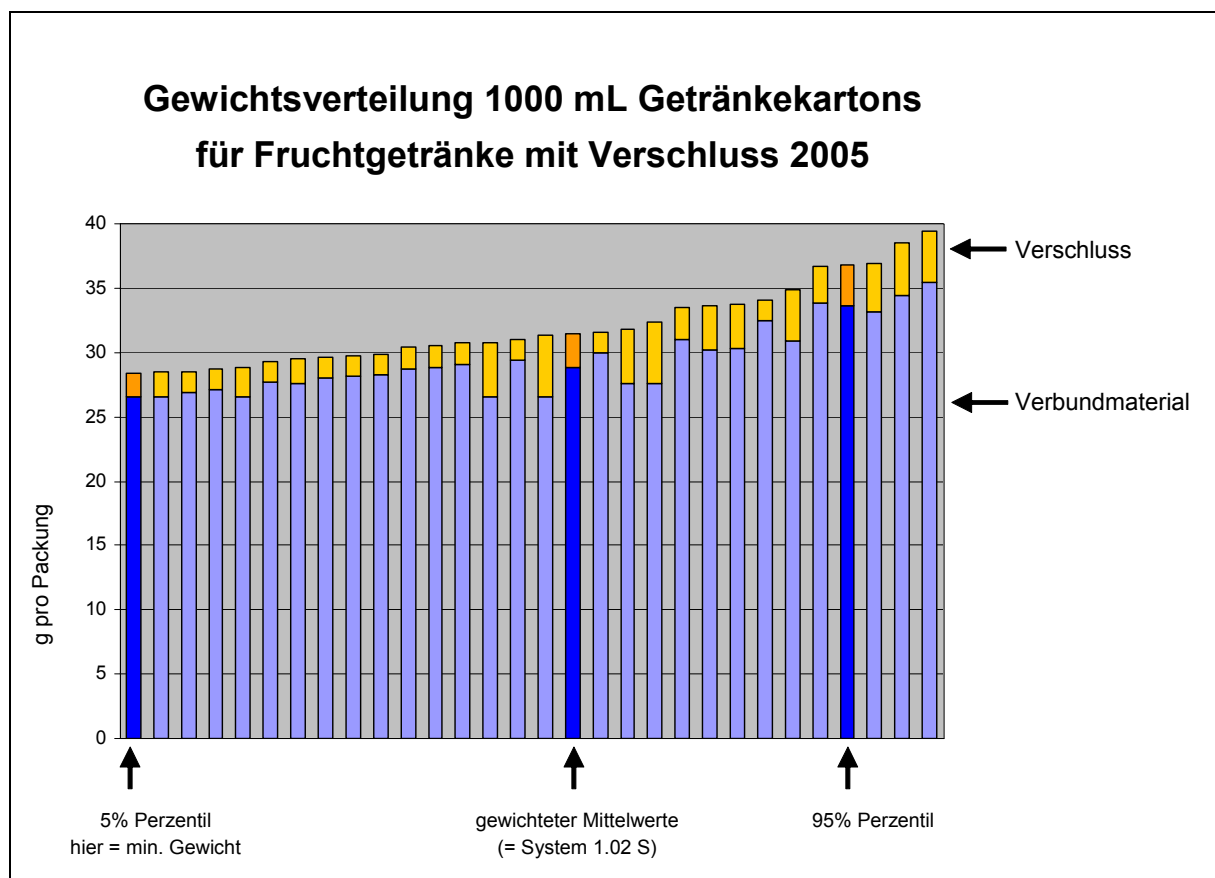


Abbildung 6-1: Gewichtsverteilung der In Deutschland verwendete Getränkekartons für Fruchtsaft und -nektar mit Ausgusshilfe (Auszug aus Abb. 2-2).

Hervorgehoben: Lage von 5% Perzentil, Mittelwert (= System 1.02 S) sowie 95% Perzentil

Um eine Information über die Bedeutung dieser Variabilität für den Systemvergleich zu erhalten, wurden die Umweltwirkungsprofile der Getränkekartons am 5%- und 95%-Perzentil so-

wie die Getränkekartontypen mit dem niedrigsten Gewicht (fällt zusammen mit dem Getränkekarton am 5%-Perzentil) sowie dem höchsten Gewicht bilanziert. Das Ergebnis ist in Abb. 6-2 ersichtlich.

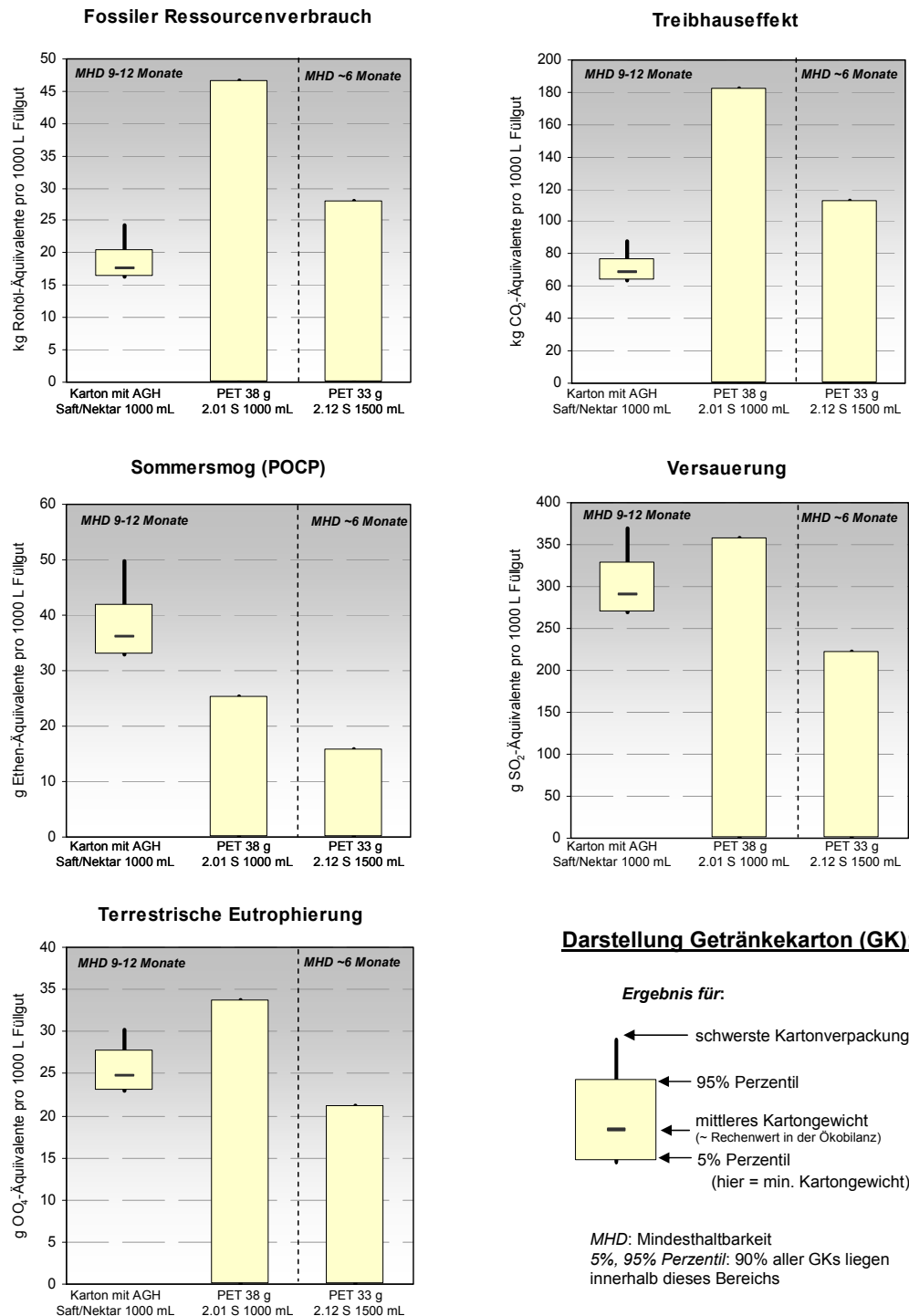


Abbildung 6-2: Getränkekarton (1000 mL) mit Ausgusshilfe (AGH) im Vergleich zu PET EW (1000 mL, 1500 mL) unter Berücksichtigung der Variabilität der Getränkekartongewichte

Der horizontal liegende Strich im Bereich des gelben Balkenabschnitts des Getränkekartons entspricht dem Ergebnis des Szenarios 1.02 S 1000 mL, das den gewichteten Mittelwert der Getränkekartons repräsentiert. Besonders der nach oben weisende dünne Teilbalken, dessen oberes Ende das Ergebnis des schwersten Kartons darstellt, zeigt, dass für die schwereren Getränkekartontypen die Umweltwirkungsprofile erheblich über denen des Marktdurchschnitts liegen können.

Als Vergleich wurde eine PET-EW-Flasche, die mit einer dem Getränkekarton vergleichbaren MHD ausgestattet ist (System: 2.01 S 1000 mL) und eine PET-Flasche, die geringere MHD erreicht (System: 2.12 S 1500 mL) verglichen. Letztere ist eine bereits auf dem Markt befindliche PET-EW-Flasche, die in der Kombination Volumen/Gewicht das derzeit technisch erreichbare Minimalgewichte markieren dürfte.

Im Einzelvergleich des Getränkekartons zu den beiden EW-PET-Flaschen bleibt auch unter Berücksichtigung der Gewichtsbandbreite die rechnerisch ermittelte Ergebnisrichtung je Wirkungskategorie (d.h. kleinere oder größere Indikatorwerte) weitgehend unverändert. Die *Versauerung* bildet eine Ausnahme: die Indikatorwerte des Getränkekartons sind am Gewichts-Mittelwert kleiner als die der 1000 mL PET-Flasche und werden im oberen Gewichtsbereich größer als die des Vergleichssystems.

Würde man die beiden PET-Systeme ebenfalls als zwei Grenzpunkte einer Bandbreite interpretieren, dann ergibt sich bei der *Versauerung* und der *terrestrischen Eutrophierung* eine Überlappung der Bandbreiten der Vergleichssysteme. Beim *Sommersmog* liegen die Indikatorwerte des Getränkekartons in der gesamten Bandbreite über denen der Vergleichssysteme, beim *fossilen Ressourcenbedarf* und dem *Treibhauseffekt* verhält es sich umgekehrt.

6.2 Normierung am Beispiel Vorratshaltung Fruchtsaft/Fruchnektar

Die Normierung bezeichnet die Berechnung der Größenordnung der Indikatorergebnisse im Verhältnis zu einem Referenzwert. Der Beitrag der durch das untersuchte Produktsystem verursachten Umweltwirkungen kann damit z.B. auf bereits existierende Umweltbelastungen bezogen werden. Ziel dieses Vorgehens ist es, ein besseres Verständnis für die relative Bedeutung der ermittelten Indikatorergebnisse zu bekommen.

In der hier anhand ausgewählter Beispiele durchgeführten Normierung wird die Umweltlast Deutschlands und West-Europas als Referenzwert herangezogen. Man berechnet dazu, wie groß z.B. das Treibhauspotential ist, das durch die derzeitigen Emissionen in Deutschland bzw. Westeuropa innerhalb eines Referenzjahres verursacht wird. Das berechnete Treibhauspotential wird durch die Anzahl der Einwohner Deutschlands bzw. Westeuropas dividiert und man erhält so das Treibhauspotential, das im Mittel durch einen Einwohner Deutschlands bzw. Westeuropas verursacht wird. Dieser Wert entspricht also einem Einwohnerdurchschnittswert (EDW).

Zu diesem Wert setzt man in einem nachfolgenden Schritt das Treibhauspotential einer bestimmten Untersuchungsoption ins Verhältnis und erhält somit den spezifischen Beitrag der gewählten Option, ausgedrückt als eine bestimmte Anzahl von EDW. Diese sind also nichts anderes als eine Bezugsgröße, um die verschiedenen Indikatorergebnisse in vergleichbare Einheiten zu überführen und die Relevanz des Beitrags einer Untersuchungsoption zu den betrachteten Umweltwirkungen zu veranschaulichen.

In Tabelle 6-1 sind die als Bezug herangezogenen Gesamtbelastungswerte Deutschlands bzw. Westeuropas und die auf einen Einwohner skalierte Menge – entspricht einem EDW – aufgeführt.

In einem dritten Schritt werden die Ergebnisse, die sich zunächst auf die in der Zieldefinition gewählte funktionelle Einheit beziehen, auf den Gesamtverbrauch der betrachteten Getränke in Deutschland bzw. Westeuropa skaliert. Dabei wurde ein Verbrauch an *Fruchtsäften und Fruchtnektaren* von 4'555 Mio. L (Deutschland) und 14'307 Mio. L (West-Europa) zugrunde gelegt. Als Quelle für die Herleitung dieser Zahlen diente [Tetra Pak 2005; 2006].

Am Ende des beschriebenen Rechengangs liegen die spezifischen Beiträge der verschiedenen untersuchten Optionen bezüglich der jeweiligen Kategorien vor. Für die Darstellung von EDW werden die Ergebnisse der ausgewählten Kategorien nicht-sektoral abgebildet, da es bei dieser Darstellungsform eher auf den Gesamtbeitrag hinsichtlich der betrachteten Umweltwirkungskategorien ankommt (s. Abb. 6-3 und Abb. 6-4).

Tabelle 6-1: Daten zur Ermittlung des spezifischen Beitrags (EDW)
EDW = Einwohnerdurchschnittswert

	Fracht pro Jahr			EDW	
	Deutschland	West-Europa		Deutschland	West-Europa
Einwohner					
Einwohner	82 532 000 a)	397 404 900 b)			
Ressourcen					
Braunkohle	1 547 000 c)	2 239 394 j)	TJ	18 744	5 635 MJ
Erdgas	3 025 000 c)	15 552 120 j)	TJ	36 652	39 134 MJ
Rohöl	5 478 000 c)	26 042 733 j)	TJ	66 374	65 532 MJ
Steinkohle	1 920 000 c)	6 823 563 j)	TJ	23 264	17 170 MJ
Fläche, gesamt	35 703 000 v)	400 000 000	ha	4 326	10 065 m2
Emissionen (Luft)					
Ammonium	601 000 i)	3 540 000 k)		7,28	8,91 kg
Arsen	33 d)	193 k)	t	0,0004	0,0005 kg
Benzol	42 900 f)	306 000 k)	t	0,52	0,77 kg
Benzo(a)pyren	13,76 e)	209 k)	t	0,0002	0,0005 kg
Cadmium	11 d)	133 k)	t	0,00013	0,00033 kg
Chlorwasserstoff		730 000 k)			1,84 kg
Chrom	115 d)	646 k)	t	0,0014	0,0032 kg
Dioxin (TCDD/F)	1,25 g)	3,55 l)	kg	15,15	8,93 µg
Stickstoffdioxid	205 000 i)	1 300 000 k)	t	2,48	3,27 kg
Fluorwasserstoff	124 000 h)		t	1,50	kg
Kohlendioxid, fossil	865 000 000 i)	3 390 000 000 k)	t	10 481	8 530 kg
Kohlenmonoxid	4 155 000 i)	42 800 000 k)	t	50,34	107,70 kg
Methan	3 582 000 i)	20 265 000 k)	t	43,40	50,99 kg
Nickel	159 d)	1580 k)	t	0,0019	0,0040 kg
NMVOG	1 460 000 i)		t	17,69	kg
Stickoxid (als NO ₂)	1 428 000 i)	14 000 000 k)	t	17,30	35,23 kg
PCB	43,6 g)	106 k)	t	0,00053	0,00027 kg
Schwefeldioxid	616 000 i)	12 220 000 k)	t	7,46	30,75 kg
Staub (PM10)	224 930 i)	1 350 000 k)	t	2,73	3,40 kg
Emissionen (Wasser)					
Phosphor	33 000 i)	224 000 k)	t	0,39984	0,56366 kg
Stickstoff	688 000 i)	1 370 000 k)	t	8,33616	3,44737 kg
Aggregierte Werte für die Wirkungsabschätzung					
Rohöläquivalente	189 702 096	878 621 435	t COE-Eq	2 298,53	2 210,90 kg
Treibhauseffekt	1 017 916 500	4 296 623 750	t CO ₂ -Eq	12 334	10 812 kg
Versauerung	2 943 880	29 317 600	t SO ₂ -Eq	35,67	73,77 kg
Eutrophierung (terr.)	395 990	3 059 000	t PO ₄ -Eq	4,80	7,70 kg
Eutrophierung (aqu.)	389 940	1 260 840	t PO ₄ -Eq	4,72	3,17 kg
Eutrophierung (ges.)	785 930	4 319 840	t PO ₄ -Eq	9,52	10,87 kg
Sommersmog (POCP)	638 290	8 200 000	t Eth-Eq	7,73	20,63 kg
Fläche	357 033	4 000 000	Km ²	0,43	1,01 ha

- a) Stat. Bundesamt 2004 (31.12.2003)
- b) Eurostat (1.1.2005)
- c) Daten zur Umwelt 2005, Bezugsjahr 2000
- d) Daten zur Umwelt 1996, Bezugsjahr 1995
- e) IFEU-Studie „POP-Emissionen in Deutschland“, Bezugsjahr 1994
- f) Enquete Stoff- und Materialströme 1993, p. 146
- g) Mitteilung UBA
- h) Daten zur Umwelt 92/92, Bezugsjahr 1991
- i) Daten zur Umwelt 2005, Bezugsjahr 2003
- j) Eurostat, taken from „Energiebilanzen – Daten 2002-2003. Detailed tables, 2005 Edition“
- k) Reference Emissions Western Europe, 1995, Daten aus CML (April 2004)
- l) European Dioxin Inventory – Stage II – Bezugsjahr 2000

Für die Normierung des Wirkungsindikators Naturraumbeanspruchung wurden die jeweiligen Gesamtflächen Deutschlands bzw. Westeuropas herangezogen. Das entspricht dem Vorgehen bei den anderen Wirkungskategorien, wo auch jeweils die deutschen bzw. westeuropäischen Gesamtwerte die Referenz bilden.

Der geographische Bezug der Referenzwerte (z.B. für GWP Deutschland) und der verursachten Emissionen (GWP des Getränkekartonsystems) sind nicht zwangsläufig deckungsgleich, da etwa das Treibhauspotential in Verbindung mit der Rohkartonherstellung in den nordischen Ländern entsteht. Die Ergebnisse der Normierung werden von solchen Effekten in der Regel jedoch kaum beeinflusst.

Probleme für die Bewertung der normierten Ergebnisse können jedoch entstehen, wenn die geographischen Bezüge für eine Wirkungskategorie vollständig divergieren, wie dies in der vorliegenden Studie bei der Naturraumbeanspruchung der Fall ist. Hier kann es helfen, den geographischen Bezugsraum so auszudehnen, dass eine ausreichend große Schnittmenge hergestellt ist. In dieser Studie ist dies durch die alternative Betrachtung des Bezugsraums Westeuropa geschehen.

Einschränkend muss bemerkt werden, dass im Falle des aquatischen Eutrophierungspotentials durch das Fehlen der EDW-Bezugsgröße für CSB die Einwohnerdurchschnittswerte zu hoch berechnet sind. Von dem ausgewiesenen Eutrophierungspotential z.B. für das Verpackungssystem „Getränkekarton 1000 mL“ (Saft) mit 15,7 g PO_4 -Äquivalenten pro 1000 L Füllgut werden 7,28 g durch den CSB-Anteil verursacht, welches knapp 50% darstellt. Somit wäre für dieses System bei Vernachlässigung des CSB-Wertes auch ein um etwa 50% niedrigeres aquatisches Eutrophierungspotential in der EDW-Darstellung zu erwarten. Diese Datenlücke hinsichtlich der Bezugsgröße wird in der späteren Auswertung der EDW-Ergebnisse berücksichtigt.

Ergebnisse der Normierung

Die normierten Indikatorergebnisse für die ausgewählten Szenarien in Abbildung 6-3 und Abb. 6-4 zeigen, welche Wirkungskategorien relative höhere bzw. niedrigere spezifische Beiträge zu den deutschen bzw. westeuropäischen Gesamtwerten beitragen. Anders ausgedrückt: in den Wirkungskategorien, mit den höchsten spezifischen Beiträgen, könnte eine Reduktion der Umweltlasten der betrachteten Verpackungssysteme besonders wirkungsvoll zur Umweltverbesserung auf deutscher bzw. westeuropäischer Ebene beitragen.

Die Wirkungskategorien in Abb. Abbildung 6-3 und Abb. 6-4 sind von links nach rechts mit absteigender ökologischer Priorität dargestellt. Dabei sind die Kategorien sehr großer Bedeutung, großer Bedeutung und mittlerer Bedeutung jeweils als Gruppen grafisch hervorgehoben.

Die höchsten normierten Indikatorergebnisse für Deutschland weisen die Wirkungskategorien *fossiler Ressourcenbedarf*, *Treibhauseffekt* und *Naturraumbeanspruchung* auf. Hinsichtlich Westeuropas gilt dies nur für den *fossilen Ressourcenbedarf* und den *Treibhauseffekt*, deren Abstand zu den restlichen Wirkungskategorien hier besonders groß ist.

Für sich allein genommen können die normierten Ergebnisse als ein Hinweis dafür gesehen werden, dass die Ergebnisausrichtung der Vergleichsszenarien bezüglich der Wirkungskategorien *fossiler Ressourcenbedarf*, *Treibhauseffekt* und *Naturraumbeanspruchung* in der Interpretation der Ergebnisse angemessen berücksichtigt werden sollte. Die besondere Relevanz dieser Kategorien ergibt sich auch durch die großen absoluten Unterschiede der EDWs im Szenarienvergleich.

Wie die in EDW gemessenen Unterschiede zwischen den Szenarien zu lesen sind, soll am Beispiel Treibhauseffekt in Abb. 6-3 verdeutlicht werden. Im Bezug Deutschland erreicht der Getränkekarton 25'212 EDW und das PET-EW-System 67'358 EDW. Geht man nun davon aus, dass die gesamte in Deutschland in einem Jahr konsumierte Menge an Fruchtsäften und Fruchtnektaren alternativ in 1000 mL Getränkekartons oder 1000 mL PET-Flaschen abgefüllt würde, so würden sich bei der Alternative Getränkekarton potenziell soviel Treibhausgase einsparen lassen, wie sie statistisch von 52'144 Einwohner jährlich verursacht werden.

Im übrigen stimmen die normierten Ergebnisse des Getränkekarton den entsprechenden Ergebnissen in UBA 2000 gut überein, wenn man die EDW der einzelnen Wirkungskategorien vergleicht. Damit kann auch davon ausgegangen werden, dass die unter Einbeziehung der Normierung erfolgte Prioritätenbildung des UBA (s. Kap. 1.10.2) für die untersuchten Getränkeverpackungen weiterhin Gültigkeit hat.

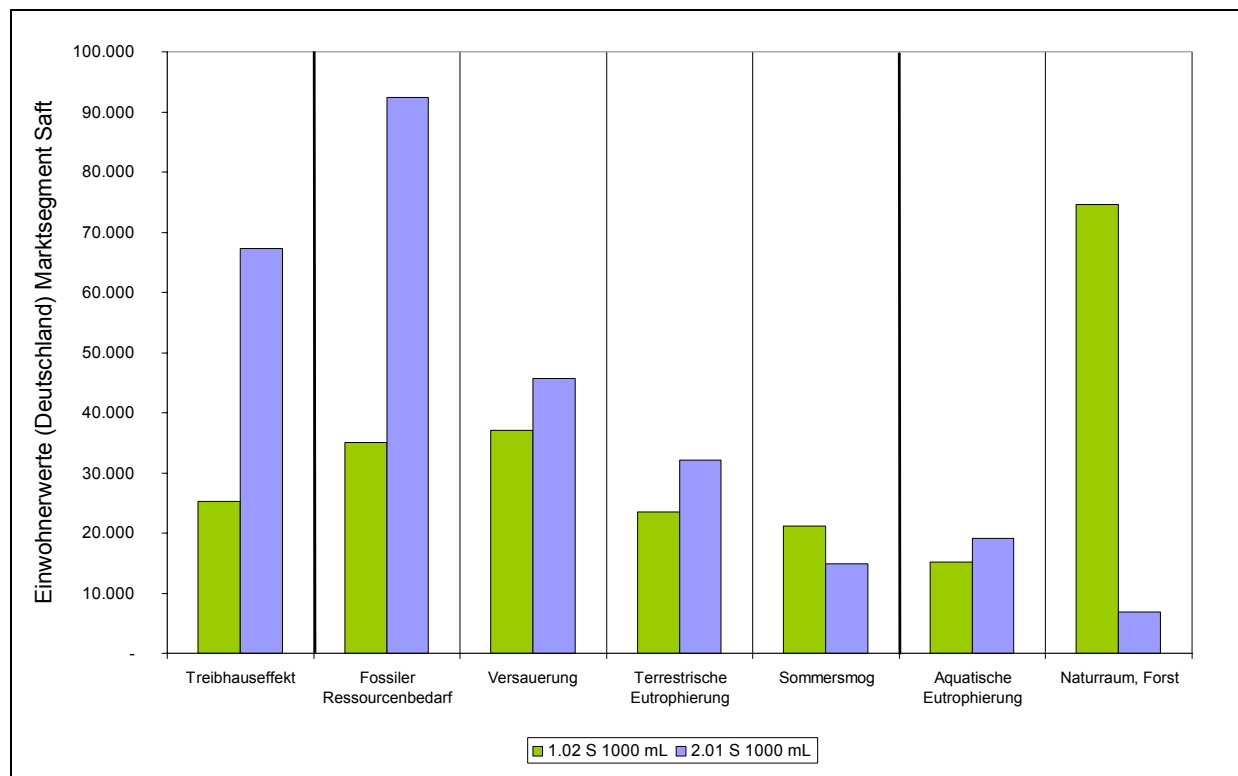


Abbildung 6-3: Einwohnerwerte der graphisch dargestellten Wirkungsindikatoren für den Getränkekarton und die PET-EW-Flasche auf Basis der Szenarien 1.02 S 1000 mL und 2.01 S 1000 mL und mit Bezug Deutschland

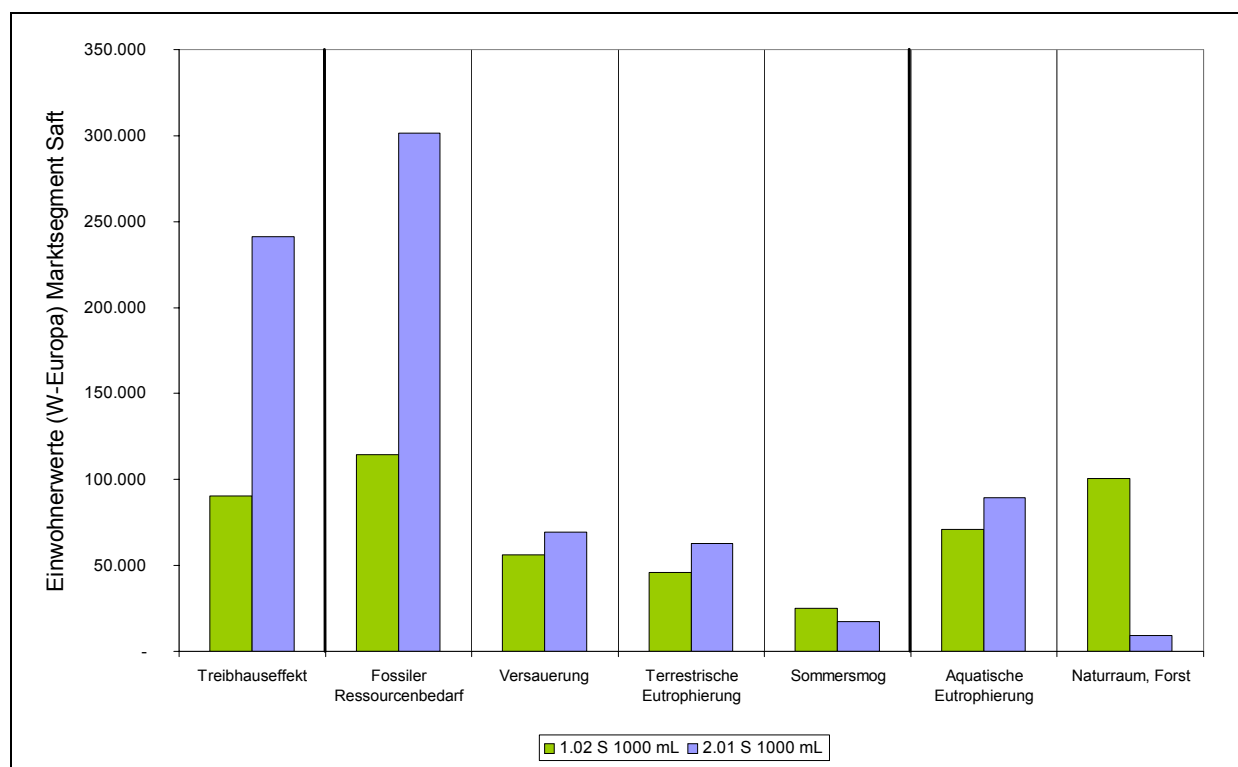


Abbildung 6-4: Einwohnerwerte der graphisch dargestellten Wirkungsindikatoren für den Getränkekarton und die PET-EW-Flasche auf Basis der Szenarien 1.02 S 1000 mL und 2.01 S 1000 mL und mit Bezug West-Europa

7 Auswertung der Ergebnisse

Ausgehend von der Zielsetzung der Untersuchung und den in den Kap. 4 bis Kap. 6 vorgestellten Ergebnissen, sollen im vorliegenden Kap. 7 Auswertungen vorgenommen werden, die schließlich in Kap. 8 in Schlussfolgerungen und Empfehlungen münden.

Dabei sollen alle wesentlichen Festlegungen und Annahmen berücksichtigt werden, ebenso wie die Qualität und Unsicherheit von Daten und Informationen sowie die Auswahl und Methoden der Wirkungsabschätzung.

Wichtig ist es, zu betonen, (Zitat ISO 14040) dass Anwendungen und Entscheidungen auf der Grundlage der Ökobilanzstudie außerhalb des Untersuchungsrahmens der Studie liegen, da weitere Faktoren wie technische Machbarkeit, als auch ökonomische und soziale Aspekte nicht betrachtet werden.

Vollständigkeit, Konsistenz und Datenqualität

Die für die Auswertung der in dieser Studie untersuchten Verpackungssysteme relevanten Informationen und Daten lagen vor. Ergebnisrelevante Fehlstellen sind nach Einschätzung der Auftragnehmer nicht zu verzeichnen.

Eine gewisse Einschränkung der Datenrepräsentativität besteht hinsichtlich der Verpackungsspezifikationen der untersuchten PET-Flaschen. Da für diesen Bereich keine Daten für den Gesamtmarkt verfügbar sind, wurde hier auf Marktmuster zurückgegriffen. Um die Belastbarkeit der Ergebnisse im Systemvergleich mit Getränkekartons zu erhöhen, wurden eher leichte PET-Flaschen herangezogen bzw. Gewichts optimierte Varianten in Sensitivitätsanalysen untersucht.

Insgesamt können die **Datenqualität** und die **Datensymmetrie** dieser Ökobilanz als gut bis sehr gut eingestuft werden.

Allokationsregeln, Systemgrenzen und die Berechnungen zur Wirkungsabschätzung wurden einheitlich bei allen untersuchten Verpackungssystemen und den darauf beruhenden Szenarien angewendet.

Signifikanz der Unterschiede

Nach ISO 14042 können in Abhängigkeit von der Zieldefinition und dem Untersuchungsrahmen Informationen und Verfahren notwendig werden, die eine Ableitung von signifikanten Ergebnissen zulassen. Dies trifft zu, wenn, wie im vorliegenden Fall, ökobilanzielle Ergebnisse möglicherweise in marktstrategische oder politische Entscheidungen einfließen.

Da jedoch eine Signifikanzprüfung anhand einer Fehlerrechnung mit Fehlerfortpflanzung im streng mathematischen Sinne aufgrund der Datenstruktur in Ökobilanzen kritisch gesehen wird, sollen nachfolgende Hinweise eine Orientierung darüber geben, wann Unterschiede zwischen den Systemen als relevant anzusehen sind.

Als eine wichtige Hilfestellung kann dabei die in Kap. 4.1 dargestellte Dominanzanalyse (Sektoralanalyse) angesehen werden. Dort wurde festgestellt, dass für die PET-Einwegflasche die wesentlichen Wirkungsbeiträge vor allem auf die Bereitstellung des Flaschenmaterials verursacht werden. Bei den Getränkekarton-Systemen sind die Indikatorergebnisse durch mehrere Sektoren beeinflusst. Besonders relevant ist die Herstellung der

einzelnen Verbundmaterialien, d.h. Aluminium, Polyethylen und Rohkarton sowie die Herstellung der Ausgusshilfen.

Auf die Qualität der in diesen Datenbereichen verwendeten Daten und Annahmen wurde während der Projektbearbeitung besonderes Gewicht gelegt (siehe dazu auch Kap. 2 und 3). Verbleibende Unsicherheiten im Hinblick auf PET-Flaschengewichte wurden mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen untersucht.

Die Auftragnehmer vertreten die Auffassung, dass die verwendeten Daten und Annahmen in den ergebnisrelevanten Bereichen für die betrachteten Verpackungssysteme zutreffend und in ihrem Grad an Aktualität über die Verpackungssysteme hinweg weitgehend symmetrisch sind. Die darauf beruhenden Ergebnisse können daher als belastbar angesehen werden. Unsicherheiten bezüglich der Genauigkeit und Repräsentativität der Daten sind, wie vorher ausgeführt, dennoch in einem gewissen Maße unvermeidlich. Infolgedessen sind geringe Unterschiede der Indikatorwerte im Vergleich der Verpackungssystemen weniger signifikant als große Unterschiede.

Auch wenn diskrete Angaben für Signifikanzschwellen in Ökobilanzuntersuchungen wegen grundsätzlicher Bedenken nicht belastbar hergeleitet werden können, wurde, um eine Überinterpretation kleiner Unterschiede zu vermeiden, der Systemvergleich von Getränkekartons und PET-EW-Verpackungen behelfsweise unter Anwendung einer Signifikanzschwelle geprüft.

Das IFEU verwendet bei der Analyse von Verpackungssystemen i.d.R. einen Schwellenwert von 10 %. Es handelt sich dabei um einen pragmatischen und in der ökobilanziellen Praxis durchaus gängigen Ansatz, den die Autoren der Studie für ökobilanzielle Vergleiche von solchen Szenarien als zulässig erachten, deren Systemgrenze jeweils nur ein einzelnes und vergleichsweise wenig komplexes Produktsystem umfasst.

Im Fall der vorliegenden Studie wurden Entwicklungen bei den PET-Systemen, die für den Zeitraum 2006-2010 möglich sind, einbezogen. Um dem prospektiven Charakter dieser Einschätzungen Genüge zu tun, wurde der Schwellenwert zur Prüfung der Vergleichsergebnisse für alle Szenarienvergleiche auf 20% angehoben.

Dieses Vorgehen ist keinesfalls standardmäßig auf alle Ökobilanzen übertragbar. Es ist auch darauf hinzuweisen, dass in den Getränkeökobilanzen des Umweltbundesamts ganz auf die Anwendung diskreter Signifikanzschwellen verzichtet wurde.

7.1 Systemvergleiche

7.1.1 Marktsegmente Saft/Nektar und Eistee

Im Marktsegment *Saft/Nektar* (Vorratshaltung, 2005) steht unter dem Gesichtspunkt der Marktrelevanz der Vergleich der 1000 mL PET-EW-Flasche mit dem 1000 mL Karton mit Verschluss im Vordergrund. Letzterer hat zudem die höchsten Indikatorwerte der Getränkekartons in dieser Vergleichsgruppe.

Vergleicht man hier nun die rechnerischen relativen Unterschiede (s. Tabelle 4-1) unter Einbeziehung einer Signifikanzschwelle von 20%, so lassen sich Vorteile des Getränkekartons in den Kategorien *fossiler Ressourcenbedarf*, *Treibhauseffekt*, *Versauerung*, *terrestrische Eutrophierung* und *aquatische Eutrophierung* sowie Nachteile beim *Sommersmog* und der

Naturraumbeanspruchung Forst konstatieren. Die Unterschiede beim *fossilen Ressourcenbedarf*, *Treibhauseffekt* und der *Naturraumbeanspruchung Forst* sind besonders groß.

Dieser Sachverhalt stellt sich auch unter Berücksichtigung der durchgeführten Sensitivitätsanalysen zur Steigerung der Sortiertiefe gebrauchter PET-EW-Flaschen sowie zum Einsatz von PET-Rezyklat (mit einem Anteil von 25% in der Flaschenherstellung) weitgehend unverändert dar.

Saft/Nektar

Im Bereich des Marktsegments *Saft/Nektar* (Sofortverzehr, 2005) entsprechen die Ergebnisse beim Vergleich des 500 mL Getränkekartons mit der 500 mL PET-EW-Flasche dem zuvor gesagten. Etwas anders liegt der Fall beim Vergleich des 200 mL Getränkekartons mit der 330 mL PET-EW-Flasche. Hier finden sich einerseits Vorteile des Getränkekartons beim *fossilen Ressourcenbedarf*, *Treibhauseffekt* und der *terrestrischen Eutrophierung* und andererseits Nachteile beim *Sommersmog*, der *aquatischen Eutrophierung* und der *Naturraumbeanspruchung Forst*.

Die 330 mL PET-Flasche ist als Monolayer-Flasche relativ leichter als die 500 mL Multilayer-Flasche und hat gegenüber dem Vergleichssystem (Getränkekarton 200 mL) zudem einen Volumenvorteil. Diese beiden Faktoren führen dazu, dass bei einzelnen Wirkungskategorien die zuvor festgestellten Vorteile des Getränkekartons nicht mehr vorhanden oder zumindest weniger ausgeprägt sind.

Bestätigt wird der Einfluss der genannten Faktoren beim Vergleich des 1000 mL Getränkekartons mit dem Sensitivitätsszenario 1500 mL PET-EW-Flasche mit Monolayerausstattung. Hier liegen die Vorteile des Getränkekartons nur mehr in den Wirkungskategorien *fossiler Ressourcenbedarf* und *Treibhauseffekt*, während Nachteile bei der *Versauerung*, dem *Sommersmog*, der *aquatischen Eutrophierung* und der *Naturraumbeanspruchung Forst* festzustellen sind. Die größten Unterschiede finden sich hier in den Kategorien *Sommersmog* und *Naturraumbeanspruchung Forst*.

Eistee

Im Marktsegment *Eistee* (Vorratshaltung, 2005) liegen die Vorteile des Getränkekartons ebenfalls allein in den Wirkungskategorien *fossiler Ressourcenbedarf* und *Treibhauseffekt*, während Nachteile beim *Sommersmog*, der *aquatischen Eutrophierung* und beim *Naturraumbeanspruchung Forst* zu finden sind.

7.1.2 Marktsegment Frischmilch / Milchmischgetränke

Für das Marktsegment *Frischmilchprodukte* (Sofortverzehr, 2005) zeigen die rechnerischen relativen Unterschiede (s. Tabelle 4-4) unter Einbeziehung einer Signifikanzschwelle von 20% Vorteile des Getränkekartons in den Kategorien *fossiler Ressourcenbedarf*, *Treibhauseffekt*, *Versauerung* und *terrestrische Eutrophierung* sowie Nachteile bei der *aquatischen Eutrophierung* und der *Naturraumbeanspruchung Forst*. Wieder sind die Unterschiede beim *fossilen Ressourcenbedarf*, *Treibhauseffekt* und *Naturraumbeanspruchung Forst* besonders groß.

Der Bereich Vorratshaltung konnte hier nur über eine Sensitivitätsanalyse untersucht werden, da im Jahr 2005 keine PET-EW-Flaschen auf dem Markt waren. Grundsätzlich entsprechen die Ergebnisse des Vorratskaufs jedoch denen, die beim Sofortverzehr festgestellt

wurden. Ausnahme: der Unterschied bezüglich der *terrestrischen Eutrophierung* ist bei Anwendung eines Schwellenwerts von 20% nicht als signifikant zu bewerten.

7.2 Übergreifende Interpretation

7.2.1 Vorgehensweise

Die analysierten Szenarien zeigen, dass die Vergleichsergebnisse des Getränkekartons gegenüber der PET-EW-Flasche stark davon abhängen, ob es sich um relativ schwere PET-Flaschen mit hoher Barrierefunktion oder relativ leichte und zudem mit Volumenvorteil ausgestattete PET-EW-Flaschen mit reduzierter Barrierefunktion handelt.

Beim Getränkekarton gibt es ebenfalls solche mit höherer und niedrigerer Barriere, was durch das Vorhandensein bzw. die Abwesenheit einer Aluminiumschicht bestimmt wird. Dieser Unterschied wirkt sich auf das Ökoprofil des Getränkekartons aus und beeinflusst dadurch ebenfalls das Vergleichsergebnis.

Damit liegt es nahe, für eine übergreifende Betrachtung drei Fälle zu unterscheiden:

Fallgruppe	Getränkekarton	PET-EW-Flasche	Marktsegment
1	Höhere Barriere	Höhere Barriere	Saft/Nektar
2	Höhere Barriere	Niedrigere Barriere/ großes Volumen	Saft/Nektar / Eistee
3	Niedrigere Barriere	Niedrigere Barriere	Frischmilchprodukte

Anhand von Kapitel 7.2.1 und 7.2.2 lässt sich erkennen, dass in keiner der Fallgruppen die Indikatorergebnisse bei allen Wirkungskategorien nur in eine Richtung, d.h. zugunsten des einen oder anderen Systems, weisen. Weitere Bewertungshilfen sind somit erforderlich.

Zu diesem Zweck wird im nächsten Schritt die UBA-Prioritätenbildung der Wirkungskategorien (s. Kap. 1.10.2) herangezogen. Zieht man behelfsweise zusätzlich die vorgeschlagene Signifikanzschwelle hinzu, stellt sich das Bild wie folgt dar:

7.2.2 Ergebnisse der Fallgruppen

Fallgruppe 1: Saft/Nektar; MHD > 9 Monate

Merkmal: schwere PET-Flaschen, höhere Barriereanforderungen

- Kategorien mit sehr großer ökologischer Bedeutung (nur Treibhauseffekt)
Beim *Treibhauseffekt* besteht ein Vorteil des Getränkekartons in allen durchgeführten Vergleichen
- Kategorien mit großer ökologischer Bedeutung
Den Vorteilen des Getränkekartons bei den drei Kategorien *fossiler Ressourcenbedarf*, *terrestrische Eutrophierung* und *Versauerung* steht der Nachteil beim *Sommersmog* gegenüber
- Kategorien mit mittlerer ökologischer Bedeutung
Dem Vorteil des Getränkekartons bei der Kategorie *aquatische Eutrophierung* steht der Nachteil bei der *Naturraumbeanspruchung Forst* gegenüber

Fallgruppe 2: Saft/Nektar / Eistee (MHD ~ 6 Monate)

Merkmal: relative leichte, großvolumige PET-Flaschen, geringere Barriereanforderungen

- Kategorien mit sehr großer ökologischer Bedeutung (nur Treibhauseffekt)
Beim *Treibhauseffekt* besteht ein Vorteil des Getränkekartons in allen durchgeführten Vergleichen
- Kategorien mit großer ökologischer Bedeutung
Dem Vorteil des Getränkekartons beim *fossilen Ressourcenbedarf* steht ein Nachteil beim *Sommersmog* und der *Versauerung* gegenüber
- Kategorien mit mittlerer ökologischer Bedeutung
Bei beiden Kategorien, der *aquatischen Eutrophierung* und der *Naturraumbeanspruchung Forst*, gibt es einen Nachteil des Getränkekartons

Fallgruppe 3: Frischmilchgetränke

Merkmal: Getränkekartons ohne Alu-Schicht; relative leichte PET-Flaschen

- Kategorien mit sehr großer ökologischer Bedeutung (nur Treibhauseffekt)
Beim *Treibhauseffekt* besteht ein Vorteil des Getränkekartons in allen durchgeführten Vergleichen
- Kategorien mit großer ökologischer Bedeutung
Der Getränkekarton hat hier Vorteile bei den Kategorien *fossiler Ressourcenbedarf* und *Versauerung*
- Kategorien mit mittlerer ökologischer Bedeutung
Bei beiden Kategorien, der *aquatischen Eutrophierung* und der *Naturraumbeanspruchung Forst*, gibt es einen Nachteil des Getränkekartons

In Fallgruppe 1 hat der Getränkekarton insgesamt Vorteile in den Kategorien sehr großer und großer ökologischer Bedeutung, während bei den Kategorien mittlerer Bedeutung die Ergebnisse einmal zugunsten und einmal zum Nachteil des Getränkekartons ausfallen.

In Fallgruppe 2 hat der Getränkekarton einen Vorteil in der Kategorie sehr großer ökologischer Bedeutung, während bei den Kategorien mittlerer ökologischer Bedeutung die Ergebnisse zum Nachteil des Getränkekartons ausfallen. Bei den Kategorien großer ökologischer Bedeutung steht eine Kategorie zugunsten des Getränkekartons in der Tendenz zwei Kategorien zu ungunsten des Getränkekartons gegenüber.

In Fallgruppe 3 hat der Getränkekarton insgesamt Vorteile in den Kategorien sehr großer und großer ökologischer Bedeutung, während bei den Kategorien mittlerer Bedeutung die Ergebnisse zum Nachteil des Getränkekartons ausfallen.

Damit zeigt sich der Getränkekarton in den Fallgruppen 1 und 3 über alle Wirkungskategorien hinweg betrachtet als ökologisch günstiger im Vergleich zur PET-EW-Flasche.

In der Fallgruppe 2 lassen sich keine im Sinne der UBA-Herangehensweise eindeutigen Vorteile für eines der beiden Vergleichssysteme zu erkennen.

7.2.3 Bewertung durch Einbeziehung der Normierungsergebnisse

Weitere Informationen für die Abwägung zwischen den Vergleichssystemen liefern die Erkenntnisse aus Kapitel 6. Anhand der normierten Ergebnisse (Kap. 6.2) wurde dort ersichtlich, dass die Wirkungskategorien *fossiler Ressourcenbedarf* und *Treibhauseffekt* für die Bewertung des Systemvergleichs der vorliegenden Studie besonders relevant sind.

Die in Kap. 6-1 durchgeführte vergleichende Bewertung unter Einbeziehung der Bandbreite an Verpackungsgewichten zeigte ebenfalls die Relevanz der genannten Wirkungskategorien. Die Ergebnisse lieferten Hinweise darauf, dass die Unterschiede des Ergebnisvergleichs bei den Wirkungskategorien *fossiler Ressourcenbedarf* und *Treibhauseffekt* als besonders signifikant zu werten sind.

Andererseits: auch in der für den Getränkekarton in allen Vergleichen nachteiligen Kategorie *Naturraumbeanspruchung Forst* sind die Unterschiede zwischen den Systemen sehr groß.

Da jedoch bei Einbeziehung der EDW in Westeuropa der spezifische Beitrag der *Naturraumbeanspruchung Forst* deutlich gegenüber dem *fossilen Ressourcenbedarf* und dem *Treibhauseffekt* abfällt und Schwierigkeiten bei der Einordnung der Naturnähe der aktuellen Bewirtschaftung der nordischen Wälder bestehen, ist der Stellenwert dieser Wirkungskategorie im Verhältnis zum *fossilen Ressourcenbedarf* und *Treibhauseffekt* sicherlich als nachrangig zu beurteilen.

Insgesamt lässt sich somit festhalten, dass aufgrund der Vorteile des Getränkekartons in den Fallgruppen 1 und 3 sowie den Vorteilen hinsichtlich der besonders signifikanten Kategorien *fossiler Ressourcenbedarf* und *Treibhauseffekt* in allen hier durchgeführten Systemvergleichen auch insgesamt bei einer übergreifenden Betrachtung der untersuchten Verpackungssysteme ökologische Vorteile des Getränkekartons gegenüber der PET-EW-Flasche erkennbar sind.

7.3 Einschränkungen

Die Ergebnisse der Basisszenarien der untersuchten Verpackungssysteme und der darauf basierenden Systemvergleiche sind, wie bereits begründet, nach Auffassung der Auftragnehmer innerhalb der definierten Randbedingungen belastbar. Bei Abweichung von diesen Randbedingungen sollten bei der Anwendung der Ergebnisse der vorliegenden Studie die nachfolgend erläuterten Einschränkungen berücksichtigt werden.

7.3.1 Einschränkungen durch die Auswahl der Marktsegmente

Die Auswahl der untersuchten Verpackungssysteme war orientiert an deren Marktbedeutung (siehe Kap. 1.5 und Abb. 1-1). Die Ergebnisse dieser Studie zum Vergleich von Getränkekartons und PET-Flaschen gelten nur für die untersuchten Marktsegmente. Eine Übertragung von Ergebnissen auf andere Füllgüter oder Verpackungsgrößen ist aufgrund der komplexen Zusammenhänge nicht ohne weiteres möglich.

7.3.2 Einschränkungen durch die Wahl der Bewertungsmethode

Die in der vorliegenden Studie angewandte Bewertungsmethode berücksichtigt vor allem den Ansatz des Umweltbundesamts [UBA 1999] so wie er in der Getränkeökobilanz-II des Umweltbundesamts Anwendung fand.

Hinsichtlich der Umweltkategorie *Naturraumbeanspruchung Forst* muss berücksichtigt werden, dass die Einstufung durch das Umweltbundesamt teilweise auf Zielvorgaben zur Schutzguterhaltung im deutschen Kontext geprägt ist. Die Forstflächeninanspruchnahme zur Herstellung von Getränkekartons erfolgt in der vorliegenden Ökobilanz jedoch fast ausschließlich in Schweden und Finnland. Natürlich ist auch dort der Holzeinschlag – als Eingriff in das Ökosystem – mit einer Umweltwirkung verbunden, die aber nicht ohne weiteres bewertet werden kann.

Ein gewisser Vorbehalt bleibt hier jedoch bestehen, da für die Indikatorergebnisse der *Naturraumbeanspruchung (Forst)* bei allen Systemvergleichen sehr deutliche Nachteile der Getränkekartons gegenüber PET-Einwegflaschen gefunden wurden.

Die Bewertung der Naturraumbeanspruchung (gemessen als Flächennutzung) regenerativer Rohstoffquellen im Vergleich zu dem irreversiblen Ressourcenverbrauch erschöpflicher Rohstoffquellen ist eine grundsätzliche Problematik, deren methodisch zutreffende Behandlung zukünftig verstärkt in den Blickpunkt geraten wird.

Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die Anwendung anderer Bewertungsansätze zu einer abweichenden Einschätzung des Systemvergleichs führen könnten.

7.3.3 Einschränkungen bezüglich der verwendeten Daten

Die vorgestellten Ergebnisse gelten unter Verwendung der in Kapitel 3 beschriebenen Datensätze. Sofern für einzelne Prozesse andere Datengrundlagen herangezogen werden, könnte dies Einfluss auf die Vergleichsergebnisse der untersuchten Verpackungssysteme haben.

Im Kontext der vorliegenden Studie betrifft dieser Aspekt vor allem die Herstellung von primärem PET-Granulat. Der hier verwendete Datensatz wurde in einer aktuellen Studie erarbeitet, ist jedoch bisher noch nicht öffentlich verfügbar. Bei Verwendung des entsprechenden Datensatz von *PlasticsEurope* (als „offiziell“ Datensatz der europäischen Kunststoffindustrie) würde sich allerdings das Umweltprofil der untersuchten PET-Flaschen gegenüber den hier erarbeiteten Ergebnissen verschlechtern.

7.3.4 Einschränkungen hinsichtlich der Verpackungsspezifikationen

Die Gestaltung von Verpackungen befindet sich in einem ständigen Entwicklungsprozess. Die in dieser Studie verwendeten Verpackungsspezifikationen gelten für die durchschnittlichen Getränkekartons im Jahr 2005 sowie typische PET-Flaschen in diesem Jahr.

Mögliche Veränderungen nach diesem Zeitraum wurden nur für PET-Flaschen in Form von Sensitivitäten betrachtet. Dabei kann nicht eingeschätzt werden, ob beispielsweise das mittlere Flaschengewicht zukünftig tatsächlich leichter ist, als in den hier untersuchten Basisszenarien.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie gelten nicht unbedingt für konkrete Verpackungen einzelner Hersteller bzw. Abfüller, sondern repräsentieren vielmehr eine mittlere Situation.

7.3.5 Einschränkungen: Verpackungsspezifikationen PET-Flaschen

Die Gewichte der in dieser Studie untersuchten PET-Flaschen orientieren sich an Marktmustern, die als repräsentativ (im Sinne des Median) angesehen werden können. Zudem wird das ökologische Profil leichter Flaschentypen in Sensitivitätsszenarien bestimmt. Überdurchschnittlich schwere Flaschen werden hingegen nicht betrachtet.

Die verfügbaren Informationen zur Flaschenspezifikation beziehen sich im Wesentlichen nur auf das Gewicht und den Flaschentyp (Monolayer, Multilayer). Für Festlegungen zum Anteil von Barrierematerialien wurden *typische* Gewichtsanteile angenommen, die bei einzelnen Flaschen auch höher sein können.

Informationen zum Einsatz von Farbstoffen und speziellen Additiven (z.B. *scavenger*) sind nicht verfügbar. In den Berechnungen wurde vereinfachend angenommen, dass die Flaschen nur aus PET (bzw. PET und PA) bestehen. Eine gewisse Unterschätzung der Umweltwirkung von PET-Flaschen kann somit nicht ausgeschlossen werden. Da der Massenanteil dieser Materialien jedoch in der Regel klein ist, dürfte der mögliche Fehler den Systemvergleich mit Kartons kaum beeinflussen.

Es werden nur PET-Flaschen mit „normalen“ Schraubverschlüssen untersucht. Verpackungen mit „sports caps“ oder sonstigen aufwändig gestalteten Verschlüssen werden nicht untersucht. Ferner wird angenommen, dass in den Verschlüssen keine *scavenger*-Materialien eingearbeitet sind.

Generell wurden bei Datenunsicherheiten *best case*-Annahmen zugunsten der PET-Systeme getroffen. Das gilt auch für die Herstellung von PET-Preforms und -Flaschen. Die zugrunde liegenden Energieverbräuche entsprechen dem Stand der Technik zur Herstellung von Monolayer-Flaschen. Eventuell höhere Aufwendungen für die Herstellung von Multilayer-Flaschen werden nicht berücksichtigt.

7.3.6 Einschränkungen: Bepfandung Eistee

Im Bezugsjahr der Studie (2005) unterlag die Füllgutgruppe „Erfrischungsgetränke ohne Kohlensäure“ noch nicht dem Einweg-Pflichtpfand. Seit 1. Mai 2006 sind PET-Einwegflaschen für Eistee bepfandet. Die Flaschensammlung und Verwertung erfolgt seither nicht mehr durch die Dualen Systeme sondern wird vom Handel organisiert.

Im Lebensweg der Eistee-Flaschen ergeben sich dadurch teils deutliche Veränderungen bei der Verwertung gebrauchter PET-Flaschen, die im Rahmen dieser Studie *nicht* untersucht wurden. Für den Systemvergleich mit Getränkekartons sind jedoch keine großen Auswirkungen zu erwarten.

7.3.7 Einschränkungen: MHD

Für die hier untersuchten PET-Flaschen kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass sie für das jeweilige Füllgut eine vergleichbare Mindesthaltbarkeit gewährleisten, wie die alternativen Kartonsysteme. Dies gilt nicht unbedingt für einzelne, sehr leichte Flaschentypen. Sofern sich aus der Verpackungsspezifikation Hinweise auf eine kürzere Produkthaltbarkeit für diese PET-Flaschen ergeben, wurde das bei den Ergebnisdarstellungen berücksichtigt. Anzumerken ist aber auch, dass für bestimmte Füllgüter bzw. Vertriebskanäle die geringeren Barriereigenschaften mancher PET-Flaschen unproblematisch sind.

7.3.8 Einschränkungen: Verschließbarkeit

Nach dem erstmaligen Öffnen können PET-Flaschen problemlos wieder verschlossen werden. Dies gilt für Getränkekartons mit Schraubverschluss ebenso. Bei Getränkekartons ohne Schraubverschluss ist eine solche *dichte* Wiederverschließbarkeit nicht gegeben. Für den Verpackungsvergleich in dieser Studie spielt dieser funktionelle Unterschied jedoch keine Rolle, da die Funktionalität der Verpackungssysteme hier vor allem über die Barriereeigenschaften bzw. den Schutz des Füllgutes definiert wird.

Aus Sicht des Verbrauchers könnten in der Handhabung bzw. Haptik von PET-Flaschen und Getränkekartons jedoch Unterschiede bestehen, die nicht Gegenstand dieser Studie sind.

8 Entwicklung des Getränkekartons

Drei der Verpackungssysteme im Marktsegment *Saft/Nektar*, die in dieser Studie bilanziert wurden, waren auch schon Gegenstand der im Auftrag des FKN erarbeiteten Vorgängerstudie [IFEU 2004a]. Es handelt sich um 1000 mL- und 1500 mL-Getränkekartons mit Verschluss sowie den 200 mL-Getränkekarton mit Trinkhalm.

Vergleicht man die Daten aus dem Jahr 2002 mit denen aus 2005 sind vor allem Unterschiede im Verpackungsgewicht zu erkennen.

1000 mL Karton: Beim 1000 mL-Karton hat sich das durchschnittliche Gewicht gegenüber 2002 erkennbar nach oben entwickelt (2002: 29,8 g; 2005: 31,5 g), was vor allem an der Zunahme des durchschnittlichen Verschlussgewichts liegt (von 1,78 g auf 2,66 g).

Während im Jahr 2002 78% aller Kartons mit einer Ausgusshilfe ausgestattet waren, lag die Ausstattungsquote im Jahr 2005 über 95%.

1500 mL Karton: Beim 1500 mL-Karton hat im Gegensatz zum 1000 mL-Karton eine erhebliche Gewichtsreduktion (von 46,8 g auf 43,9 g) stattgefunden. Diese Entwicklung gilt jedoch nicht für den Verschluss (von 2,76 g auf 3,19 g).

200 mL Karton: Auch hier zeigt die Gewichtsentwicklung mit einer Veränderung von 8,3 g auf 8,6 g nach oben.

Die Frage ist insbesondere, wie sich die Gewichtserhöhung beim 1000 mL-Karton auf die Ökopprofile ausgewirkt hat. Der Vergleich der Indikatorenergebnisse aus [IFEU 2004a] und den aktuellen Ergebnissen im Szenario 1.13 S 1000 mL (hier wurde wie in der Vorgängerstudie ohne die Beseitigung im Lebenszyklus 2 gerechnet) zeigt, dass das Ökopprofil praktisch unverändert ist. Der Getränkekarton profitiert hier von dem Verbot der Deponierung, wodurch die Beiträge der beim Abbau des Kartonzellstoffs entstehenden Methanemissionen zum Treibhauseffekt vermieden werden.

Dies macht sich besonders bemerkbar, wenn man die Beseitigung des aus dem Karton zurück gewonnenen Fasermaterials im nach geschalteten Lebensweg berücksichtigt, wie im Basismodellierungsansatz in dieser Studie umgesetzt (s. Kap. 1.9). Dann ergibt sich beim Treibhauseffekt gegenüber dem Getränkekartonsystem im Jahr 2002 sogar eine Reduktion von knapp 10%. Hinsichtlich der anderen Wirkungskategorien bleiben die Ergebnisse im Wesentlichen unverändert.

Der Getränkekarton mit Füllvolumen 1500 mL weist infolge der Gewichtsreduktion, im Gegensatz zur Vorgängerstudie jetzt ein besseres Ökopprofil als der 1000 mL-Karton mit Verschluss auf (immer bezogen auf die funktionelle Einheit).

Nebenbei bemerkt, der im Marktsegment *Saft/Nektar* im Handel kaum noch vorhandene 1000 mL-Karton ohne Verschluss hat nach wie vor das vorteilhafteste Ökopprofil unter den Getränkekartons der Vorratshaltung.

9 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Mit dieser Untersuchung liegt eine Ökobilanz für Getränkeverpackungen vor, in der zum ersten Mal Getränkekartons und PET-EW-Flaschen in relevanten Marktsegmenten, d.h. *Saft/Nektar*, *Eistee* und *Frischmilchprodukte*, im Bezugsjahr 2005 ökobilanziell miteinander verglichen wurden. Zusätzlich bezog die Studie sowohl die im Veröffentlichungsjahr schon stattgefundenen als auch die in nächster Zukunft möglichen Entwicklungen bei den PET-EW-Systemen ein.

Der Vergleich wurde als konservative Betrachtung des Getränkekartons angelegt. Das bedeutet, dass mögliche positive Entwicklungspotentiale bei den Getränkekartons keine Berücksichtigung fanden, während bzgl. der PET-EW-Flaschen bei eventuellen Datenunsicherheiten eher optimistische Annahmen in der Bilanzierung zu Grunde gelegt wurden.

Für den Getränkekarton ergab sich andererseits punktuell die Möglichkeit, für einen Vergleich mit den Getränkekartonergebnissen aus einer früheren Studie. So lassen sich Entwicklungstendenzen immerhin im Rückblick beobachten und ermöglichen so, weitere Schlussfolgerungen für die Getränkekartonhersteller abzuleiten.

Im Jahr 2005 waren in Deutschland im Marktsegment *Saft/Nektar* nur PET-EW-Flaschen im Handel, die eine hohe Diffusionsbarriere garantierten und somit dem Getränkekarton vergleichbare Mindesthaltbarkeiten aufwiesen. Erkauft wird dies durch einen relativ großen Materialeinsatz. Der Getränkekarton weist im ökobilanziellen Vergleich mit diesen Flaschen insgesamt deutliche Vorteile auf. Daran würde auch ein zukünftiger PET-Rezyklat-Einsatz von bis zu 25% Materialanteil in der PET-Flasche oder die Erhöhung der stofflichen Verwertungsquote der PET-EW-Flaschen nichts ändern.

Ein deutlich größerer Einfluss auf die Vergleichsergebnisse ergibt sich, wenn PET-EW-Flaschen mit einem relativ geringen Materialbedarf je funktioneller Einheit zur Verwendung kommen. Erreicht wird dies vor allem durch die Reduktion der Barrierefunktion bei gleichzeitig möglichst großen Flaschenvolumina. Wie die Recherche im Rahmen dieser Studie zeigte finden sich PET-Flaschen, auf die dies hinsichtlich der *Saft/Nektar* (Vorratshaltung) zutrifft, neuerdings im Handel.

Für Eistee gelten grundsätzlich geringere Barriereanforderungen, weshalb es nicht verwundert, dass der im letzten Absatz beschriebene Sachverhalt ebenso für den ökobilanziellen Vergleich von Getränkekartons und PET-EW-Flaschen in diesem Getränkesegment gilt.

Hier liegen die Vorteile des Getränkekartons nur in den Wirkungskategorien *fossilen Ressourcenbedarf* und *Treibhauseffekt*, während Nachteile bei der *Versauerung*, dem *Sommer-smog*, der *aquatischen Eutrophierung* und beim *Flächenbedarf Forst* festzustellen sind.

Bei den Verpackungen für Frischmilchgetränke wiederum konnte ein ökologischer Vorteil für den Getränkekarton festgestellt werden, der auch mit Blick auf die hier abgebildeten kurzfristige Entwicklungen bei den PET-EW-Flaschen nicht gefährdet scheint.

Versucht man nun den Vergleich der Verpackungen über alle Marktsegmente hinweg, so lassen die in der Studie vorgenommenen zusätzlichen Auswertungen der Daten und Ergebnisse (s. Kap. 6) erkennen, dass die Wirkungskategorien *fossiler Ressourcenbedarf* und *Treibhauseffekt* für den Vergleich des Getränkekartons mit der PET-EW-Flasche von besonderer Bedeutung sind. Hier können nämlich die untersuchten Verpackungssysteme besonders große Beiträge zur Umweltentlastung liefern.

Gerade in diesen beiden Kategorien hat der Getränkekarton in allen Vergleichsfällen eindeutige Vorteile gegenüber der PET-EW-Flasche aufzuweisen. So entspricht, auf Deutschland bezogen, der fossile Ressourcenverbrauch durch Getränkekartons für Saft statistisch gesehen demjenigen von rund 35'000 Einwohnern, vorausgesetzt, dass die gesamte in Deutschland in einem Jahr konsumierte Menge an *Saft/Nektar* nur in 1000 mL Getränkekartons abgefüllt würde. Für 1000 mL PET-EW-Flaschen liegt der entsprechende Wert bei 92'400 Einwohnern; selbst im besten Fall (d.h. der 1500 mL PET-EW-Flasche mit geringer Barriere) kommt die PET-EW-Flasche immer noch auf einen Wert von 55'600 EDW.

Der Sachverhalt, dass die Vergleichsergebnisse bei den Wirkungskategorien *fossiler Ressourcenbedarf* und *Treibhauseffekt* besonders signifikant sind, sollte bei Entscheidungen der Akteure aus den Zielgruppen Politik, Handel und Verbraucher Beachtung finden.

Bei den Getränkekartons ist im Vergleich der Datenerhebungen früherer Studien mit denen der aktuellen Studie ein Trend zu höheren Gewichten auszumachen, was sich potenziell nachteilig auf das Ökopprofil auswirkt. Das Augenmerk gilt dabei der zunehmenden Ausstattung der Getränkekartons mit Ausgusshilfen, deren mittleres Gewicht sich ebenfalls in den vergangenen drei Jahren erhöht hat.

Diese aus ökologischer Sicht negativen Entwicklungen wurden durch das Inkrafttreten des Verbots der Deponierung von nicht vorbehandelten Abfälle quasi aufgefangen. Der Getränkekarton profitiert hiervon doppelt: erstens wird die Freisetzung des starken Treibhausgases Methan bei der Zersetzung des Kartonmaterials während der Deponierung vermieden und zweitens wird durch die Verschiebung des Abfallstroms hin zur Abfallverbrennung der Karton quasi Treibhausgas neutral verbrannt. Die dabei zurück gewonnene Energie ersetzt zum Teil fossile Energieträger und spart die ansonsten freigesetzten fossilen CO₂-Emissionen ein. Bei der PET-EW-Flasche kommt dieser Faktor aufgrund der gleichzeitigen Freisetzung des im Material gespeicherten fossilen Kohlenstoffs während der Abfallverbrennung weit weniger zum Tragen.

Positiv ist die Entwicklung beim 1500 mL Karton. Hier fand augenscheinlich eine Verringerung des mittleren spezifischen Verbundgewichts und damit insgesamt eine Verbesserung des Ökoprofiles statt.

Einschränkend muss angemerkt werden, dass die festgestellten Trends einerseits mit der Entwicklung neuer Verpackungstypen und andererseits durch die Verschiebung von Marktanteilen leichter und schwerer Verpackungen bewirkt werden können. Wie groß der jeweilige Einfluss der beiden Faktoren lässt sich anhand der verfügbaren Daten nicht bestimmen. Sie zeigen jedoch, dass hier nicht nur die Verpackungsentwickler bei den einzelnen Getränkekartonherstellern gefordert sind, sondern auch ein Firmen übergreifendes Vorgehen nötig ist.

In der Studie wurden keine Optimierungen beim Getränkekarton berücksichtigt. Hier sind konkrete Informationen aus dem Bereich der Entwicklungsabteilungen der Mitgliedsfirmen erforderlich, damit beurteilt werden kann, wo sich die Ökopprofile des Getränkekarton in Zukunft hinbewegen. Denn: ein Trend „höhere Gewichte beim GK“ und „niedrigere Gewichte bei PET-EW“ könnte es „a la longue“ schwierig machen, den ökologischen Status-Quo des Getränkekarton im Ranking der Getränkeverpackungen zu erhalten.

Den Entscheidungsträgern wird empfohlen, Strategien zu entwickeln, die mittelfristig eine weitere Optimierung aller Getränkekartons bewirken. Dies sollte unter Einbeziehung aller Be-

reiche von der Verpackungsentwicklung bis zum Marketing geschehen und über die Grenzen der (konkurrierenden) Einzelfirmen hinaus stattfinden.

Es ist an erster Stelle die Aufgabe der Hersteller, dafür Sorge zu tragen, dass die genannten Optimierungspotentiale mit großer Marktdurchdringung realisiert werden. Sie sind dabei jedoch auf die Mitarbeit von Abfüllern, Handel und Konsumenten angewiesen. Die Politik sollte entsprechende Anreize setzen, welche die Umsetzung entsprechender Aktivitäten beschleunigen helfen.

Exkurs Ressource

Wie die Studie zeigte, weisen die bilanzierten Verpackungssysteme besonders bei den Ressourcen bezogenen Wirkungskategorien *fossiler Ressourcenbedarf* und *Naturraumbearspruchung Forst* hohe spezifische Beiträge auf. Dieser Sachverhalt könnte zukünftig auch im Zusammenhang mit der ökonomischen Konkurrenzfähigkeit der Verpackungshersteller an Bedeutung gewinnen.

Besonders beim fossilen Rohstoff Erdöl finden sich Anzeichen einer zunehmenden Ressourcenverknappung. So dürfte nach Angaben der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, der „depletion mid-point“ für konventionelles Erdöl, bei dem die Hälfte des Gesamtpotentials gefördert ist, innerhalb der nächsten 10 bis 20 Jahre erreicht werden. Ein sukzessiver Rückgang der Förderung wäre somit spätestens ab diesem Zeitpunkt vorprogrammiert [BGR 2004].

Schaut man auf den Erdölpreis, so ist eine deutliche Erhöhung in den letzten drei Jahren festzustellen. Hierzu sagt die BGR [BGR 2004]: Zu den Ursachen des - mit bis zu 75\$ pro Barrel (Anmerkung IFEU) - zurzeit extrem hohen Ölpreises, der nominal das Niveau nach den Ölpreiskrisen 1973 und 1979 deutlich übersteigt, gibt es unterschiedliche Interpretationen. So werden von etlichen Fachleuten zum einen Anzeichen einer nahenden Verknappung der Reserven gesehen („Peak Oil“-Diskussion), zum anderen wird dafür eine Kombination sehr unterschiedlicher Faktoren verantwortlich gemacht, u.a. politische Instabilitäten in wichtigen Förderregionen oder ein schwacher US-Dollar.

Die weitere Entwicklung des Ölpreises sei daher nach Auffassung der BGR schwer vorherzusagen. Während einerseits weitere Preiserhöhungen nach Überschreitung des „Peak Oil“ für wahrscheinlich erachtet werden (www.peakoil.de), wird von der Internationalen Energieagentur [IEA 2004] bis zum Jahr 2030 selbst unter Annahme eines Hochpreisszenarios ein durchschnittlicher Erdölpreis von nur 35\$ pro Barrel erwartet.

Betrachtet man die Preisentwicklung der vergangenen Jahrzehnte muss auf jeden Fall mit einer hohen Volatilität des Ölpreises gerechnet werden.

Versucht man nun, diese Informationen mit Bezug auf die beiden in der Ökobilanz betrachteten Verpackungssysteme zu bewerten, so ist zunächst festzustellen, dass der *fossile Ressourcenbedarf* erheblich durch die in den Primärverpackungen eingesetzten Kunststoffe geprägt ist. Beim Getränkekarton tragen die Kunststoffe zu etwa 50% und bei der PET-EW-Flasche zu etwa 75% zum *fossilen Ressourcenbedarf* des Gesamtsystems bei.

Zwar entfallen auf Kunststoffherzeugnisse nur rund 4% des weltweiten Erdölverbrauchs [PlasticsEurope 2004]; dennoch ist der Ölpreis ein wichtiger Faktor für die Preisgestaltung der Polymere [Degussa 2005]. Zu deren Herstellung wird Öl nämlich in zweifacher Hinsicht benötigt: als Energieträger zur Bereitstellung von Prozessenergie und als materieller Rohstoff (engl. „feedstock“).

Für beide Verpackungssysteme könnte die Ölpreisentwicklung somit zu einem ökonomischen Risikofaktor werden, auch wenn der Einfluss beim Getränkekarton derzeit geringer sein mag als bei der PET-EW-Flasche. Dennoch ist auch den Getränkekartonherstellern eine diesen Aspekt berücksichtigende Verpackungsoptimierung zu empfehlen.

Dies ist umso wichtiger als auch der für die Getränkekartonherstellung wichtigste Rohstoff Holz nicht unbegrenzt zur Verfügung steht. Die Zellstoffindustrie verwertet heute 20% des jährlich geernteten Holzes [Initiative 2000plus 2004]. Andererseits ist zu erwarten, dass im Zuge der Umsetzung der Energiepolitik der EU die Biomassenutzung für die Energiebereitstellung ganz erheblich zunehmen wird.

Eine direkte Konkurrenz zwischen Holz zur Papierherstellung und Energiegewinnung wird bereits aus Finnland berichtet. Hier reichen gemäß [MAIER 2004] die Holzvorräte bereits nicht mehr aus, um den Bedarf zur Herstellung von Papier und zur Nutzung als Brennholz zu decken, wodurch Finnland bereits Holzhackschnitzel importieren muss.

Der Vorteil von Holz gegenüber fossilen Ressourcen ist gemäß dem Observatorium für erneuerbare Energien, Paris [EurObserv'ER] jedoch seine Preisstabilität. Dennoch kann bei einer zunehmenden Nutzungskonkurrenz ein Anstieg der Rohstoffpreise langfristig nicht ausgeschlossen werden [HASLER 2004].

Die Produktion des Holzes für die in Deutschland verwendeten Getränkekartons findet fast ausschließlich in Skandinavien statt. Holz bzw. nordische Waldfläche sind gegenwärtig kein knappes Gut. Natürlich ist die Naturraumbeanspruchung von Forstflächen auch in den nordischen Ländern mit einem Eingriff und Ökosysteme und damit einer Umweltwirkung verbunden.

Daher sollten die Getränkekartonhersteller gewährleisten, dass das in den Rohkartons verwendete Holz aus einer ökologisch verträglichen Forstwirtschaft stammt. Die Einrichtung eines Systems zum Herkunftsnachweis könnte in diesem Zusammenhang die Transparenz und Glaubwürdigkeit sicherstellen.

Im Kontext der Ressourcendiskussion ist zusammenfassend zu empfehlen, das Verpackungssystem Getränkekarton im Sinne einer integrierten Produktpolitik dahin gehend zu entwickeln, dass der fossile Ressourcenverbrauch reduziert wird und beim Einsatz erneuerbarer Rohstoffe eine umweltverträgliche Rohstoffbereitstellung sicher gestellt wird. Die Hersteller von Getränkekartons sollten die sich hier bietenden Handlungsspielräume nutzen.

10 Referenzen

- [BGR 2004] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2004 - Kurzstudie. Hannover, 2004.
- [DEGUSSA 2005] Buchholz, S.: BioPerspectives 2005, Vortrag auf dem BREW-Symposium, Wiesbaden Mai 2005.
- [DIN EN ISO 14040] International Standard (ISO); Norme Européenne (CEN): Environmental management - Life cycle assessment: Principles and framework. Prinzipien und allgemeine Anforderungen. ISO EN 14040 (1997).
- [DIN EN ISO 14041] 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. ISO EN 14041 (1998).
- [DIN EN ISO 14042] International Standard (ISO); Norme Européenne (CEN): Environmental management - Life cycle assessment: Life cycle impact assessment. Wirkungsabschätzung. ISO EN 14042 (2000).
- [DIN EN ISO 14043] International Standard (ISO); Norme Européenne (CEN): Environmental management - Life cycle assessment: Interpretation. Auswertung. ISO EN 14043 (2000).
- [EAA 2000] European Aluminium Association: Ecological Profile Report for the European Aluminium Industry. Brussels, 2000.
- [EAA 2006] European Aluminium Association: Update of Ecological Profile Report for the European Aluminium Industry. Brussels, 2006. Bezugsquelle <http://www.eaa.net>
- [Ecoinvent 2003] ecoinvent Centre 2003, ecoinvent data v1.01, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2003. Download unter www.ecoinvent.ch
- [EurObserv'ER] http://www.observe-er.org/observe-er/stat_baro/observe/baro164.pdf
- [FEFCO 2003] European Database for Corrugated Board Life Cycle Studies. Brüssel, 2003.
- [Hartwig 2006] Hartwig, K.: Barrier technologies for PET bottles. In: PETplanet insider Vol. 7, No. 04/06, S. 20-23.
- [GEMIS 2001] Fritsche, U. et al.: Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme, Darmstadt/Kassel, Version 4.1: <http://www.oeko.de/service/gemis/deutsch/index.htm>.
- [HASLER 2004] Hasler, A.: Die Auswirkungen des Ökostromgesetzes auf den heimischen Biomasserohstoffmarkt. Diplomarbeit an der Karl-Franzens-Universität Graz, Österreich, 2004.
- [IFEU 2004a] Detzel, A., Ostermayer, A., Böß, A., Gromke, U. (IFEU): Ökobilanz Getränkekarton für Saft – Bezugsjahr 2002. Im Auftrag des Fachverband Kartonverpackungen, Wiesbaden, 2004. Unveröffentlicht.

- [IFEU 2004b]: Detzel, A. et al. (IFEU): Ökobilanz PET-Einwegverpackungen und sekundäre Verwertungsprodukte. Im Auftrag von PETCORE, Brüssel. IFEU-Heidelberg, August 2004.
- [INFRAS 2004] INFRAS: „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 2.1“, im Auftrag des Umweltbundesamts (UBA), Berlin und Bundesamts für Umwelt, Wald und Landwirtschaft (BUWAL), Bern, 2004.
- [INITIATIVE 2000PLUS 2004] (Hrsg.): *Kritischer Papierbericht 2004*. Essen, 2004.
- [IVV 1999]: Heyde, M. und Kremer, M.: Recycling and Recovery of Plastics from Packagings in Domestic Waste (Appendix 1, S. 5). LCA Documents, ecomed publishers, Landsberg, 1999.
- [MAIER 2004] Maier, J.: Biomasse - nie war sie so wertvoll wie heute. In: Forum Umwelt und Entwicklung (2004): Rundbrief 4/2004 - Chancen und Risiken der Bioenergie. Bonn. 38 S.
- [PlasticsEurope 2004]: Für eine nachhaltige Zukunft, Factsheet, PlasticsEurope, Brüssel, 2004. www.plasticseurope.org
- [PlasticsEurope 2005a]: Boustead, I.: Eco-profiles of the European Plastics Industry – Low Density Polyethylene (LDPE), data last calculated March 2005, report prepared for PlasticsEurope, Brussels, 2005.
(download August 2005 von: <http://www.lca.plasticseurope.org/index.htm>)
- [PlasticsEurope 2005b]: Boustead, I.: Eco-profiles of the European Plastics Industry – High Density Polyethylene (HDPE), data last calculated March 2005, report prepared for PlasticsEurope, Brussels, 2005.
(download August 2005 von: <http://www.lca.plasticseurope.org/index.htm>)
- [PlasticsEurope 2005c]: Boustead, I.: Eco-profiles of the European Plastics Industry – Polypropylene (PP), data last calculated March 2005, report prepared for PlasticsEurope, Brussels, 2005.
(download August 2005 von: <http://www.lca.plasticseurope.org/index.htm>)
- [PlasticsEurope 2005d]: Boustead, I.: Eco-profiles of the European Plastics Industry – Nylon 66, data last calculated March 2005, report prepared for PlasticsEurope, Brussels, 2005. (download August 2005 von: <http://www.lca.plasticseurope.org/index.htm>)
- [Schmidt 1998]: Schmidt, M. et al.: Evaluierung gängiger Datenmodelle zur Ermittlungverkehrlicher Umweltbelastung. In: Umweltinformatik 98. Marburg.
- [Tetra Pak 2005] Getränkemarkt in Zahlen 2005. Tetra Pak GmbH, Hochheim, 2005.
- [Tetra Pak 2006] Getränkemarkt in Zahlen 2006. Tetra Pak GmbH, Hochheim, 2005.
- [UBA 2000] Umweltbundesamt, Berlin (Hrsg.): Ökobilanz für Getränkeverpackungen II, Hauptteil. UBA-Texte 37/00, Berlin, 2000.

- [UBA 2000a] Umweltbundesamt (Hrsg.): Ökobilanzen für graphische Papiere. UBA-Texte 22/00, Berlin, 2000.
- [UBA 2000b] Umweltbundesamt (Hrsg.): Ökologische Bilanzierung von Altölverwertungswegen. UBA-Texte 20/00, Berlin, 2000.
- [UBA 2001] Umweltbundesamt (Hrsg.): Grundlagen für eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Verwertung von Verkaufsverpackungen; Berlin, 2001.
- [UBA 2002] Umweltbundesamt, Berlin (Hrsg.): Ökobilanz für Getränkeverpackungen II/2. UBA-Texte 51/02, Berlin, 2002.
- [VDEW 2004] Verband der Elektrizitätswirtschaft: Energiepolitik und Stromwirtschaft für das Jahr 2003, Berlin 2004.

Anhang I. Erläuterung der Wirkungskategorien

Die in dieser Studie umfassten Wirkungsindikatoren werden im Folgenden gegliedert nach Wirkungskategorien vorgestellt und die entsprechenden Charakterisierungsfaktoren beziffert. Der jeweilige Ursprung der Methode wird referenziert. Die Rechenvorschrift zur Berechnung des Indikatorergebnisses befindet sich am Ende jedes Unterkapitels der einzelnen Wirkungskategorien.

1. Treibhauseffekt

Der Treibhauseffekt als Wirkungskategorie steht für die negative Umweltwirkung der anthropogen bedingten Erwärmung der Erdatmosphäre und ist in entsprechenden Referenzen bereits eingehend beschrieben worden [IPCC 1995, IPCC 2001]. Der bisher in Ökobilanzen meist angewandte Indikator ist das Strahlungspotential (radiative forcing) [CML 1992, Klöpffer 1995] und wird in CO₂-Äquivalenten angegeben. Die Charakterisierungsmethode gilt als allgemein anerkannt.

Mit dem Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) besteht zudem ein internationales Fachgremium, das sowohl Methode als auch die entsprechenden Kennzahlen für jede klimawirksame Substanz errechnet und fortschreibt. Die vom IPCC fortgeschriebenen Berichte sind als wissenschaftliche Grundlage zur Instrumentalisierung des Treibhauseffektes in ihrer jeweils neuesten Fassung heranzuziehen.

In den stofflich genutzten Pflanzen ist Kohlenstoff aus der Atmosphäre gebunden, der im Laufe der Zeit, sei es bei Verrottung oder Verbrennung, wieder freigesetzt wird. Diese CO₂-Emissionen werden per Konvention des IPCC *nicht* dem Treibhauseffekt zugerechnet, da hierbei genau soviel CO₂ freigesetzt wird, wie zuvor der Atmosphäre beim Wachstum der Pflanze entzogen wurde. Die zeitweilige Bindung von CO₂ in der Pflanze bzw. dem daraus produzierten Stoff ist in der Regel auf maximal einige Jahrzehnte beschränkt und erfordert aufgrund der langen Integrationszeiträume beim Treibhauseffekt keine Berücksichtigung. Selbstverständlich werden die CO₂-Emissionen, die während der landwirtschaftlichen Produktion etwa beim Maschineneinsatz oder für die Produktion von Düngemitteln durch den Einsatz fossiler Energieträger entstehen, auf den Lebensweg angerechnet.

Bei der Berechnung von CO₂-Äquivalenten wird die Verweilzeit der Gase in der Troposphäre berücksichtigt, daher stellt sich die Frage, welcher Zeitraum der Klimamodellrechnung für die Zwecke der Produkt-Ökobilanz verwendet werden soll. Es existieren Modellierungen für 20, 50 und 100 Jahre. Die Modellrechnungen für 20 Jahre beruhen auf der sichersten Prognosebasis. Das Umweltbundesamt empfiehlt die Modellierung auf der 100-Jahresbasis, da sie am ehesten die langfristigen Auswirkungen des Treibhauseffektes widerspiegelt. Sie wurde in diesem Projekt verwendet.

Nachfolgend werden die in den Berechnungen des Treibhauspotentials angetroffenen Substanzen mit ihren CO₂-Äquivalenzwerten - ausgedrückt als „Global Warming Potential (GWP)“ - aufgelistet:

Treibhausgas	CO ₂ -Äquivalente (GWP _i)
Kohlendioxid (CO ₂)	1
Methan (CH ₄) ^{*)}	25,75
Methan (CH ₄), regenerativ	23
Distickstoffmonoxid (N ₂ O)	296
Tetrachlormethan	1800
Tetrafluormethan	5.700
Hexafluorethan	11.900
Quelle: [IPCC 2001]	
*) In [IPCC 2001] sind indirekte Effekte wie die Oxidation von CH ₄ zu CO ₂ in den GWP-Werten nicht enthalten. Für Methan aus fossilen Quellen erhöht sich bei Berücksichtigung des gebildeten (fossilen) CO ₂ der GWP-Wert.	

Tabelle A1-1: Treibhauspotential der im Rahmen dieses Projekts berücksichtigten Stoffe

Der Beitrag zum Treibhauseffekt wird durch Summenbildung aus dem Produkt der emittierten Mengen der einzelnen treibhausrelevanten Schadstoffe (m_i) und dem jeweiligen GWP (GWP_i) nach folgender Formel berechnet:

$$GWP = \sum_i (m_i \times GWP_i)$$

2. Photooxidantienbildung (Photosmog oder Sommersmog)

Aufgrund der komplexen Reaktionsvorgänge bei der Bildung von bodennahem Ozon (Photo-smog oder Sommersmog) ist die Modellierung der Zusammenhänge zwischen Emissionen ungesättigter Kohlenwasserstoffe und Stickoxiden äußerst schwierig. Die bisher in Wirkungsabschätzungen verwendeten Ozonbildungspotentiale (Photochemical Ozone Creation Potential - POCP) [CML 1992], ausgedrückt in Ethenäquivalenten, sind in Fachkreisen umstritten, da sie zum einen auf der Änderung bestehender Ozonkonzentrationen aufbauen und zum anderen für regional weiträumige Ausbreitungsrechnungen entwickelt wurden. Sie basieren auf dem Ozonbildungspotential der Kohlenwasserstoffe und blenden den Beitrag der Stickoxide an den Bildungsreaktionen vollkommen aus.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens des UBA [UBA 1998] wurde versucht ein verbessertes Berechnungsmodell zu entwickeln. Dabei war zunächst beabsichtigt, die relevanten Bildungsreaktionen für Photooxidantien vor dem Hintergrund real existierender Konzentrationen und Mischungsverhältnisse unter Berücksichtigung der Stickoxide für eine solche Modellbildung heranzuziehen. Die Atmosphäre über einer gegebenen Fläche - z.B. Deutschlands - wäre als ein Ein-Box-Modell angenommen und mit den zusätzlichen ozonbildenden Agenzien neu berechnet worden. Dieser Ansatz erwies sich jedoch orientiert an der schlechten Datenlage der ozonbildenden Substanzen im Rahmen einer Sachbilanz als zu aufwendig im Vergleich zu seinem möglichen Nutzen.

Um dennoch die Stickoxide in die Modellierung der Photooxidantienbildung mit einbeziehen zu können, wurde von [Stern 1997] eine lineare Berücksichtigung der Stickoxide vorgeschlagen. Dies bedeutet, dass aufbauend auf das POCP-Modell in Ethenäquivalenten jeweils die pro System emittierten Stickoxide zu dem berechneten POCP-Wert multipliziert werden. Es ergibt sich daraus ein neuer Indikator – das Nitrogen Corrected Photochemical Ozone Crea-

tion Potential – NCPOCP, das eine lineare Berücksichtigung der Stickoxide ermöglicht. Das Modell wurde bisher vor allem im deutschen Kontext angewendet und es muss noch diskutiert werden, mit welcher wissenschaftlichen Belastbarkeit der gewählte lineare Ansatz die Wechselwirkung zwischen NO_x und den in Tabelle A1-2 genannten Schadgasen hinsichtlich des Ozonbildungspotentials abzubilden vermag.

Nachfolgend sind die Gase mit ihren photochemischen Ozonbildungspotentialen (POCP) aufgelistet, die im Rahmen dieser Ökobilanz erhoben werden konnten.

Schadgas	POCP _i
Ethen	1
Methan	0,006
Formaldehyd	0,52
Benzol	0,22
Kohlenwasserstoffe	
· NMVOC aus Dieselemissionen	0,7
· NMVOC (Durchschnitt)	0,416
· VOC (Durchschnitt)	0,377
Quellen: [CML 1992, Klöpffer 1995, Jenkin+Hayman 1999]	

Tabelle A1-2: Ozonbildungspotential der im Rahmen dieses Projekts berücksichtigten Stoffe

Dabei wurden nur Einzelsubstanzen mit einem definierten Äquivalenzwert zu Ethen berücksichtigt. Für die stofflich nicht präzise spezifizierten Kohlenwasserstoffe, die in Literaturdatensätzen häufig angegeben werden, wird ein aus CML [1992] entnommener mittlerer Äquivalenzwert verwendet.

Das POCP wurde nach folgender Formel ermittelt:

$$POCP = \sum_i (m_i * POCP_i)$$

Daneben diene der POCP-Wert als Grundlage zur Berechnung des Stickoxid korrigierten NCPOCP-Wertes. Der Beitrag zum stickoxidkorrigierten Ozonbildungspotential wird durch Summenbildung aus dem Produkt der emittierten Menge der einzelnen Schadstoffe und dem jeweiligen POCP berechnet, dessen Summe schließlich mit der emittierten Stickoxidmenge noch multipliziert wird²⁸:

$$NCPOCP = \sqrt{NOx * \sum_i (m_i * POCP_i)}$$

3. Eutrophierung und Sauerstoffzehrung

Die Eutrophierung steht für eine Nährstoffzufuhr im Übermaß, sowohl für Gewässer als auch für Böden. Da zwei unterschiedliche Umweltmedien auf sehr unterschiedliche Weise betroffen sind, soll auch eine Unterteilung in Gewässer-Eutrophierung und Boden-Eutrophierung

²⁸ Bei der Auswertung von Ökobilanzen ist zu beachten, dass die Rechenvorschrift für das NCPOCP aufgrund der Wurzelbildung mathematisch keine Sektoralanalysen zulässt (da die Summe des NCPOCP der einzelnen Sektoren nicht gleich dem NCPOCP der Summe der Inventardaten ist)

vorgenommen werden. Dabei wird vereinfachend davon ausgegangen, dass alle luftseitig emittierten Nährstoffe eine Überdüngung des Bodens darstellen und alle wasserseitig emittierten Nährstoffe zur Überdüngung der Gewässer. Da der Nährstoffeintrag in die Gewässer über Luftemissionen im Vergleich zum Nährstoffeintrag über Abwässer gering ist, stellt diese Annahme keinen nennenswerten Fehler dar.

Die Eutrophierung eines Gewässers führt sekundär zu einer Sauerstoffzehrung. Ein übermäßiges Auftreten sauerstoffzehrender Prozesse kann zu Sauerstoffmangelsituationen im Gewässer führen. Ein Maß für die mögliche Belastung des Sauerstoffhaushalts im Gewässer stellen der Biochemische Sauerstoffbedarf (BSB) und der Chemische Sauerstoffbedarf (CSB) dar. Da der Biochemische Sauerstoffbedarf nur mit Hilfe einer Reaktionszeit definiert ist und der Chemische Sauerstoffbedarf quasi das gesamte zur Verfügung stehende Potential zur Sauerstoffzehrung umfasst, wird der CSB als konservative Abschätzung²⁹ in die Parameterliste der Eutrophierung aufgenommen.

Zur Berechnung der unerwünschten Nährstoffzufuhr wird der Indikator Eutrophierungspotential gewählt und dieser Indikator in der Maßeinheit Phosphatäquivalente [CML 1992, Klöpffer 1995] angegeben. Nachfolgend sind die im Rahmen dieses Projektes vorkommenden verschiedenen Schadstoffe bzw. Nährstoffe mit ihrem jeweiligen Charakterisierungsfaktor aufgeführt:

Schadstoff	PO ₄ ³⁻ Äquivalente (NP _i)
Eutrophierungspotential (Boden)	
Stickoxide (NO _x als NO ₂)	0,13
Ammoniak (NH ₃)	0,327
Eutrophierungspotential (Wasser)	
Gesamtphosphor	3,06
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	0,022
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,327
Nitrat (NO ₃ ⁻)	0,128
Quelle: [CML 1992, Klöpffer 1995]	

Tabelle A1-3: Eutrophierungspotential der im Rahmen dieses Projekts berücksichtigten Stoffe

Für die Nährstoffzufuhr in den Boden und in Gewässer getrennt wird der Beitrag zum Eutrophierungspotential durch Summenbildung aus dem Produkt der emittierten Menge der einzelnen Schadstoffe und dem jeweiligen NP berechnet.

Es gilt für die Eutrophierung des Bodens:

$$NP = \sum_i (m_i \times NP_i)$$

Es gilt für die Eutrophierung der Gewässer:

$$NP = \sum_i (m_i \times NP_i)$$

²⁹ Der CSB ist (abhängig vom Abbaugrad) höher als der BSB₅, weshalb der Äquivalenzfaktor als relativ unsicher einzuschätzen ist und tendenziell zu hoch liegt.

4. Versauerung

Eine Versauerung kann sowohl bei terrestrischen als auch bei aquatischen Systeme eintreten. Verantwortlich sind die Emissionen säurebildender Substanzen.

Der in [CML 1992, Klöpffer 1995] beschriebene ausgewählte Wirkungsindikator Säurebildungspotential wird als adäquat dafür angesehen. Damit sind insbesondere keine spezifischen Eigenschaften der belasteten Land- und Gewässersysteme vonnöten. Die Abschätzung des Säurebildungspotentials erfolgt üblicherweise in der Maßeinheit der SO₂-Äquivalente. Nachfolgend sind die in dieser Studie erfassten Schadstoffe mit ihren Versauerungspotentialen, engl. Acidification Potential (AP), in Form von SO₂-Äquivalenten aufgelistet:

Schadstoff	SO ₂ -Äquivalente (AP _i)
Schwefeldioxid (SO ₂)	1
Stickoxide (NO _x)	0,7
Chlorwasserstoff (HCl)	0,88
Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	1,88
Fluorwasserstoff (HF)	1,6
Ammoniak	1,88
Quelle: [CML 1992, Klöpffer 1995]	

Tabelle A1-4: Versauerungspotential der im Rahmen dieses Projekts erhobenen Stoffe

Der Beitrag zum Versauerungspotential wird durch Summenbildung aus dem Produkt der emittierten Menge der einzelnen Schadstoffe und dem jeweiligen AP nach folgender Formel berechnet:

$$AP = \sum_i (m_i \times AP_i)$$

5. Ressourcenbeanspruchung

Der Verbrauch von Ressourcen wird als Beeinträchtigung der Lebensgrundlagen des Menschen angesehen. In allen Überlegungen zu einer dauerhaft umweltgerechten Wirtschaftsweise spielt die Schonung der Ressourcen eine wichtige Rolle. Der Begriff Ressourcen wird dabei manchmal beschränkt auf erschöpfliche mineralische oder fossile Ressourcen angewendet oder sehr weit interpretiert, indem z.B. genetische Vielfalt, landwirtschaftliche Flächen, etc. darin eingeschlossen werden.

Für eine Bewertung der Ressourcenbeanspruchung innerhalb der Wirkungsabschätzung wird üblicherweise die „Knappheit“ der Ressource als Kriterium herangezogen. Zur Bestimmung der Knappheit einer Ressource werden, bezogen auf eine bestimmte geographische Einheit, die Faktoren Verbrauch, eventuelle Neubildung und Reserven in Beziehung gesetzt. Als Ergebnis erhält man einen Verknappungsfaktor, der dann mit den in der Sachbilanz erhobenen Ressourcendaten verrechnet und in einen Gesamtparameter für die Ressourcenbeanspruchung aggregiert werden kann.

Trotz einer vermeintlich guten methodischen Zugänglichkeit zu der Umweltbelastung "Ressourcenbeanspruchung" werden zukünftig noch einige grundsätzliche Aspekte zu klären sein. Dies betrifft insbesondere die sinnvolle Einteilung der Ressourcenarten und die Defini-

tion von Knappheit. Erst dann sind nachvollziehbare und akzeptierte Messvorschriften und Bewertungsgrundlagen möglich.

Die Schwierigkeiten bei der Abgrenzung der Ressourcenarten ergeben sich z.B. dadurch, dass Materialien auch Energieträger sein können und umgekehrt, dass biotische Ressourcen unter Umständen nicht erneuerbar sind, dass Wasser ein erneuerbares Material und ein erneuerbarer Energieträger sein kann, usw. Dazu kommen Probleme aus der Sachbilanz: Ist der Anbau einer biotischen Ressource ein Teil des Systems, so ist nicht das biologische Material ein Input in das System, sondern die Fläche, auf der es erzeugt wird. Damit ist Fläche die Ressource, die in der Wirkungsabschätzung und Bewertung zu betrachten ist und nicht die biotische Ressource selbst.

Vor diesem Hintergrund wird von drei Ressourcenkategorien ausgegangen:

- Ressource Energie
- Materialressourcen
- Ressource Naturraum

Aufgrund der in dieser Studie getroffenen Auswahl an vorrangig betrachteten Wirkungskategorien werden im Folgenden nur die beiden Ressourcenkategorien Energie und Flächennutzung/Naturraumbeanspruchung erläutert.

6. Energieressourcen

Verschiedene Energierohstoffe, wie z.B. Erdöl oder auch Holz, haben die Eigenschaften, sowohl stofflich (sog. feedstock) als auch energetisch verwendbar zu sein. Aufgrund der vielfältigen Umwandlungsprozesse innerhalb eines Lebenswegs sind dabei die Abgrenzungen nicht leicht zu setzen.

Diese Eigenschaften der Energierohstoffe haben bisher zu dem Vorschlag geführt, die Energieträger als Material darzustellen. Damit wurde es jedoch schwer, nichtmaterielle Energieträger wie Windkraft, Wasserkraft, Gezeitenkraft, Photovoltaik, etc. in ein Konzept mit einzu beziehen. Umgekehrt stellen andere Arbeiten sowohl stofflich als auch energetisch einsetzbare Materialien durch deren Energieinhalt dar. Daraus folgt unweigerlich das Problem, dass diese Materialien mit nicht-energetischen Materialien nicht in Beziehung gesetzt werden können. Beispielsweise kann bei einer Substitution von Glas durch Kunststoff die eingesetzte Masse nicht mit der Energiemenge verglichen werden. Anstelle des Bezugs auf den Energieinhalt des Kunststoffes ist eine Rückübersetzung in eine gewichtsbezogene Darstellung erforderlich.

Energievorräte auf der Erde sind - soweit sie einer menschlichen Nutzung zugänglich sind - grundsätzlich als endlich anzusehen. Das gilt vor allem für die erschöpflichen Energieträger wie fossile Brennstoffe aber auch für Uran als Grundmaterial der Kernenergienutzung. Daher sind insbesondere die fossilen Energieträger und Uran zur Betrachtung im Rahmen der Wirkungsabschätzung von Bedeutung. Darüber hinaus ist auch die Information über die Gesamtenergiemenge³⁰ eines betrachteten Systems wichtig, da sie die grundsätzliche energeti-

³⁰ Der Gesamtenergieverbrauch der untersuchten Systeme wird in der Sachbilanzgröße KEA als die Summe des Energieinhalts der Primärenergieträger dargestellt und als KEA gesamt in dieser Studie berücksichtigt.

sche Effizienz dieses Systems beschreibt, inklusive anderer Energieformen wie Sonnenenergie und Erdwärme.

Die Aggregation der Ressource Energie erfolgt in dieser Studie auf zwei Arten: Zum einen wird das Konzept einer primärenergetischen Bewertung des Energieaufwandes umgesetzt, zum anderen eine Bewertung der Endlichkeit der Primärenergieträger vorgenommen.

Als Kategoriebezeichnung für die primärenergetische Bewertung wird der Begriff des KEA (Kumulierter Energieaufwand) verwendet. Er ist eine Sachbilanzgröße und drückt die Summe der Energieinhalte aller bis an die Systemgrenzen zurückverfolgten Primärenergieträger aus. Unter der Bezeichnung *KEA fossil* werden nur die so bilanzierten fossilen Primärenergieträger aufsummiert. Als *KEA nuklear* wird der Verbrauch an Uran bilanziert. Die Berechnung des *KEA nuklear* erfolgt aus Beaufschlagung des in den Untersuchungssystemen verbrauchten Atomstroms mit einem Wirkungsgrad von 33 %. Daneben wird auch der *KEA Wasserkraft*, der *KEA regenerativ* und der *KEA Sonstige* sowie der aus allen KEA-Werten gebildete *KEA-Summenwert* in den Sachbilanzergebnissen erfasst. Der *KEA Wasserkraft* wird auf der Basis eines Wirkungsgrads von 85% ermittelt.

Nach der Methode des UBA dient die statische Reichweite der Energieträger als Indikator für die Knappheit fossiler Brennstoffe³¹. Die statische Reichweite wird dabei aus Daten zu den vorhandenen Weltreserven und des aktuellen Verbrauchs der jeweiligen Ressource abgeleitet. Die Knappheiten werden auf Rohöl-Äquivalente (ROE) umgerechnet [UBA 1995]. Die nachfolgende Tabelle gibt die Umrechnungsfaktoren zur Berechnung der Rohöläquivalente wieder.

INPUT	Statische Reichweite	Energieinhalt fossil	Rohöl-Äquivalenzfaktor (ROE _i)
Rohstoffe in d. Lagerstätte (RiL)	[a]	in kJ/kg	in kg Rohöl-Äq./kg
Braunkohle	200	8.303	0,0409
Erdgas	60	40.400	0,5212
Rohöl	42	42.622	1
Steinkohle	160	29.809	0,1836
Quelle: [UBA 1995]			

Tabelle A1-5: Energieinhalte und Rohöläquivalente der im Rahmen dieses Projekts erhobenen Stoffe

Es gilt für die Berechnung des Rohöl-Äquivalenzfaktors:

$$ROE = \sum_i (m_i \times ROE_i)$$

7. Flächennutzungen bzw. Naturraumbeanspruchung

Fläche kann im Zusammenhang der wirkungsorientierten Bewertung als eine endliche Ressource verstanden werden. Doch ist es nicht hilfreich, Fläche nur als eine zur freien Verfügung stehende Menge zu verstehen. Fläche steht in direktem Bezug zu einem ökologisch bewertbaren Zustand dieser Fläche.

³¹ Die Verlässlichkeit der statischen Reichweite als Knappheitsindikator wird durch die Unsicherheiten zum Stand der bekannten und wirtschaftlich erschließbaren Ressourcenvorräte beeinträchtigt.

Wird der ökologische Bestand einer Fläche berücksichtigt, so sind darunter alle flächenbezogenen Umweltbelastungen zu verstehen, wie z.B. die Verringerung der biologischen Diversität, Landerosion, Beeinträchtigung der Landschaft usw. Es erscheint angebracht, mit dem Begriff "Naturraum" alle darin enthaltenen natürlichen Zusammenhänge zu verstehen und zu beschreiben – im Gegensatz zum Begriff der Fläche.

Zu diesem Zweck wurde im Rahmen der UBA Ökobilanz für graphische Papiere [UBA 1998] eine Methode zur Wirkungsabschätzung weiterentwickelt, die auf der Beschreibung des „Natürlichkeitsgrades“ (Hemerobiestufen) von Naturräumen [Klöpper, Renner 1995] aufbaut und zunächst speziell für Waldökosysteme spezifiziert wurde. Entscheidender Punkt der Methode ist die Beschreibung der Flächenqualitäten in sieben Qualitätsklassen mit abnehmendem Natürlichkeitsgrad, wobei alle Landflächen in dieses Qualitätsraster einordenbar sein müssen. Waldflächen können den ersten fünf Natürlichkeitsklassen zugeordnet werden. Klasse I entspricht dabei „unberührter Natur“, für die über lange Zeit keinerlei Nutzung erfolgen darf. Die vier folgenden Klassen gelten der forstlichen Nutzung von naturnaher bis naturferner Waldnutzung. Die Natürlichkeitsklassen III, IV, V und VI umfassen die landwirtschaftliche Nutzung und überschneiden sich damit in drei Klassen (III, IV und V) mit der forstlichen Nutzung. Die Natürlichkeitsklasse VII entspricht versiegelten oder sehr lange Zeit degradierten Flächen, wie z.B. Deponien.

Die Methode ist in [UBA 1999] ausführlich beschrieben. Dort wird auch darauf hingewiesen, dass die Methodenentwicklung derzeit noch nicht abgeschlossen ist. Insbesondere fehlt eine über die Forstnutzung hinausgehende durchgängige Einteilung aller Ökobilanz relevanten Naturraumnutzungen in die angesprochenen Natürlichkeitsklassen. Dies liegt unter anderem auch daran, dass die verfügbaren Datensätze in aller Regel nicht die benötigten Informationen mitführen und zudem für Naturraumnutzungen außerhalb der Bundesrepublik Deutschland die Indikatoren zur Klassenbildung erst noch entwickelt werden müssen.

8. Literatur

- [CML 1992]: Environmental life cycle assessment of products, Guide and Backgrounds, Center of Environmental Science (CML), Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO), Fuels and Raw Materials Bureau (B&G), Leiden, 1992
- [Guinée 2002]: Guinée, J.B. (Ed.) Handbook on Life Cycle assessment. Kluwer Academic Publishers 2002.
- [IPPC 1995]: IPPC (Hrsg.): Intergovernmental panel on the climatic change. Climatic Change, Report to the United Nations 1996, New York (USA) 1995.
- [IPPC 2001]: IPPC (Hrsg.): Intergovernmental panel on the climatic change. Third Assessment Report – Climate Change 2001: Synthesis Report, 29.09.2001; <http://www.ipcc.ch/pub/SYR-text.pdf>
- [Jenkin + Hayman 1999]: Jenkin, M.E. & G.D. Hayman, 1999: Photochemical ozone creation potentials for oxygenated volatile organic compounds: sensitivity to variations in kinetic and mechanistic parameters. Atmospheric Environment 33: 1775-1293.
- [Klöpper 1995]: Methodik der Wirkungsbilanz im Rahmen von Produkt-Ökobilanzen unter Berücksichtigung nicht oder nur schwer quantifizierbarer Umwelt-Kategorien, UBA-Texte 23/95, Berlin, 1995
- [UBA 1995]: Umweltbundesamt (Hrsg.): Ökobilanz für Getränkeverpackungen. Datengrundlagen. Berlin, 1995. Unveröffentlicht.
- [UBA 1998]: Umweltbundesamt Berlin (Hrsg.): Ökobilanz Graphischer Papiere. Berlin, 1998

Anhang II. Bericht der kritischen Gutachter

Stellungnahme der kritischen Gutachter zur LCA-Studie
[Ersteller: Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), Heidelberg]:

«Ökobilanzieller Vergleich von Getränkekartons und PET-Einwegflaschen»

Schlussbericht zur kritischen Prüfung gemäss ISO 14040

von

Paul W. Gilgen

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa)
CH-8600 Dübendorf

und

Hans-Jürgen Garvens

LCA Consultancy and Review
D-14715 Landin

zu Händen des Auftraggebers der LCA-Studie:

**Fachverband Kartonverpackungen
für flüssige Nahrungsmittel (FKN) e.V., Wiesbaden**

August 2006

1 Grundlagen

Die zu prüfende Ökobilanz wurde vom Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu) GmbH in Heidelberg («Ersteller») im Rahmen des Projektes

«Ökobilanzieller Vergleich von Getränkekartons und PET-Einwegflaschen»

für den Fachverband Kartonverpackungen für flüssige Nahrungsmittel (FKN) e.V. in Wiesbaden («Auftraggeber») erarbeitet.

Weil die vorliegende Ökobilanz

- den Anspruch erhebt, mit den internationalen Normen ISO EN 14040 14043 übereinzustimmen,
- vergleichende Aussagen zur Umweltbeanspruchung der untersuchten Systeme enthält,
- der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden soll,

ist eine sog. kritische Prüfung als qualitätssichernde Massnahme zwingend erforderlich. Diese im englischen Sprachraum als «critical review» bezeichnete Begutachtung hat gemäss den erwähnten ISO-Normen durch einen Prüfungsausschuss unabhängiger Experten («Peers») zu erfolgen, was die strengste Variante dieser kritischen Prüfung darstellt.

2 Durchführung des kritischen Gutachtens

Es gibt zwei mögliche Vorgehensweisen der kritischen Prüfung einer LCA-Studie:

- Version I:
kontinuierlich und parallel zur Entwicklung der Ökobilanz.
- Version II:
separat nach Abschluss der Ökobilanz und getrennt von dieser.

Im vorliegenden Fall wurde Vorgehensweise gemäss Version I gewählt.

Das führt zum wünschenswert zeitgleichen Abschluss von Ökobilanz und kritischer Prüfung. Zudem führt die stetige Einflussnahme der Gutachter dazu, dass deren kritische Bemerkungen kontinuierlich eingearbeitet werden, so dass die Studie beim Abschluss die zu Beginn gesetzten Qualitätsansprüche erfüllt; so geschah es auch im vorliegenden Fall.

(Beim Vorgehen nach Version II bleiben allfällige Mängel der Studie bestehen und werden danach als solche im separaten Gutachten post festum kritisiert – ein Ergebnis, welches eigentlich für niemanden zielführend und dienlich sein kann.)

Der Detaillierungsgrad der kritischen Prüfung kann verschieden sein:

- Differenziert:
wichtige Abschnitte minutiös und in allen Details, anderes eher pauschal und auf bloße Plausibilität hin untersucht (was durchaus aufgabengemäss ist, was die Schwachstellen fraglos aufzuzeigen vermag, dabei aber den Prüfungsaufwand in vernünftigen Grenzen hält).
- Ohne Unterscheidung:
alles durchwegs rigoros und akribisch (was der Wiederholung der gesamten LCA-Studie gleichkommt und einen entsprechend sehr hohen Aufwand verlangt, der aber nicht wesentlich mehr relevante Prüfungsergebnisse zu liefern vermag als die differenzierte Durchführung).

Im vorliegenden Fall wurde differenziert vorgegangen, die ermittelten Resultate der kritischen Prüfung tragen entsprechende Vermerke bzgl. des angewendeten Detaillierungsgrades.

3 Ablauf des kritischen Gutachtens

Es wurden drei Sitzungen des Projekt-Beirates in Heidelberg abgehalten, an welchen auch die Gutachter teilgenommen haben. Der Projekt-Beirat hat etliche Informationen zur Studie beigesteuert.

Bei den zwei ersten Sitzungen trafen sich die beiden Gutachter jeweils am Vortag zu bilateralen Arbeitsmeetings, bei der dritten Sitzung während zweier vorangehender Tage sowie zusätzlich während des Tages danach:

- Erste Sitzung des Projekt-Beirates: 15. Mai 2006
(vorangehendes Arbeitstreffen der Gutachter: 14. Mai 2006).
- Zweite Sitzung des Projekt-Beirates: 27. Juni 2006
(vorangehendes Arbeitstreffen der Gutachter: 26. Juni 2006).
- Dritte Sitzung des Projekt-Beirates: 8. August 2006
(vorangehendes Arbeitstreffen der Gutachter: 6. und 7. August 2006;
nachfolgendes Arbeitstreffen der Gutachter: 9. August 2006).

An der ersten und zweiten Sitzung des Projekt-Beirates wurden die ifeu-Arbeiten anhand von PowerPoint-Präsentationen vorgeführt. Die Überlegungen, Einwände und sonstigen Äusserungen der Gutachter wurden in den vom Ersteller der Studie angefertigten Protokollen festgehalten. An der dritten Sitzung lag der Entwurf des Schlussberichtes vor, in welchem die Bemerkungen der Gutachter zu deren Zufriedenheit allesamt berücksichtigt worden sind, und der insgesamt einen hohen Reifegrad aufwies.

In allen Sitzungen bewegten sich die Diskussionen auf fachlich hohem Niveau, und sie führten zu Entscheiden, welche als Konsens vom gesamten Beirat getragen wurden. Besonders sensible Belange wie z.B. Festlegung des Betrachtungsrahmens, Qualität und Aktualität der verwendeten LCA-Basisdaten, Modellierung des Recyclings u.a.m. wurden angemessen lang und intensiv diskutiert.

Die Zusammenarbeit von Auftraggeber, Ersteller und Begleitkreis mit den Beiräten und Gutachtern war vorbildlich. Auch hat keiner dieser Akteure in irgendeiner Weise Einfluss auf die Gutachter oder auf die LCA-Studie zu nehmen oder sonstwie partikulare Interessen durchzudrücken versucht.

4 Herangezogene Normen und Prüfkriterien

Der kritischen Prüfung wurden die internationalen (und gleichzeitig deutschen) Normen ISO EN DIN 14040 14043 zugrunde gelegt. Geprüft wurde nach den in der LCA-Rahmennorm ISO EN DIN 14040 vorgegebenen fünf Kriterien:

- Ob die bei der Durchführung der Ökobilanz angewendeten Methoden mit diesen Internationalen Normen übereinstimmen;
- ob die bei der Durchführung der Ökobilanz angewendeten Methoden wissenschaftlich begründet sind und dem Stand der Ökobilanz-Technik entsprechen;
- ob die verwendeten Daten in Bezug auf das Ziel der Studie hinreichend und zweckmässig sind;
- ob die Auswertungen die erkannten Einschränkungen und das Ziel der Ökobilanz berücksichtigen;
- ob der Bericht transparent und in sich stimmig ist.

Es liegen bereits Entwürfe für geringfügig überarbeitete Dokumente ISO 14040 und ISO 14044 vor. Diese sind aber noch nicht als verbindliche Normen veröffentlicht worden und können demzufolge noch nicht Grundlage dieser Studie bilden.

5 Ergebnis der kritischen Prüfung

Der Prozess der kritischen Begutachtung soll sicherstellen, dass die untersuchte Studie den vorerwähnten fünf Prüfkriterien genügt.

Diese einzelnen Punkte werden im Folgenden kurz besprochen und die Ergebnisse der Prüfung durch die kritischen Gutachter dargestellt. Die Darstellung bezieht sich auf den überarbeiteten Abschlussbericht (nicht auf dessen Entwurf und auch nicht auf einen der zuvor übermittelten Zwischenberichte).

5.1 Allgemeiner Eindruck

Der allgemeine Eindruck der LCA-Studie ist vorzüglich. Die Definition der untersuchten Systeme weist bezüglich Detaillierung einen derart hohen Stand auf, dass kaum noch Wünsche offen bleiben. Die Studie nähert sich jener Grenze, welche durch das gegenwärtig normativ gültige Konzept des Life Cycle Assessments methodisch (ja sogar methodologisch) gegeben ist.

Wo immer mit vernünftig grossem Aufwand Aktualisierungen der Sachbilanz-Daten oder sonstige Verbesserungen erreichbar schienen, wurden sie realisiert.

Der Ersteller verfügt über sichtlich grosse LCA-Erfahrung, die er souverän einzusetzen weiss.

5.2 Übereinstimmung mit der Norm

Der vorliegende Abschlussbericht nimmt für sich in Anspruch, nach den internationalen Normen ISO EN DIN 14040 14043 erstellt worden zu sein. Das bezieht sich sowohl auf die Struktur des Berichtes als auch auf die vier wesentlichen Elemente der Normen ISO EN DIN 14041 14043. Obwohl sich die Struktur des Berichtes nicht streng an die Gliederungsvorgabe der Norm hält, so sind doch alle geforderten Elemente «Ziel und Rahmen der Studie», «Sachbilanz», «Wirkungsabschätzung» und «Interpretation» klar und deutlich in der Studie zu erkennen, mithin normgerecht verwendet.

Die Wirkungsabschätzung und die optionale Normierung (englisch: normalization) der Ergebnisse wurden ausgeführt wie auch in früheren, bereits einer kritischen Prüfung unterzogenen Studien. Besonders hervorgehoben werden soll, dass die ursprünglich nicht vorgesehene Normierung der Ergebnisse auf Wunsch der Gutachter Eingang in den Abschlussbericht gefunden hat und zu einer Erweiterung der Interpretation der Ergebnisse genutzt worden ist.

Die Gutachter bestätigen, dass die verwendeten Methoden konsistent mit den zitierten Normen sind.

5.3 Wissenschaftliche Begründung der Methodik und Stand der Ökobilanz-Technik

Die Sammlung der Daten, die Modellierung der Systeme und die Berechnungen, welche der Sachbilanz zugrunde liegen, bewegen sich auf dem Stand der Technik. Eine Vielzahl von Aktualisierungen sowie Verbesserungen an den Modellen sind gegenüber früheren Studien durchgeführt worden.

Es wurde eine ausführliche Netz- und Modellierungsprüfung vorgenommen: Zwei Basis-Szenarien sowie die Sensitivitäten (d.h. die ökobilanzielle Handhabung der anzunehmenden Weiterentwicklung der PET-Behältnisse) wurden bzgl. ihrer Daten, ihrer Verknüpfungen und ihrer Darstellung in den entsprechenden Abschnitten der LCA-Software durchleuchtet. Die Auswahl erfolgte mit Blick auf die jeweilige Relevanz. Die detailliert geprüften Elemente sind in Summe mehr als zwei Drittel sämtlicher Elemente der Modellierung. Diese detaillierte Prüfung führte zu einigen Fragen an den Ersteller. Sämtliche dieser Fragen konnten zur Zufriedenheit der Gutachter beantwortet werden.

Zwar ergab die Modellprüfung eine gewisse Intransparenz der verwendeten Modelle in der Software; es konnte jedoch durch entsprechend ausgeweitete Prüftiefe sichergestellt werden, dass die Berechnungen im Rahmen des menschlichen und gutachterlichen Ermessens richtig und korrekt sind.

Zur Frage der funktionalen Gleichwertigkeit der untersuchten Systeme wird ausführlich der Nutzen der Verpackungssysteme dargestellt. Die primäre Funktion der Verpackung ist der Schutz des Füllgutes; dieser kann als vollkommen gleich angesehen werden. Sekundäre Funktionen der Verpackungen, die gegebenenfalls von bestimmten Unternehmen nachgefragt werden [wie z.B. die Unterscheidbarkeit am PoS (Point of Sale) oder die Sicht auf das Füllgut], sind nicht gleichwertig. Die vorliegende Bilanz bezieht diese sekundären Funktionen nicht mit ein, da eine Ausweitung des funktionalen Begriffes auf alle möglichen Nutzen einer Verpackung dazu führt, dass keinerlei Systemvergleiche mehr möglich sind.

Zusammenfassend kann die wissenschaftliche und technische Validität der im Rahmen dieser Studie angewendeten Methoden bestätigt werden.

5.4 Validität der Daten

Wie in jeder Ökobilanz, so mussten auch in der vorliegenden Studie für etliche Grössen plausible Annahmen getroffen werden, denn nicht für sämtliche Parameter konnten eigene Erhebungen oder aktuelle Daten verwendet werden (Beispiele: Bei den PET-Systemdaten betraf das z.B. die Gewichte der PET-Flaschen; bei der Verwertung waren es Annahmen, welche auf den entsprechenden Gegebenheiten beim Marktführer basieren). Diese Fälle sind durch Szenarien beschrieben und mittels Sensitivitätsanalysen behandelt worden. Dabei konnte gezeigt werden, dass sich die Ergebnisse in keinem Fall völlig umkehrten; und insbesondere, dass die ökologische Rangierung in den vergleichenden Gegenüberstellungen «Getränkekarton vs. PET» stabil blieben.

Die Daten, die dieser Studie zugrunde liegen, sind von unterschiedlicher Qualität. Während die Angaben zum Getränkekarton durch den Auftraggeber bzw. durch dessen Mitgliedsfirmen in grosser Zahl und mit hundertprozentiger Marktabdeckung im betrachteten Bilanzrahmen dargestellt werden konnten – und damit gewichtete Mittelwerte und sogar eine Sensitivität über die Variationsbreite von vorhandenen Verpackungen am Markt ermöglichten – ist die Datenbasis bei den PET-Flaschen wesentlich schwächer. Diese konnten nur auf geprüften Expertenschätzungen, eigenen Recherchen (zu denen auch Testkäufe gehörten) und Befragung des Begleitgremiums der Studie erhalten werden. Eine direkte Beteiligung der Kunststoffindustrie war gewünscht und wurde mittels entsprechenden Einladungen versucht, wurde von dieser aber leider ausgeschlagen. Die grundsätzlich unterschiedlich tragfähige Datenbasis ist zu bedauern; dennoch konnte gemäss gutachterlicher Auffassung das PET-Verpackungssystem so gut beschrieben werden, dass es für den ökobilanziellen Vergleich genutzt werden konnte.

Wo Annahmen zu dem PET-Verpackungssystem notwendig waren, haben sie sich an den jeweils besten am Markt befindlichen PET-Einwegflaschen orientiert, im Vergleich zu den Markt-Mittelwerten der Getränkekartons stellen sie somit eine Bevorteilung der PET-Verpackungssysteme dar. Zudem führt die Verwendung der ersteller-eigenen Daten zu PET anstelle jener von PlasticsEurope ebenfalls zu einer Bevorteilung der PET-Einwegflaschen (siehe dazu auch Kapitel 5.5 «Stellungnahme der Gutachter zu einigen zentralen Annahmen der Studie»). Diese doppelte Bevorteilung ist als solche in der Studie festgehalten.

Trotz der erwähnten Unterschiede bei der Qualität der Daten für die beiden untersuchten Verpackungssysteme stellen diese jedoch unter den gegebenen Bedingungen das technisch und wissenschaftlich Machbare dar. Aufgrund des Umgangs mit den Daten ist sichergestellt, dass in keiner Hinsicht das gemäss Auftrag zu untersuchende Verpackungssystem «Getränkekarton» gegenüber den PET-Einwegflaschen in unzulässiger Weise bevorteilt wurde – eher im Gegenteil, wie oben erwähnt.

Die verwendeten Daten sind für die Studie und die zugrundeliegende Fragestellung angemessen.

5.5 Stellungnahme der Gutachter zu einigen zentralen Annahmen der Studie

Die methodische Konsistenz der vorliegenden Studie mit den vorangegangenen Studien des deutschen Umweltbundesamtes wurde durch die Berücksichtigung der Entsorgung nach dem zweiten Lebensweg von Sekundärprodukten genau genommen nicht aufrechterhalten. Die Berücksichtigung dieses Aspektes der Entsorgung ist jedoch sinnvoll und begrüssenswert.

Durch die von den Gutachtern eingeforderte Sensitivität, welche den Einfluss der methodischen Ergänzung untersucht, konnten für das Basisszenario Ergebnisse auch mit vollkommener methodischer Konsistenz zu vorangegangenen Studien dargestellt werden. Es zeigte sich, dass der Einfluss in dieser Studie vernachlässigbar gering ist. Jedoch ermuntern die Gutachter die Ersteller der Studie, diesen neuen Ansatz weiter zu verfolgen und dort, wo es nötig ist, die methodische Konsistenz mit früheren Studien durch eine Sensitivität herzustellen.

Die Indikatoren ODP, Humantoxizität und Ökotoxizität wurden in der Studie nicht berücksichtigt. Während der Modellprüfung konnte sich einer der Gutachter aber davon überzeugen, dass das ODP auf der Grundlage normierter Ergebnisse einen so unwesentlichen Einfluss hatte, dass das Weglassen zugunsten anderer Verbesserungen der Studie durchaus gerechtfertigt erscheint. Die Indikatoren Human- und Ökotoxizität werden zwar häufig in vergleichbaren Studien mitgeführt, stehen aufgrund der vom Auftraggeber hier gegebenen Begründungen jedoch für die Ergebnisauswertung und -interpretation nicht oder nur sehr eingeschränkt zur Verfügung. Es ist nur dann sinnvoll, diese Kategorien zu betrachten, wenn sich wesentliche Informationen daraus ableiten lassen. Dies ist in den hier betrachteten Systemen aber nicht zu erwarten.

Für PET wurde nicht der von PlasticsEurope, dem europäischen Verband der Kunststoffhersteller, veröffentlichte Datensatz verwendet, sondern der vom ifeu in einer anderen Studie (Auftraggeber: PETCORE) erstellte, bisher leider unveröffentlichte Datensatz. Beide Gutachter haben an der PETCORE-Studie in unterschiedlichen Funktionen teilgenommen. Im Beirat der PETCORE-Studie wurde dieser neue Datensatz ausführlich diskutiert; er ist aufgrund der erheblich grösseren Transparenz aller verwendeten Einzeldaten grundsätzlich zu bevorzugen. Erstmals ist es gelungen, die gesamte Herstellungsketten in Einzelschritten zu analysieren und in einem Ökobilanzverfahren mit kritischem Gutachten zu einem erfolgreichen Abschluss zu bringen. Damit erhält dieser neue Datensatz mindestens das gleiche wissenschaftliche Gewicht, wie der offizielle Datensatz der Kunststoffindustrie; dieser nimmt zwar eine geringfügig höhere Abdeckung der PET-Produktion in Europa für sich in Anspruch, ergibt bei verschiedenen Teilergebnissen jedoch nicht-plausibilisierende Werte, welche mit den vorhandenen Daten zu den Einzelprozessen nicht erklärt werden können. Eine Diskussion der beiden Datensätze auf der Ebene der jeweiligen Ersteller hat leider nicht zu fruchtbaren Ergebnissen geführt.

Darüber hinaus werden durch die Nutzung des PETCORE-Datensatzes in den in dieser Studie als wesentlich erachteten Wirkungskategorien günstigere Ergebnisse für das PET erzielt, als bei Nutzung des offiziellen Datensatzes der Kunststoffindustrie. Dies ist im Sinne einer konservativen Abschätzung gegen das im Mittelpunkt der Untersuchung stehende Verpackungssystem zu begrüssen.

5.6 Berücksichtigung der Einschränkungen in der Auswertung der Sachbilanz-Ergebnisse

Die Befolgung des klar formulierten Projektauftrages, die Praktikabilität der Durchführung sowie der termintreue Abschluss des ganzen Vorhabens waren massgebliche Gründe, dass jener Zugewinn in der Aussage der Sachbilanz-Ergebnisse unberücksichtigt blieb, welchen die Norm ISO EN DIN 14041 (1998-11) im Kapitel 7 zu bedenken gibt:

«Weiterhin wird aufgrund kumulativer Wirkungen von Input-Unsicherheiten und der Schwankungsbreite von Daten eine Unsicherheit in die Ergebnisse einer Sachbilanz eingeführt. Die auf die Sachbilanz angewendete Technik der Unsicherheitsanalyse befindet sich noch am Anfang der Entwicklung. Es wäre dennoch hilfreich, die Unsicherheit der Ergebnisse mit Fehlerbereichen und/oder mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu beschreiben, um die Unsicherheit der Ergebnisse und Schlussfolgerungen einer Sachbilanz zu bestimmen. Wann immer möglich sollten solche Analysen durchgeführt werden, um die Schlussfolgerungen einer Sachbilanz besser zu erklären und zu untermauern.»

Es ist keine normative Vorschrift, in einer Ökobilanz derartige Fehlerfortpflanzungs-Rechnungen oder weitere Verfahren der mathematischen Statistik anzuwenden, deren Fehlen ist somit kein prozeduraler Mangel.

In vorliegender Ökobilanz werden an einer Stelle dennoch statistische Betrachtungen angestellt, nämlich bei der Verteilung der Gewichte der 1'000 mL-Verpackung aus Getränkekarton: Dabei wird anhand von fünf Grössen – 5%-Perzentil, 95%-Perzentil, leichteste Verpackung, schwerste Verpackung, mittleres Verpackungsgewicht (= jener Wert, mit welchem in der Ökobilanz gerechnet wird) – augenfällig dargelegt, wie sich die Umweltbeanspruchung in den Wirkungskategorien von einer zifferngenauen Aussage zu einem Aussage-Streubereich aufweitet. Damit wurde zwar die Rangierung der Verpackungssysteme nirgends umgestossen, aber die Darstellung von Ergebnis-Bereichen anstelle von Ergebnis-Zahlen erweist sich für das richtige Verstehen der Resultate einer Ökobilanz und deren korrekte Interpretation als wichtig.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Einschränkungen in der Auswertung der Sachbilanz-Ergebnisse genügend berücksichtigt sind.

5.7 Transparenz

Die Begründung und Darstellung des ökobilanzierten Systems mitsamt seinen Elementen, die Beschreibung der Herstell- und Weiterverarbeitungsprozesse, die eingesetzten (Basis-) Daten, die Interpretation der Ergebnisse, die daraus gezogenen Folgerungen und deren Überführung in Handlungsempfehlungen sind transparent und nachvollziehbar. Das gilt ohne Abstriche auch für die weitreichenden Vorschläge, welche der Ersteller im Abschnitt «Exkurs Ressource» dem Auftraggeber zur Umsetzung empfiehlt.

6 Anregungen der Gutachter

Die vorliegende Studie schöpft wohl das Äusserste aus der Methode «Ökobilanz», was gemäss heute normativ gültigem LCA-Konzept möglich und mit den tatsächlich vorhandenen finanziellen Mitteln eines konkreten Auftrages vertretbar ist; eine über diese Grenze hinausreichende Festsetzung der ökologischen Befunde (und deren Gegenüberstellung in der vorliegenden Manier mitsamt den daraus gezogenen Folgerungen) käme einer Überinterpretation gleich und würde das gegenwärtige LCA-Konzept unzulässig strapazieren.

Gemäss den Normen ISO 14040ff. ist z.B. eine mathematisch-statistisch korrekte Berücksichtigung der Fehlerfortpflanzung nicht zwingend enthalten. Angesichts der hohen Bedeutung, welche selbst den nicht-signifikanten ökologischen Unterschieden beigemessen wird (mitsamt den weitreichenden Folgerungen, die daraus gerade auch von der Politik gezogen werden), sind aber statistische Methoden unabdingbar.

Die Gutachter ermuntern den Auftraggeber, derartige Verfahren als in seinem eigenen Interesse liegend zu begreifen und sie also einzufordern (weil sie eben die Schlussfolgerungen einer Sachbilanz besser zu erklären und zu untermauern vermögen).

Die Gutachter ermuntern den Ersteller, statistische Verfahren als über die gegenwärtig gültigen normativen Erfordernisse hinausgehende Bestandteile seiner LCA-Studien einzuführen.

Weitergehende als die vorliegenden Antworten auf jene Fragen, welche den Auftraggeber bewegen (z.B. «Welches ist der ökologische Abstand des Getränkekartons auf heutige PET-Behältnisse und insbesondere auf solche von morgen?») sind mit einer LCA also kaum noch möglich; erst recht nicht, wenn die Fragen strategische, mithin branchenwichtige Aspekte wie z.B. die Positionierung des Getränkekartons am Markt, langfristige Investitionen u.ä. betreffen. Nicht länger kann mehr übersehen werden, dass jetzt (umwelt)ökonomische – besonders ressourcen-ökonomische – sowie sozial-gesellschaftliche Aspekte entscheidend werden. Integrierte Produkt-Politik (IPP) und nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development, SD) sind hier die einschlägigen Stichworte.

Die Gutachter ermuntern insbesondere den Ersteller, über die methodisch (und methodologisch) korrekte Zusammenführung von ökologischen mit ökonomischen und sozial-gesellschaftlichen Daten nachzudenken und die entsprechende Diskussion in der LCA- Szene und der «science community» sowie der Politik zu bereichern; es wäre dies ein erwünschter Beitrag, um aus einer Diskussion herauszufinden, die in der politischen Öffentlichkeit nun schon während längerer Zeit allzu eindimensional verläuft.

Die Gutachter ermuntern aber ebenso den Auftraggeber, sich mit IPP und SD dergestalt auseinanderzusetzen, dass eine öffentlich wahrnehmbare Beschäftigung mit den beiden Themen sowie die Übernahme entsprechender Verantwortung sichtbar werden. Beide Themen liegen ja aus vielerlei Gründen im klaren Interesse des Auftraggebers und seiner Mitglieder, nicht zuletzt des liberalen Credo wegen «Der Preis der Freiheit ist die Freiwilligkeit».

7 Fazit

Die durchgeführte Studie ist in allen Teilen normgerecht, und sie nimmt sogar einige Empfehlungen für optionale Bestandteile mit auf, um die Ergebnisse besser interpretieren zu können sowie das Gewicht der gemachten Aussagen zu erhöhen.

Die Studie ist unter Mitwirkung eines breit abgestützten Projekt-Beirates entstanden, wodurch das Fachwissen aller dieser Interessengruppen (englisch: stakeholder) angemessen berücksichtigt werden konnte.

In Hinsicht auf die Darstellung und die Verwendung der vorhandenen Methoden ist die Studie ein herausragendes Beispiel dafür, was zur Zeit möglich und mit sinnvollem Aufwand vertretbar ist. Die der Studie zugrunde liegende Fragestellung ist allerdings nicht rein ökologisch motiviert, so dass das Werkzeug der Ökobilanz keine vollständige Abdeckung aller Aspekte der Fragestellung erlaubt. Es ist nicht bloss wünschenswert, sondern es drängt sich förmlich auf, weitere Belange z.B. der Ressourcenökonomie sowie sozial-gesellschaftliche Aspekte mit zu berücksichtigen.

Die durch den Ersteller der Bilanz gegebenen Hinweise und Empfehlungen, welche auf der Grundlage der erhaltenen Ergebnisse erstellt wurden, sind für alle in der Zielgruppe genannten Personenkreise wertvoll und werden zu weiteren Verbesserungen der betrachteten Systeme führen können.

Der Bericht ist zur Veröffentlichung vorgesehen. Die uneingeschränkte Verfügbarkeit, einschliesslich einer Übersetzung der Zusammenfassung ins Englische, wird von den Gutachtern ausdrücklich begrüsst.



Paul W. Gilgen

CH-8600 Dübendorf
17. August 2006



Hans-Jürgen Garvens

D-14715 Landin
17. August 2006

Hinweis:

Der vorliegende Schlussbericht der beiden Gutachter zur kritischen Prüfung ist Bestandteil des Endberichtes des Erstellers der LCA-Studie an dessen Auftraggeber. Sowohl Ersteller als auch Auftraggeber haben gemäss der Norm ISO EN DIN 14040 das Recht, schriftliche Kommentare zur kritischen Prüfung abzugeben, die dann ebenfalls Bestandteil des Endberichtes sind.

Literaturquellen

International Standard (ISO), Europäische Norm (EN), Deutsche Norm (DIN)

ISO EN DIN 14040 (1997-08)

Life Cycle Assessment: Principles and Framework – Prinzipien und allgemeine Anforderungen

International Standard (ISO), Europäische Norm (EN), Deutsche Norm (DIN)

ISO EN DIN 14041 (1998-11)

Life Cycle Assessment: Goal and scope definition and inventory analysis – Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz

International Standard (ISO), Europäische Norm (EN), Deutsche Norm (DIN)

ISO EN DIN 14042 (2000-07)

Life Cycle Assessment: Life cycle impact assessment – Wirkungsabschätzung

International Standard (ISO), Europäische Norm (EN), Deutsche Norm (DIN)

ISO EN DIN 14043 (2000-07)

Life Cycle Assessment: Auswertung

UBA-Texte 92/99, Umweltbundesamt Berlin (1999)

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 ISO 14043 (Version '99)

UBA-Texte 51/02, Umweltbundesamt Berlin (2002) [ISSN 0722-186X]

Schonert, M.; Metz, G.; Detzel, A.; Giegrich, J.; Ostermayer, A.; Schorb, A.; Schmitz, S.: Ökobilanz für Getränkeverpackungen II, Phase 2.

Forschungsbericht 103 50 504, UBA-FB 000363 des Umweltbundesamtes

Böss, A.; Detzel, A.: «Ökologischer Vergleich von Getränkekartons und PET-Flaschen»; Bericht des ifeu, Heidelberg, Februar 2006

[Die sog. «Vorstudie»: sie ist das Ergebnis des Auftrages «Eine ökobilanzielle Standortbestimmung von Verpackungen für Vorratshaltung und Unterwegskonsum» des Fachverbandes Kartonverpackungen für flüssige Nahrungsmittel (FKN), Wiesbaden, an das Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), Heidelberg]

Adressen der Gutachter:**Paul W. Gilgen**

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa)
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf

Telefon

Zentrale +41 (0) 44 823 5511

Direktwahl +41 (0) 44 823 4970

E-Mail paul.gilgen@empa.ch

(Vorsitzender)

Hans-Jürgen Garvens

LCA Consultancy and Review
Parkstrasse 1
D-14715 Landin

Telefon 030 89 03 5229 (Büro UBA)

E-Mail h.garvens@schlossgut-landin.de

(Erster Beisitzer)