

# Ökobilanz von Glasverpackungen

Hausarbeit zur Veranstaltung „Integrierter und Nachsorgender Umweltschutz“  
bei Herrn Prof. Dr. Jens Born im Sommersemester 2003

Jens Grabow

Soenke Hensel

Sebastian Kroemer

Christian Schäfer

# Gliederung

## 1. Erläuterung der Aufgabenstellung

## 2. Ökobilanz

### 2.1. Zieldefinierung

2.1.1. Zweck und Adressat der Ökobilanz Glasverpackungen

2.1.2. Vorstellung des Behälterglasprozesses

2.1.3. Bezugsgröße

2.1.4. Rahmenbedingungen, zeitliche und örtliche Gültigkeit

2.1.5. Systemgrenze und Fließschema

### 2.2. Inventarisierung

2.2.1. Verzeichnis der verwendeten Stoffe

2.2.2. Vorgehensweise

2.2.2.1. Definition

2.2.3. Kritische Betrachtung der Inventardaten

2.2.4. Glasproduktion insgesamt

2.2.5. Transport von Glas

2.2.6. Schadstoffemissionen

2.2.7. Ergänzungen zum absoluten Stoffkreislauf für die Schweiz

### 2.3. Bewertung

2.3.1. Bewertung des Verbrauchs an Ressourcen

2.3.1.1. Energieverbrauch

2.3.1.2. Rohstoffverbrauch

2.3.1.3. Zusammenfassung

2.3.2. Bewertung der Schadstoffemissionen

2.3.2.1. Eingetragene Stoffe mit problematischer  
Umweltverträglichkeit

2.3.2.2. Bewertung der Umwelteinflüsse

2.3.2.3. Normierung und Gewichtung

**2.4. Interpretation**

**3. Einordnung der Ökobilanz**

**4. Quellen- und Literaturverzeichnis**

# 1. Erläuterung der Aufgabenstellung

Im Rahmen der Veranstaltung „Integrierter und Nachsorgender Umweltschutz“ (INU) soll mit Hilfe der Studie SRU 250 „Ökoinventare von Verpackungen“, die im Auftrag des Schweizerischen Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) von 1993 bis 1995 erarbeitet wurde, eine Ökobilanz über die Herstellung von Glasverpackungen erstellt werden.

Die BUWAL-Studie SRU 250 macht in Kapitel 4. Definition „Ökobilanz“ deutlich, dass eine Vielzahl unterschiedlicher Definitionen für den Begriff Ökobilanz existieren, so dass eine Erklärung und Abgrenzung zu anderen Ansätzen folgt. Das BUWAL definiert die Ökobilanz als Methode Umweltauswirkungen von Produkten, Prozessen und Dienstleistungen über ihren gesamten Lebensweg zu betrachten, von der Wiege bis zur Bahre, und mit Hilfe der vier Schritte Zieldefinierung, Inventarisierung, Bewertung und Interpretation zu einer umfassenden und objektiven Bewertung des betrachteten Objektes zu gelangen. Die vorliegende Studie selbst umfasst nur die ersten beiden Phasen einer Ökobilanz, die Zieldefinierung und Inventarisierung. Bei der Inventarisierung wird der eigentliche Produktionsprozess als „black box“ betrachtet, wodurch keine Differenzierung der einzelnen Prozessschritte möglich ist.

## 2. Ökobilanz

### 2.1. Zieldefinierung

#### 2.1.1. Zweck und Adressat der Ökobilanz Glasverpackungen

Unsere Aufgabe besteht in der Erstellung einer Ökobilanz über die Herstellung von Glasverpackungen auf der Grundlage einer Inventarisierung, die vom BUWAL erstellt wurde. Die Arbeit soll den formellen Ansprüchen an eine Ökobilanz genügen. Da von uns selbst keine Daten erhoben wurden und wir uns in der Arbeit auf die Ergebnisse des BUWAL beziehen, wird unsere Ökobilanz einen zusammenfassenden Charakter aufweisen. Genaue Informationen über den eigentlichen Produktionsprozess, dem die Daten entnommen wurden, fehlen uns. Daher wird dieser als „black box“ behandelt.

Um jedoch eine grundlegende Vorstellung der einzelnen Prozess-Schritte zu geben, wird im Anschluss ein Beispiel einer typischen Behälterglasproduktion gegeben.

## 2.1.2. Vorstellung des Behälterglasprozesses

Der Werkstoff Glas ist seit vielen Jahrhunderten bekannt und wurde in seiner Qualität im Laufe der Zeit durch die Entdeckung neuer Fertigungsmethoden immer wieder in seinen Eigenschaften verbessert.

Heutige Behälterglas-Produktionsverfahren zeichnen sich durch ihr hohes Maß an Automation aus. Allerdings hat sich in den letzten 25 Jahren, wie sich im Vergleich der 4. und 5. Auflage von Ullmanns Enzyklopädie der Technischen Chemie zeigt, im eigentlichen Prozess wenig verändert.

**Rohmaterial:** Glas setzt sich im Wesentlichen aus Quarzsand, Soda, Kalkstein, Dolomit und Feldspat zusammen, außerdem Kleinkomponenten, die dem Glas bestimmte Eigenschaften und Farbtönungen verleihen. Behälterglas besteht zu einem wesentlichen Teil aus Altglas, welches mit dem Rohmaterial zusammen eingeschmolzen und zu neuem Behälterglas wird. Durch die Verwendung von Altglas als wesentlichen Bestandteil des Rohmaterials ergibt sich eine prozessbedingte Energieeinsparung im Schmelzofen, die das BUWAL mit der Formel Energieeinsparung im Schmelzofen [%]  $\approx \frac{1}{4} * \text{Altglasanteil} [\%]$  beschreibt.

Glassorte	Effektiver Altglasanteil 1994	Maximaler Altglasanteil
braun	61 %	70 – 80 %
grün	99 %	100 %
weiß	55 %	70 – 80 %

Tabelle 1 (Quelle: BUWAL, SRU 250, S. 94)

**Altglasaufbereitung:** Dieses Einsparpotential macht die immense Bedeutung des Altglasanteils für die Behälterglasproduktion deutlich. Sowohl in der Schweiz als auch in Deutschland wird Altglas in nach Farben getrennten Bring-Containern gesammelt, d. h. der Verbraucher bringt seinen Glas-Abfall an Containerstandorte, deren Inhalt auf LKW entleert wird und im Anschluss zu lokalen Sammelzentren gebracht wird, wo ein Weitertransport auf der Schiene erfolgt. Danach gelangt das Altglas über Recyclingzentren zur Glashütte. Um das nach Farben getrennt gesammelte Altglas dem Produktionsprozess zuführen zu können, muss es von möglichst allen Fremdstoffen befreit werden. Bei der Aufbereitung werden folgende Prozessschritte durchlaufen:

1. Aufgabe des Altglases auf die Transportanlage; Magnetabscheidung für Metallteile
2. Handverlesen mit Aussortierung von Fremdstoffen wie Keramik, Steine und Porzellan (KSP), Nichteisen-Metalle, Eisen-Metalle sowie organisches Material (u. a. Kunststoffe und Papier)
3. Vorbrechung des Glases auf eine Körnung <20 mm
4. Abscheidung von Kapseln und Plastikteilen mittels Saugluft
5. Mahlen des Glases zu Sand <2 mm
6. Siebung und Rückführung von zu großen Körnern
7. Transport des Glassandes in ein Rohmaterialdepot

**Schmelzaggregate:** Im Mittelpunkt der Glasproduktion steht das Schmelzen der Rohstoffe zur Glasmasse, die im weiteren Prozess verarbeitet wird. Von dem Gesamtenergieaufwand für die Herstellung von Glasprodukten entfallen etwa 72 % auf den Schmelzvorgang (siehe

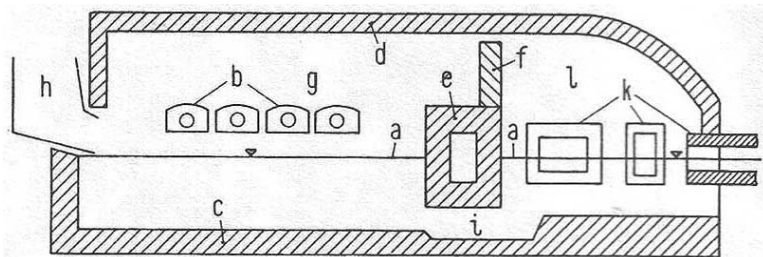
[www.umweltdaten.de/download/altglas.pdf](http://www.umweltdaten.de/download/altglas.pdf) vom 21.07.2003).

Für Glasverpackungen sind Schmelzwannen üblich, die eine Kapazität von ca. 300 t/Tag aufweisen

(siehe Abb. 1). Die

wichtigsten Kenngrößen für Glasschmelzwannen sind die spezifische Schmelzleistung,

die bei ungefähr  $2 \text{ t/m}^2 \cdot \text{Tag}$  liegt und der spezifische Wärmeverbrauch, der etwa  $10.500 \text{ kJ/kg}$  Glas beträgt. Eine Anpassung der Schmelzdurchsätze erfolgt durch die entsprechende Dimensionierung der rechteckigen Schmelzwannen. Eine Beckenvertiefung lässt sich mit Hilfe elektrischer Zusatz-Heizelektroden (Booster) kompensieren. Höhere Homogenitätsgrade können durch Gebläse erreicht werden (Bubbeln). In Abhängigkeit von den verwendeten Materialien, überwiegend Siliziumdioxid (Schmelztemperatur  $T_S = 1725 \text{ °C}$ ), Aluminiumoxid ( $T_S = 2050 \text{ °C}$ ) und Zirkoniumdioxid ( $T_S = 2700 \text{ °C}$ ), in Form von Schamottesteinen, schmelzgegossenen Wannensteinen, Chrommagnesit-, Magnesit- und Forsteritsteinen, Silicatsteinen und Zirkonsilikat, beträgt die Lebensdauer von Behälterglaswannen zwischen 6 bis 8 Jahren.



**Aufbau einer Behälterglaswanne (schematisch)**

a Glasspiegel; b Brennerköpfe; c Wannenbecken; d Gewölbe; e gekühlter Wall; f Schattenwand; g Schmelz- und Läuterteil; h Einlegemaschine; i Durchlaß; k Rinnen zu den Formgebungsmaschinen; l halbrunde Arbeitswanne

Abb. 1 (Quelle: Ullmanns Enzyklopädie der Technischen Chemie, Band 12, S. 336)

Obwohl bei der Herstellung technischer Massengläser überwiegend große Wannenöfen zum Einsatz kommen, gibt es für die Fertigung von Getränkeflaschen aus Natronkalkglas ein weiteres Verfahren, den Unitmelter. Er ist für kleinere Kapazitäten (4 – 100 t/Tag) ausgelegt, was einen schnellen Wechsel der Glaszusammensetzung ermöglicht. Die relativ geringen Investitionskosten werden durch erhöhte Betriebskosten infolge geringer Wärmenutzung kompensiert.

Beheizt werden die Schmelzwannen mit Erdgas oder Heizöl, seltener mit Stadt- oder Flüssiggas. Die Erhitzung des Glases erfolgt überwiegend durch Strahlung aus der Flamme und durch Reflexion am Gewölbe.

Der gesamte Prozess der Glaserzeugung lässt sich in die Phasen

- Schmelzen
- Läutern
- Homogenisieren
- Temperatureinstellung (für anschließende Formung)

einteilen.

**Schmelzen:** Das Gemenge wird in der Schmelzwanne bei 1200 – 1650 °C je nach Zusammensetzung eingelegt. Durch die Temperaturerhöhung durchläuft die Masse verschiedene Stadien bei denen Hydrate, Carbonate und Sulfate abgegeben werden. Beim Schmelzen wird die Masse langsam durchsichtig, enthält aber noch viele Blasen und Schlieren und ist inhomogen.

**Läuterung und Homogenisierung:** Die sichtbaren Blasen (>0,01 mm) und Schlieren werden durch Resorption der Blasen in die Glasmasse oder durch Auftreiben der Blasen zur Oberfläche beseitigt und homogenes Glas entsteht. Dabei kommen folgende Maßnahmen und Prozesse zum Einsatz:

- Verwendung von chemischen Läutermitteln (Natriumsulfat bei Massengläsern, Arsen trioxid, ferner Fluoride, Selen, Selenate, Tellurate, Chloride, Bromide) führt bei einer bestimmten Temperatur (Läutertemperatur) zum Freisetzen und verstärkten Auftreiben von Gasblasen zur Oberfläche
- Einblasen von zusätzlichen Gasen, z.B. Luft oder Wasserdampf, von unten in die Schmelzwanne treibt Blasen zur Oberfläche
- Mechanische Durchmischung (Bülwern), Rühren, Homogenisierung mit Ultraschall

- Temperaturerhöhung  
(dadurch Erniedrigung der Viskosität und somit Verstärkung des Auftriebs der Blasen) und  
Temperaturerniedrigung  
(dadurch Erhöhung der Gaslöslichkeit und vermehrte Resorption)

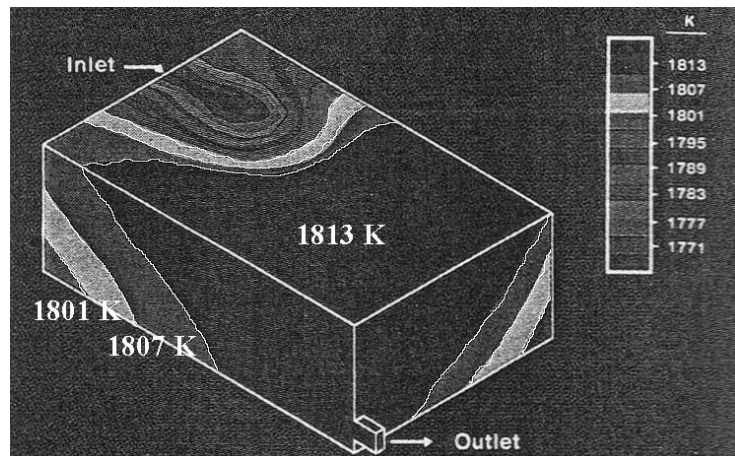


Abb. 2 (Quelle: Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry, Volume 12, p. 412))

**Formgebung des Glases:** Der Formgebungsprozess findet in einem Viskositätsbereich von  $10^3$  bis  $10^6$  dPa s und Temperaturen zwischen  $800\text{ °C}$  bis  $1400\text{ °C}$  statt. Die hohen Durchsatzraten bei der Produktion von Massengläsern wie Glasverpackungen machen konstante Viskositäts- und Temperaturverhältnisse erforderlich.

Die Formung der Glasbehälter geschieht z. B. durch das Blas/Blas-Verfahren, bei dem Glasmasse aus dem Speiser als Tropfen in Formen gelangen, in denen durch Pressluft ein Hohlkörper geformt wird. Nach dem vollständigen Auskühlen und einer abschließenden Qualitätskontrolle, bei der anfallender Ausschuss dem Schmelzprozess wieder zugeführt wird, werden die Glasbehälter für die Auslieferung abgepackt. Das BUWAL hat in seiner Untersuchung einen internen Ausschuss von 125-145 kg pro Tonne fertigen Behälterglas beobachtet, der in der Gesamtbilanzierung jedoch keinen Niederschlag gefunden hat, da sämtliche internen Ausschüsse im Herstellungsprozess verbleiben.

### 2.1.3. Bezugsgröße

Aus der Studie BUWAL SRU 250 wird 1 Tonne fertiges Behälterglas als Bezugsgröße übernommen. Auf diese Größe sind die in den Inventaren ermittelten Daten bezogen. Die Ökobilanz berücksichtigt die Trennung von Sammlung und Produktion in die drei Farbtöne braun, grün und weiß.

### 2.1.4. Rahmenbedingungen, zeitliche und örtliche Gültigkeit

Die Untersuchung SRU 250 wurde zwischen 1993 und 1995 in der Schweiz durchgeführt und spiegelt somit dortige Verhältnisse wieder. Die in den Inventaren angegebenen

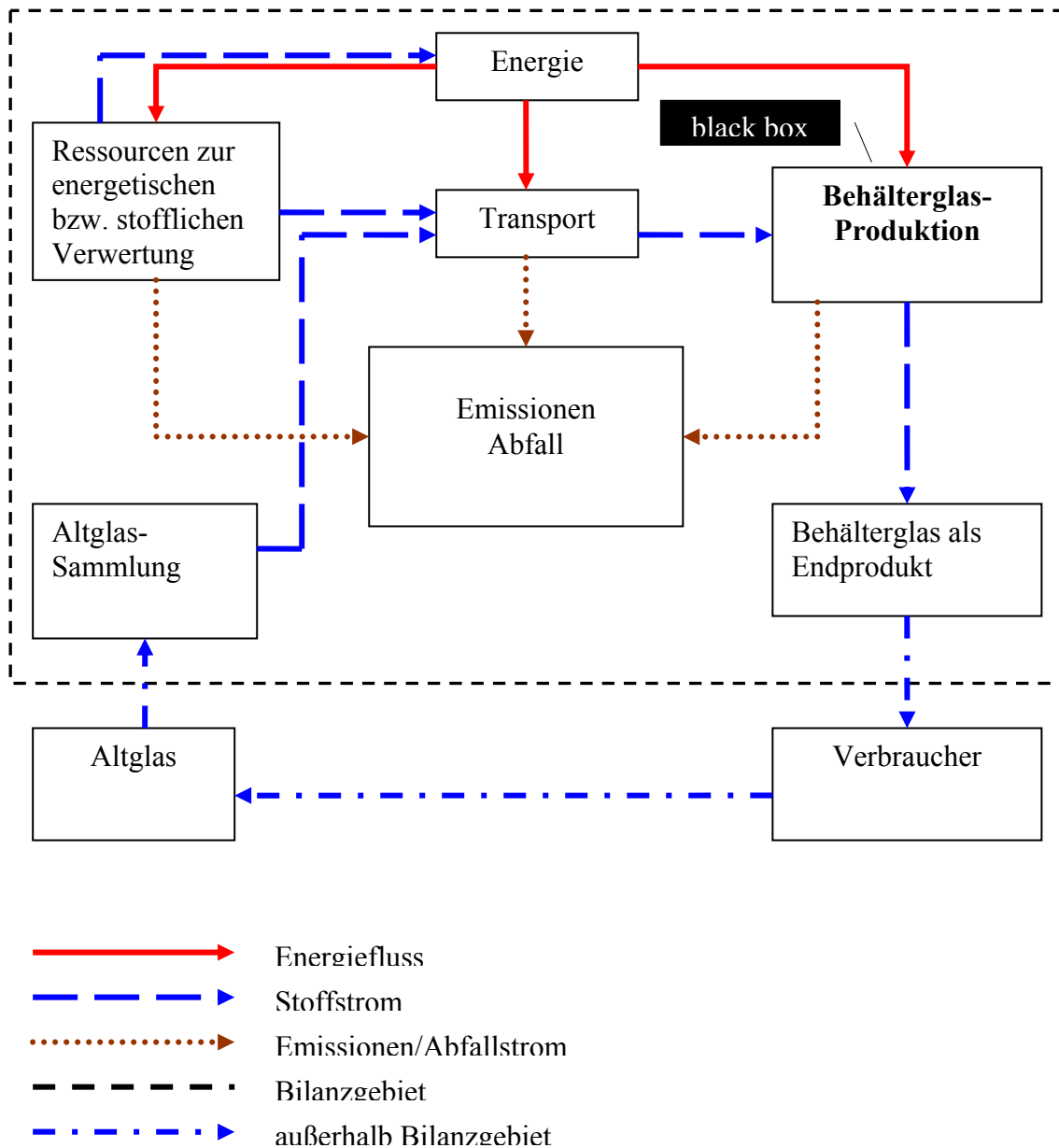


Rezyklatanteile entsprechen den effektiven Zahlenwerten für die Produktion in der Schweiz im Jahr 1994. Im Abschnitt 3. Einordnung der Ökobilanz wird auf die Vergleichbarkeit und mögliche Rückschlüsse mit Deutschland eingegangen.

### **2.1.5 Systemgrenze und Fliessschema**

Alle im Bilanzgebiet auftretenden Energie-, Stoff- und Abfallströme sowie Emissionen werden im folgenden Fliessschema qualitativ dargestellt. Um den Weg des Behälterglases als Stoffstrom außerhalb des Bilanzgebietes zu verfolgen, wird auch dieser für den Gesamtprozess immens wichtige Teil der Rückführung des Altglases integriert. Der eigentliche Herstellungsprozess wird als „black box“ betrachtet, in die Input- und Outputströme fließen, die in der Inventarisierung näher beschrieben werden.

Abb. 3 (Quelle: selbst erstellt)



## 2.2 Inventarisierung

### 2.2.1 Verzeichnis der verwendeten Stoffe

In dem in 2.1.5 ausgewiesenen Bilanzgebiet treten folgende Stoffe auf:

- Benzol	$C_6H_6$	
- Kohlenstoffdioxid	$CO_2$	fossil
- Kohlenstoffmonoxid	$CO$	
- Ammoniak	$NH_3$	
- Flusssäure	$HF$	

- Distickstoffoxid	N <sub>2</sub> O
- Chlorwasserstoff	HCl
- Schwefeldioxid	SO <sub>2</sub>
- Stickstoffdioxid	NO <sub>2</sub>
- Cadmium	Cd
- Mangan	Mn
- Nickel	Ni
- Quecksilber	Hg
- Zink	Zn
- Phenole	
- Toluol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>
- PAH Polyzykl. arom. KW	
- Aromatische KW	
- Chlorierte KW	
- Fette/Öle	
- DOC	
- TOC	
- Ammonium	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
- Nitrat	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
- Stickstoff	
- Arsen	As
- Chlorid	Cl <sup>-</sup>
- Cyanid	CN <sup>-</sup>
- Phosphat	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
- Sulfat	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
- Sulfid	S <sup>2-</sup>
- Anorganische Salze und Säuren	
- Aluminium	Al
- Barium	Ba
- Blei	Pb
- Chrom	Cr
- Eisen	Fe
- Kupfer	Cu

(Tabelle: 2 aus BUWAL, SRU 250, 1998)

### 2.2.2 Vorgehensweise

Das in 2.1.5 ausgewiesene Bilanzgebiet besteht im Wesentlichen aus zwei Modulen, welche Input-Output Beziehungen beinhalten. Es sind die Produktion von Glas einschließlich der weiteren Verarbeitung und der Transport von Rohstoffen sowie von Recycling-Glas und von (halb-) fertigen Erzeugnissen im Anschluss an den Produktionsprozess.

Bei der Glasproduktion insgesamt wird der Energieverbrauch des Transport bereits mit den energetisch verwerteten Ressourcen berücksichtigt. Die Inputs sind somit die Ressourcen, die rohstofflich verwendet werden und die Ressourcen, die energetisch sowohl für den Produktionsprozess selbst, als auch für die Bereitstellung der Rohstoffe aufgewendet werden. Outputs sind die (Co-) Produkte und Schadstoffe. Das Modul des Transport enthält sowohl Rückführung des Altglas, als auch die Bereitstellung der Rohstoffe und den Transport fertiger Erzeugnisse innerhalb der Produktion (sichtbar am Aufwand an elektrischer Energie). In diesem Zusammenhang ist darauf zu achten, dass bei der Betrachtung der beiden Module die energetische Verwertung der Ressourcen für den Transport nicht doppelt berücksichtigt wird. Somit ist das Transportmodul ein von den Daten her organisatorisch ausgegliederter Teil der Glasproduktion insgesamt. Damit ist der Produktionsprozess + Verarbeitung = Glasproduktion insgesamt – Transport. Der Input des Transportmoduls sind Ressourcen zur energetischen Verwendung und der Output sind Schadstoffe.

Die Module selbst werden in die drei verschiedenen Glassorten untergliedert (Weißglas, Grünglas, Braunglas), da sich die Sorten in den einzelnen Modulen insbesondere wegen des abweichenden Altglasanteils unterscheiden. Somit sind auch die Aufwendungen für den Transport von Altglas und der Einsatz von insbesondere rohstofflich verwerteten Ressourcen unterschiedlich.

Sowohl der Transport, als auch der Produktionsprozess und die Verarbeitung verursachen Schadstoffe, welche einen eigenen Teil des Inventars neben den erstgenannten ausmachen. Die Schadstoffe mit der Untergliederung in Luft- und Wasserschadstoffe sind ebenfalls für die drei verschiedenen Glassorten dargestellt.

Eine Einteilung nach Modulen und ihre Untergliederung in Glassorten im Inventar vereinfacht einen direkten Vergleich der verschiedenen Glassorten in den einzelnen Bereichen des Bilanzgebietes.

### **2.2.2.1 Definition**

Glasproduktion insgesamt - umfasst das Modul der Glasproduktion und das Transportmodul.

Glasproduktion – umfasst den Produktionsprozess und die Verarbeitung.

Produktionsprozess (Prozess) – ist die Herstellung von Glas im Hochofen.

Transport – umfasst alle Transporte im Bilanzgebiet.

### **2.2.3 Kritische Betrachtung der Inventardaten**

Bei der Inventarisierung und Interpretation des vorhandenen Datenmaterials sind folgende Datenlücken zu berücksichtigen:

- Die Daten beruhen auf einem bestimmten Produktionsprozess. Viele andere zur Glasproduktion möglichen Produktionsprozesse, welche andere Stoffbilanzen zur Grundlage haben, werden nicht berücksichtigt.
- Es wurden effektive Altglasanteile für bestimmte Glassorten zu Grunde gelegt, die in der Realität gewissen Schwankungen unterliegt.
- Ebenso kann die Rate des Recycling schwanken. Auch hier wurde den Daten ein bestimmter Wert zu Grunde gelegt.
- Nicht zu vergessen sind Datenlücken, die durch falsche Angaben auftreten.
- Im- und Exporte von Verpackungsgas sind nicht exakt feststellbar und daraus resultieren weitere Ungenauigkeiten.
- Eine genaue Einordnung des Datenmaterials in der Quelle BUWAL 250 von 1998 ist nicht vorgenommen worden. Es wurde z.B. nicht genau eingegrenzt, worauf sich der Energieverbrauch im Bereich Transport bezieht. Nur aus der aufgeführten elektrischen Energie konnte abgeleitet werden, dass im Modul des Transport auch Bereiche der Produktion enthalten sind.

### **2.2.4 Glasproduktion insgesamt**

Die Daten sind bezogen auf 1000 kg Verpackungsglas. Sie stellen die unterschiedlichen Ressourcen und Einsatzmaterialien der drei Glasarten, Weiß-, Grün- und Braunglas, dar. Sie beinhalten die zu verwendenden Rohstoffe der Glasproduktion insgesamt. Daneben ist für die einzelnen Glassorten der Energieverbrauch für 1000 kg Verpackungsglas dargestellt. Die Tabelle beinhaltet für die einzelnen Endenergieposten die dazugehörigen Prozessendenergieposten (Menge in kg, kWh und m<sup>3</sup> sowie in MJ).

### *Weißglas*

#### Ressourcen:

Rohbraunkohle	kg	13
Rohgas(Erdgas)	m <sup>3</sup>	14,5
Rohsteinkohle	kg	49,1
Rohöl ab Bohrloch	kg	183
Uran ab Erz	g	4,83
Holz	kg	0,115
Pot. Energie Wasser	MJ	594
Altglasscherben	kg	625
Calumite	kg	6,5
Dolomit	kg	80,5
Eisenerz	kg	0,00492
Feldspat	kg	35,5
Kalkstein	kg	110
Quarzsand	kg	253
SO <sub>2</sub> sekundär	kg	1,01
Sand	kg	0,00224
Steinsalz	kg	108
Einsatzmaterialien der Endstufe:		
Altglas	kg	601
Ammoniak	kg	0,3
Calumite	kg	6,5
Dolomit	kg	72,5
Kalkstein	kg	27
Natriumsulfat	kg	3,2
Natronlauge 50%	kg	21,4
Quarzsand	kg	253
Soda	kg	62,8
Feldspat	kg	31,1

(Tabelle: 3, vergleiche BUWAL, SRU 250, 1998, S. 102)

Der effektive Altglasanteil bei Weissglas betrug 1994 55%.

Energieverbrauch für die Herstellung von 1000 kg weissem Verpackungsglas

Endenergieträger	Prozessendenergie	
	Menge	[MJ]
Elektrizität	308,5 kWh	1110
Diesel	0,8 kg	30
Erdgas	3,5 m <sup>3</sup>	140
Heizöl EL	2,2 kg	100
Heizöl S	144 kg	6090
Kohle	21,7 kg	660
Propan	8,6 kg	430
Total		8560

(Tabelle: 4, vergl. BUWAL, SRU 250, 1998, S. 109)

### *Braunglas*

Ressourcen:

Rohbraunkohle	kg	12,7
Rohgas(Erdgas)	m <sup>3</sup>	13,9
Rohsteinkohle	kg	43,7
Rohöl ab Bohrloch	kg	188
Uran ab Erz	g	4,96
Holz	kg	0,126
Pot. Energie Wasser	MJ	614
Altglasscherben	kg	681
Calumite	kg	5,6
Dolomit	kg	69,2
Eisenerz	kg	0,0042
Kalkstein	kg	92,3
Portafer	kg	0,95
Prozesswasser	m <sup>3</sup>	0,0013
Quarzzand	kg	219
SO <sub>2</sub> sekundär	kg	0,158
Sand	kg	0,0019

Spodumen	kg	31,1
Steinsalz	kg	89,1
Einsatzmaterialien der Endstufe:		
Altglas	kg	655
Ammoniak	kg	0,3
Calumite	kg	5,6
Dolomit	kg	62,3
Kalkstein	kg	23,1
Natriumsulfat	kg	0,5
Natronlauge 50%	kg	18,4
Quarzsand	kg	219
Soda	kg	52,2
Portachrom	kg	0,95
Koks	kg	0,27
Spodumen	kg	31,1

(Tabelle: 5, vergl. BUWAL, SRU 250, 1998, S.98)

Der effektive Altglasanteil bei Braunglas betrug 1994 61%.

Energieverbrauch für die Herstellung von 1000 kg braunem Verpackungsglas

Endenergieträger	Prozessendenergie	
	Menge	[MJ]
Elektrizität	318 kWh	1140
Diesel	0,8 kg	30
Erdgas	2,7 m <sup>3</sup>	110
Heizöl EL	1,9 kg	90
Heizöl S	149 kg	6300
Kohle	18,4 kg	560
Propan	8,6 kg	430
Total		8660

(Tabelle: 6, vergl. BUWAL, SRU 250, 1998, S. 108)



### Grünlas

#### Ressourcen:

Rohbraunkohle	kg	8,33
Rohgas(Erdgas)	m <sup>3</sup>	24,6
Rohsteinkohle	kg	12,1
Rohöl ab Bohrloch	kg	168
Uran ab Erz	g	3,93
Holz	kg	0,0957
Pot. Energie Wasser	MJ	497
Altglasscherben	kg	1050
Kalkstein	kg	5,36
Portafer	kg	0,67
Prozesswasser	m <sup>3</sup>	0,06
Steinsalz	kg	6,71
Einsatzmaterialien der Endstufe:		
Altglas	kg	1010
Soda	kg	0,3
Portachrom	kg	0,67

(Tabelle: 7, vergl. BUWAL, SRU 250, 1998, S. 100)

Der effektive Altglasanteil bei Grünlas lag 1994 bei 99%.

#### Energieverbrauch für die Herstellung von 1000 kg grünem Verpackungsglas

Endenergieträger	Prozessendenergie	
	Menge	[MJ]
Elektrizität	248,5 kWh	890
Diesel	0,8 kg	30
Erdgas	13,7 m <sup>3</sup>	550
Heizöl S	142,4 kg	6020
Kohle	1,4 kg	40
Propan	1,8 kg	90
Total		7620

(Tabelle: 8, vergl. BUWAL, SRU 250, 1998, S. 108 f.)

### 2.2.5 Transport von Glas

Der Transport von Glas umfasst sowohl den Transport der Rohstoffe, als auch den Rücktransport von Recycling-Glas und Produktionsinternen Transport. Nicht berücksichtigt sind Transporte vom Konsumenten zur Sammelstelle. Für die Inventardaten wurden für die Rohstoffbeschaffung folgende Auslastungen zu Grunde gelegt:

- LKW 50%
- Binnenschiff 70%
- Eisenbahn 45%

Die Auslastungen bezeichnen jenen Energieaufwand, welcher bei dem Transport der Rohstoffe selbst anfällt, ohne die Leerfahrten. Außerdem kommen bei der Berechnung der Auslastung auch andere Wirkungsgrade und die Bestückung der Transportmittel zum Tragen. Der Energiemehraufwand der anderen Faktoren (z.B. Leerfahrten) muss berücksichtigt werden.

Für den Transport des Recycling-Materials ergeben sich andere Auslastungen:

- LKW 30%
- Eisenbahn 50%

Eine weitere Berechnungsgrundlage sind die durchschnittlichen Transportdistanzen. Für die Rohstoffbeschaffung und den Transport von Recyclingglas gibt folgende Tabelle eine Übersicht:

<b>Material</b>	<b>LKW [km]</b>	<b>Eisenbahn [km]</b>	<b>Binnenschiff [km]</b>
Quarzsand	-	80	980
Feldspat	-	550	-
Dolomit	-	350	-
Kalkstein	110	-	-
Natriumsulfat	200	-	-
Soda	-	300	-
Natronlauge	20	-	-
Ammoniak	150	-	-
Kleinkomponenten	100	200	-
Recyclingglas	20	120	-

(Tabelle: 9, vergl. BUWAL, SRU 250, 1998, S. 96)

Die Transportdistanzen sind zusammen mit den Auslastungen eindeutig für die Erschließung und die Bewertung der Inventardaten.

Die Für den Transport notwendige Energie wird überwiegend durch fossile Energieträger bereitgestellt.

#### *Weißglas*

Für 1000 kg Weißglas werden beim Transport 34,8 Kg Diesel aufgewendet, was einer Energiemenge von 200 MJ entspricht. Außerdem werden 1110,6 kWh elektrischer Energie für den Transport vor und während der Produktion (nicht: Produktionsprozess) benötigt.

#### *Braunglas*

Für 1000 kg Braunglas werden beim Transport 4,2 Kg Diesel aufgewendet, was einer Energiemenge von 190 MJ entspricht. Außerdem werden 8,2 kWh elektrischer Energie für den Transport vor und während der Produktion benötigt.

#### *Grünglas*

Für 1000 kg Braunglas werden beim Transport 2,3 Kg Diesel aufgewendet, was einer Energiemenge von 100 MJ entspricht. Außerdem werden 7,1 kWh elektrischer Energie für den Transport vor und während der Produktion benötigt.

Quelle: BUWAL, SRU 250, 1998, S. 95-96, S.108-109)

## 2.2.6 Schadstoffemissionen

Folgende Tabellen beinhalten die Schadstoffe, die für die Produktion der einzelnen Glassorten Entstehen, unterteilt in Luft- und Wasserschadstoffen.

*Weißglas*

Ökoinventar für 1000kg weißes Verpackungsglas

<b>Luftschadstoffe</b>	<b>Total*(alle Werte in g)</b>
Staub/Partikel	1300
Benzol(C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	1,94
PAH	0,0045
Aromatische KW	3,83
Halon H1301	0,0453
Halogenierte KW	0,0001
Methan(CH <sub>4</sub> )	781
NMVOC Nicht-Methan KW	1640
Kohlendioxid fossil(CO <sub>2</sub> )	748000
Kohlenmonoxid(CO)	787
Ammoniak(NH <sub>3</sub> )	38,2
Flussäure(HF)	15,8
Lachgas(N <sub>2</sub> O)	2,04
Salzsäure(HCl)	67,9
Schwefeloxide als SO <sub>2</sub>	2690
Stickoxide als NO <sub>2</sub>	2310
Blei(Pb)	44,6
Cadmium(Cd)	0,0103
Mangan(Mn)	0,0039
Nickel(Ni)	0,41
Quecksilber(Hg)	0,0019
Zink(Zn)	0,222
Metalle	4,23

(Tabelle: 10, vergl. BUWAL, SRU 250, 1998, S. 103)

\*Der Totalwert beinhaltet die Luftschadstoffe aus dem Prozeß, dem Transport und einigen Nebenposten ( therm. Energie, elektr. Energie)

<b>Wasserschadstoffe</b>	<b>Total*(alle Werte in g)</b>
Abwassermenge in m <sup>3</sup>	1,68
BOD	0,475
COD	9,64
AOX als Cl <sup>-</sup>	0,0318
Suspendierte Stoffe	5030
Phenole	1,3
Toluol(C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )	1,08
PAH	0,119
Aromatische KW	7,75
Chlorierte KW	0,008
Fette/Öle	283
DOC	0,0294
TOC	74
Ammonium(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	29,3
Nitrat(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	6,26
Stickstoff	9,92
Arsen(As)	0,046
Chlorid(Cl <sup>-</sup> )	63900
Cyanid(CN <sup>-</sup> )	0,0352
Phosphat(PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	1,22
Sulfat(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	627
Sulfid(S <sup>2-</sup> )	0,279
Anorg. Salze und Säuren	39500
Aluminium(Al)	20,3
Barium(Ba)	24,3
Blei(Pb)	0,184
Cadmium(Cd)	0,0111
Chrom(Cr)	0,27
Eisen(Fe)	23,6
Kupfer(Cu)	0,111
Nickel(Ni)	0,122
Quecksilber(Hg)	0,0001
Zink(Zn)	0,276
Metalle	59,3

(Tabelle: 11, vergl. BUWAL, SRU 250, 1998, S. 103)

\*Der Totalwert beinhaltet die Luftschadstoffe aus dem Prozeß, dem Transport und einigen Nebenposten ( therm. Energie, elektr. Energie)

## Braunglas

Ökoinventar für 1000kg braunes Verpackungsglas

<b>Luftschadstoffe</b>	<b>Total*(alle Werte in g)</b>
Staub/Partikel	1100
Benzol(C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	1,99
PAH	0,0045
Aromatische KW	3,93
Halon H1301	0,0447
Halogenierte KW	0,0001
Methan(CH <sub>4</sub> )	805
NMVOC Nicht-Methan KW	1650
Kohlendioxid fossil(CO <sub>2</sub> )	763000
Kohlenmonoxid(CO)	741
Ammoniak(NH <sub>3</sub> )	33,4
Flussäure(HF)	15,8
Lachgas(N <sub>2</sub> O)	2,03
Salzsäure(HCl)	87,9
Schwefeloxide als SO <sub>2</sub>	1860
Stickoxide als NO <sub>2</sub>	2290
Blei(Pb)	11,9
Cadmium(Cd)	0,0104
Mangan(Mn)	0,004
Nickel(Ni)	0,417
Quecksilber(Hg)	0,0019
Zink(Zn)	0,219
Metalle	4,3

(Tabelle: 12, vergl. BUWAL, SRU 250, 1998, S. 99)

\*Der Totalwert beinhaltet die Luftschadstoffe aus dem Prozeß, dem Transport und einigen Nebenposten ( therm. Energie, elektr. Energie)

<b>Wasserschadstoffe</b>	<b>Total*(alle Werte in g)</b>
Abwassermenge in m <sup>3</sup>	1,68
BOD	0,48
COD	9,78
AOX als Cl <sup>-</sup>	0,0326
Suspendierte Stoffe	4280
Phenole	1,33
Toluol(C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )	1,11
PAH	0,122
Aromatische KW	7,97
Chlorierte KW	0,0082
Fette/Öle	290
DOC	0,026
TOC	75,7
Ammonium(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	26,4
Nitrat(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	6,43
Stickstoff	10,1
Arsen(As)	0,0491
Chlorid(Cl <sup>-</sup> )	54100
Cyanid(CN <sup>-</sup> )	0,0362
Phosphat(PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	1,31
Sulfat(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	632
Sulfid(S <sup>2-</sup> )	0,287
Anorg. Salze und Säuren	33500
Aluminium(Al)	21,8
Barium(Ba)	25,1
Blei(Pb)	0,194
Cadmium(Cd)	0,0115
Chrom(Cr)	0,286
Eisen(Fe)	24,3
Kupfer(Cu)	0,119
Nickel(Ni)	0,13
Quecksilber(Hg)	0,0001
Zink(Zn)	0,293
Metalle	60,8

(Tabelle: 13, vergl. BUWAL, SRU 250, 1998, S. 99)

\*Der Totalwert beinhaltet die Luftschadstoffe aus dem Prozeß, dem Transport und einigen Nebenposten ( therm. Energie, elektr. Energie)

## Grünglas

Ökoinventar für 1000kg grünem Verpackungsglas

<b>Luftschadstoffe</b>	<b>Total*(alle Werte in g)</b>
Staub/Partikel	708
Benzol(C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	1,79
PAH	0,0041
Aromatische KW	3,45
Halon H1301	0,04
Halogenierte KW	0,0001
Methan(CH <sub>4</sub> )	779
NMVOC Nicht-Methan KW	1370
Kohlendioxid fossil(CO <sub>2</sub> )	579000
Kohlenmonoxid(CO)	267
Ammoniak(NH <sub>3</sub> )	2,61
Flussäure(HF)	23,4
Lachgas(N <sub>2</sub> O)	1,68
Salzsäure(HCl)	58,6
Schwefeloxide als SO <sub>2</sub>	744
Stickoxide als NO <sub>2</sub>	3030
Blei(Pb)	35,5
Cadmium(Cd)	0,0091
Mangan(Mn)	0,0032
Nickel(Ni)	0,367
Quecksilber(Hg)	0,0023
Zink(Zn)	0,158
Metalle	3,59

(Tabelle: 14, vergl. BUWAL, SRU 250, 1998, S. 101)

\*Der Totalwert beinhaltet die Luftschadstoffe aus dem Prozeß, dem Transport und einigen Nebenposten ( therm. Energie, elektr. Energie)



<b>Wasserschadstoffe</b>	<b>Total*(alle Werte in g)</b>
Abwassermenge in m <sup>3</sup>	1,2
BOD	0,386
COD	7,78
AOX als Cl <sup>-</sup>	0,0292
Suspendierte Stoffe	804
Phenole	1,2
Toluol(C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )	0,995
PAH	0,109
Aromatische KW	7,16
Chlorierte KW	0,0076
Fette/Öle	363
DOC	0,24
TOC	81,9
Ammonium(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	10,6
Nitrat(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	5,73
Stickstoff	8,6
Arsen(As)	0,0389
Chlorid(Cl <sup>-</sup> )	8480
Cyanid(CN <sup>-</sup> )	0,0325
Phosphat(PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	1,02
Sulfat(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	492
Sulfid(S <sup>2-</sup> )	0,257
Anorg. Salze und Säuren	5710
Aluminium(Al)	16,9
Barium(Ba)	22,3
Blei(Pb)	0,155
Cadmium(Cd)	0,0101
Chrom(Cr)	0,232
Eisen(Fe)	19,6
Kupfer(Cu)	0,0939
Nickel(Ni)	0,104
Quecksilber(Hg)	0,0002
Zink(Zn)	0,237
Metalle	53,2

(Tabelle: 15, vergl. BUWAL, SRU 250, S. 101)

\*Der Totalwert beinhaltet die Luftschadstoffe aus dem Prozeß, dem Transport und einigen Nebenposten ( therm. Energie, elektr. Energie)

### **2.2.7 Ergänzungen zum absoluten Stoffkreislauf für die Schweiz**

Bisher wurden die Stoffströme im Bilanzraum nur für die Bezugsgröße von 1000 kg Glas betrachtet. Es wurden dabei jedoch keine absoluten Zahlen des Stoffkreislaufes für Verpackungsglas berücksichtigt. Dabei ermöglichen die absoluten Zahlen für Glas z.B. auch eine Erfassung des gesamten Schadstoffaufkommens, indem die absolute Produktionsgröße mit dem relativen Schadstoffaufkommen multipliziert wird. Darüber hinaus tritt ein kontinuierlicher Verlust an Verpackungsglas auf, da das Verbrauchte Material nicht zu 100% gesammelt wird (Sammelrate). Eine relative Zuordnung zu 1000 kg Verpackungsglas ist dabei wenig sinnvoll und daher ist auch dieser Wert nur absolut vorhanden.

In der folgenden Tabelle sind die absoluten Produktionsgrößen von 1994 jedoch nicht nach den verschiedenen Glassorten getrennt dargestellt und damit ist die Herleitung für absolute Schadstoffmengen aus den Daten nur bei sehr geringen Abweichungen zwischen den verschiedenen Sorten möglich.

Produktion CH	181000 t
Import	147000 t
Export	39000 t
Endverbrauch	288000 t
Sammelrate	84 %
Recyclingrate	79 %

(Tabelle: 16, Quelle: BUWAL, SRU 250, 1998, S.93)

## **2.3 Bewertung**

### **2.3.1 Bewertung des Aufwands an Ressourcen**

Die Schadstoffe bedingt durch die Glasproduktion inklusive Transport sind nur ein Bereich der Auswirkungen an den Grenzen des Bilanzraumes. Fast ebenso wichtig ist der Verbrauch von Ressourcen, sei er bedingt durch einen direkten Einsatz in den Prozess, oder durch die Erzeugung von Energie. Die Bewertung bezieht sich dennoch hauptsächlich auf den Schadstoffeintrag aus der Produktion von Verpackungsglas.

### 2.3.1.1 Energieverbrauch

Der Gesamtenergieverbrauch für verschiedene Glassorten:

- Weißes Verpackungsglas (1000 kg) 12730 MJ
- Braunes Verpackungsglas (1000 kg) 12920 MJ
- Grünes Verpackungsglas (1000 kg) 11170 MJ

(Quelle: BUWAL 250, 1998, S.109)

Die Herstellung von grünem Verpackungsglas benötigt am wenigsten Energie, die von braunem Glas am meisten. Die Ursachen sind sowohl die niedrigere Prozessenergie, als auch die geringere Transportenergie. Der Grund hierfür ist wiederum der hohe Anteil von Altglas bei grünem Verpackungsglas.

Der direkte Vergleich zwischen dem grünen und dem braunen (höchster Endenergieaufwand) Verpackungsglas stellt sich bezüglich der Ressourcen (ohne Elektrizität und ohne Bereitstellungsenergie) folgendermaßen dar:

Energieträger	Grünlas	Braunglas	Differenz
Diesel	3,1 kg	5 kg	1,9 kg
Erdgas	13,7 m <sup>3</sup>	2,7 m <sup>3</sup>	- 11 m <sup>3</sup>
Heizöl (EL,S)	143,8 kg	150,9 kg	7,1 kg
Kohle	1,4 kg	18,4 kg	17 kg
Propan	1,8 kg	8,6 kg	6,8 kg

(Tabelle: 17, Bezugsgröße: 1000 kg Verpackungsglas; eigene Berechnungen nach BUWAL 250, 1998, S.108)

Die positive Differenz zeigt die Ressourcenschonung bei der Herstellung (im Wesentlichen ist hier der Herstellungsprozess in der Berechnung vertreten) von Grünlas gegenüber der Herstellung von braunem Verpackungsglas.

### 2.3.1.2 Rohstoffverbrauch

Bei der Bewertung des Rohstoffverbrauches von den verschiedenen Glassorten sind gerade jene Stoffe von Bedeutung, die in relativ großen Mengen eingesetzt werden und dadurch nicht nur hohe Transportaufwendungen verursachen, sondern auch großräumig abgebaut werden. In der Auswahl enthalten sind: Steinsalz, Quarzsand, Kalkstein, Dolomit, Soda, Feldspat und

Natronlauge. Vergleicht man Grünglas (niedrigster Rohstoffeinsatz) mit Weißglas (höchster Rohstoffeinsatz) einschließlich der Einsatzmaterialien in der Endstufe, erhält man folgende Differenzen für die Herstellung von 1000 kg Verpackungsglas:

<b>Rohstoff</b>	<b>Grünglas</b>	<b>Weißglas</b>	<b>Differenz</b>
Steinsalz	6,71 kg	108 kg	101,29 kg
Quarzsand	-	506 kg	506 kg
Kalkstein	5,36 kg	137 kg	131,64 kg
Dolomit	-	153 kg	153 kg
Soda	0,3 kg	62,8 kg	62,5 kg
Feldspat	-	66,6 kg	66,6 kg
Natronlauge	-	21,4 kg	21,4 kg

(Tabelle: 18, Bezugsgröße 1000 kg Verpackungsglas, eigene Berechnungen nach BUWAL 250, 1998, S.106)

Die positive Differenz zeigt die Rohstoffliche Ersparnis bei der Produktion von Grünglas im Vergleich mit der schlechtesten Alternative. Der Grund für die Einsparungen ist der hohe Altglasanteil bei grünem Verpackungsglas.

### **2.3.1.3 Zusammenfassung**

Sowohl beim Energieverbrauch, als auch bei dem Rohstoffverbrauch stellt sich grünes Verpackungsglas als die beste Alternative heraus. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass ein hoher Anteil an Altglas enthalten ist, welcher seinerseits bereits einen Aufwand an Energie und an Rohstoffen verursacht hat. Jenseits der von den Ressourcen her relativ günstigen Herstellung von 1000 kg Grünglas und außerhalb des Bilanzraumes können jedoch weitere verdeckte Aufwendungen existieren. So entscheidet die Qualität des Glases auch über die Wandstärke der Glasverpackungen und damit über die Menge des Inhaltes im Verhältnis zum Verpackungsgewicht.

Weißglas ist im Verhältnis zu Braunglas energetisch günstiger, während der Sachverhalt bei der rohstofflichen Betrachtung genau umgekehrt ist. Eine qualitative Abstufung bei diesen beiden Glassorten in bezug auf ihre Vorteilhaftigkeit ist aufgrund über das Bilanzgebiet hinausgehender Informationen nicht möglich.

### 2.3.2 Bewertung der Schadstoffemissionen

Ein wichtiger Teil einer vollständigen Ökobilanz ist die Bewertung. Sie hat die Aufgabe, die Umweltschädlichkeit der einzelnen Umwelteinwirkungen darzustellen und zu beurteilen. Dabei gibt es allerdings „verschiedene Methoden, die sich hinsichtlich Praktikabilität, Bewertungsbasis und Transparenz unterscheiden“ (BUWAL 250 Bd.1, 1995, S.12). Weiterhin hat die Bewertung laut BUWAL nach einer anerkannten Bewertungsmethode zu erfolgen. Das Umweltbundesamt [UBA] hat zur Klassifizierung negativer Umweltwirkungen verschiedene Kategorien zur Einordnung ebendieser Umweltwirkungen aufgestellt. Sinngemäß sind das:

- Treibhauseffekt
- Stratosphärischer Ozonabbau
- Photochemische Oxidantienbildung
- Eutrophierung und Sauerstoffzehrung
- Versauerung
- Gesundheitsschäden und gesundheitliche Beeinträchtigung des Menschen
- Schädigung und Beeinträchtigung von Ökosystemen
- Belästigung durch Geruch, Lärm, Licht
- Strahlung
- Ressourcenbeanspruchung
- Flächennutzungen
- Allgemeine Risiken (z.B. Transportunfälle, Störfälle)

(Quelle: <http://www.gerolsteiner.com/company/download/kobila.pdf>; 21.07.2003, nach: Paulini, I., Arbeiten des Umweltbundesamtes zur Methodik der Wirkungsabschätzung, FGUSEminar “Produktbezogene Ökobilanzen IV”, Berlin, 1996)

Die Herstellung von Behälterglas ist ein sehr rohstoff- und energieintensiver Prozess. Im Folgenden soll auf mögliche Umwelteinwirkungen, resultierend aus der Verwendung bestimmter Rohstoffe, eingegangen werden. Auf die detaillierte Darstellung der Energieverbräuche soll an dieser Stelle aus Übersichtlichkeitsgründen verzichtet werden.

### 2.3.2.1 Eingetragene Stoffe mit problematischer Umweltverträglichkeit

Die größten Probleme aus Sicht der Umwelt entstehen bei der Herstellung von Glas durch den sehr hohen Energieverbrauch und Emissionen in die Luft. Da der Prozess, insbesondere das Schmelzen, unter sehr hohen Temperaturen abläuft, entsteht eine Reihe von Luftschadstoffen. Zum einen durch Hochtemperaturoxidation des in der Umgebungsluft enthaltenen Stickstoffs klimawirksame Stickstoffoxide zum anderen entstehen Kohlendioxid und Schwefeldioxid.

#### Luftschadstoffe

##### *Weißglas*

Nach BUWAL werden bei der Herstellung weissen Glases pro 1000 kg Glas 1,3 kg Staub und Partikel freigesetzt. Aber besonders durch die freigesetzten klimawirksamen Stoffe wird die Atmosphäre angegriffen. Aromatische Kohlenwasserstoffe treten in einem Umfang von 3,83 g pro 1000 kg Glas auf. Vom Klimagas Methan werden 781 g emittiert und an NMVOC (Non-Methane Volatile Organic Compounds) werden 1,7 kg ausgestoßen. Den größten Posten nehmen allerdings Kohlenstoffverbindungen ein: CO<sub>2</sub> schlägt mit 748 kg und CO mit 0,787 kg zu Buche. Die Klimagase SO<sub>x</sub> und NO<sub>x</sub> treten in Höhe von 2,69 kg bzw. 2,31 kg auf. Des weiteren werden auch Ammoniak (38,2 g), Salzsäure (67,9 g) und die stark ätzende Flusssäure (15,8 g) freigesetzt. Weiterhin treten radioaktive Substanzen in Höhe von 403 MBq (Megabequerel) auf. Die Verschmutzung der Luft durch Schwermetalle wird im Wesentlichen durch die Emission von Blei (44,6 g) hervorgerufen.

##### *Braunglas*

Bei der Herstellung von Braunglas stellen sich die Emissionen ähnlich dar, sie sind nur teilweise etwas geringer. An Staub und Partikeln werden 1,1 kg freigesetzt, an aromatischen Kohlenwasserstoffen hingegen 3,93 g. CH<sub>4</sub> und NMVOC werden zu 0,805 kg bzw. 1,61 kg ausgestoßen. Auch hier nimmt CO<sub>2</sub> wieder den größten Posten ein, 763 kg CO<sub>2</sub> und 0,741 kg CO werden bei der Herstellung emittiert. Ammoniak, Salzsäure und Flusssäure werden zu 33,4 g, 87,9 g und 15,8 g freigesetzt. Die Treibhausgase SO<sub>2</sub> und NO<sub>2</sub> kommen mit 1,86 kg und 2,29 kg aus dem Prozeß. Bei der Braunglasherstellung tritt im Produktionsverlauf eine etwas geringere Bleibelastung der Luft auf, sie liegt bei 11,9 g. Dafür ist die radioaktive Belastung mit 417000 kBq höher.

### *Grünglas*

Die Herstellung von Grünglas belastet die Luft am wenigsten mit Schadstoffen. Hier werden lediglich 708 g an Staub und Partikeln emittiert, also nur gut die Hälfte von der Weißglasherstellung. Allerdings finden sich auch hier aromatische Kohlenwasserstoffe in den Abgasen zu 3,45 g. Trotzdem scheint die Produktion von Grünglas umweltfreundlicher zu sein als Weiß- oder Braunglas, denn viele klimawirksame Emissionen liegen unter denen der anderen Prozesse. So werden von Methan bzw. Nicht-Methan Kohlenwasserstoffen 0,779 kg bzw. 1,37 kg in die Atmosphäre geleitet. Die Kohlenstoffbelastung ist trotzdem noch sehr hoch, sie liegt bei 579 kg (CO<sub>2</sub>) und 0,267 kg (CO). Die Ammoniakbelastung liegt gegenüber den anderen Prozessen weitaus niedriger, hier werden nur 2,61 g emittiert. Salz- und Flusssäure entstehen zu 58,6 g und 23,4 g. Klimawirksames SO<sub>2</sub> und NO<sub>2</sub> werden mit 744 g bzw. 3,03 kg freigesetzt. Die Bleibelastung der Luft durch Herstellung von Grünglas liegt mit 35,5 g jedoch recht hoch. Die radioaktive Belastung durch die Herstellung wird mit 341000 kBq angegeben.

### **Wasserschadstoffe**

#### *Weißglas*

Die insgesamt anfallende Abwassermenge bei der Herstellung von 1000 kg Weißglas beträgt 1,68 m<sup>3</sup>. Sie enthält 5,03 kg suspendierte Stoffe. Die Glasherstellung ist also kein besonders wasserintensiver Prozess. Gleichwohl entsteht natürlich schadstoffbelastetes Abwasser. So werden z.B. aromatische Kohlenwasserstoffe (7,75 g) und Fette und Öle (283 g) emittiert. Die gesamte Stickstoffbelastung wird mit 9,92 g angegeben, davon kommen 29,3 g aus Ammoniumionen und 6,26 g aus Nitraten. Den größten Posten der wasserbelastenden Schadstoffe nehmen Chloridionen ein, es entstehen 63,9 kg. Ein weiteres Schadstoffion sind die Sulfate, von ihnen werden 627 g emittiert. Insgesamt entstehen 39,5 kg anorganischer Salze und Säuren. Metalle werden mit 59,3 g ins Abwasser eingetragen, es handelt sich hierbei überwiegend um Aluminium, Barium und Eisen. Radioaktive Substanzen sind mit 3720 kBq enthalten.

#### *Braunglas*

Bei der Braunglasherstellung entsteht die gleiche Abwassermenge wie bei der Weißglasherstellung, jedoch beträgt die Menge suspendierter Stoffe lediglich 4,28 kg. In den Abwässern finden sich weiterhin Fette und Öle mit 290 g und aromatische Kohlenwasserstoffe mit 7,97 g. Die gesamte ins Abwasser eingetragene Menge Stickstoff

beträgt 10,1 g, bestehend aus Nitraten (6,43 g) und Ammoniumionen (26,4 g). Wie auch bei der Herstellung von Weißglas werden Chloridionen mit der größten Menge (54,1 kg) in das Abwasser eingetragen. An Sulfaten werden 632 g emittiert. Die insgesamt ausgestoßene Menge an anorganischen Salzen und Säuren beträgt bei der Braunglasherstellung 33,5 kg. Neben einigen Schwermetallen mit sehr geringen Konzentrationen, z.B. 0,0115 g Cadmium je 1000 kg hergestelltem Braunglas, werden hauptsächlich Aluminium (21,8 g), Barium (25,1 g) und Eisen (24,3 g) freigesetzt. Insgesamt entstehen 60,8 g an Metallen, die eine schädigende Wirkung auf das Wasser haben. Die Belastung durch radioaktive Substanzen wird mit 3850 kBq angegeben.

### *Grünglas*

Im Vergleich zu den anderen beiden Glasfarben entstehen bei der Herstellung von grünem Glas lediglich 1,2 m<sup>3</sup> Abwasser. Auch die Menge an suspendierten Stoffen liegt weiter unter den o.g. Mengen: 0,804 kg. Aber natürlich entsteht auch bei der Grünglasherstellung eine Reihe wasserbelastender Schadstoffe, so z.B. 7,16 g aromatischer Kohlenwasserstoffe und 363 g Fette und Öle. Der gesamte Stickstoffeintrag beträgt 8,6 g je 1000 kg Grünglas verursacht durch einen Eintrag von 10,6 g an Ammoniumionen und 5,73 g an Nitraten. Der größte Unterschied zu den anderen Glasfarben besteht aber in der Menge der emittierten Chloridionen. Hier sind laut BUWAL nur 8,48 kg zu verzeichnen, also nur etwa ein Siebtel der Menge der anderen Prozesse. Auch die eingetragene Sulfatmenge liegt unterhalb mit 492 g. Insgesamt werden 5,71 kg anorganischer Salze und Säuren freigesetzt. Wasserbelastungen durch Metalle liegen ebenfalls etwas niedriger (53,2 g), hier sind auch nur die Einträge von Aluminium (16,9 g), Barium (22,3 g) und Eisen (19,6 g) erwähnenswert. Die Menge radioaktiver Substanzen liegt bei 3140 kBq.

### **2.3.2.2 Bewertung der Umwelteinflüsse**

Im Folgenden sollen die o.g. Schadstoffeinträge den Kategorien der Umwelteinwirkungen nach UBA zugeordnet werden. (Dies ist allerdings nicht bei allen möglich, da die Datenlage diesbezüglich sehr schlecht ist. Weder BUWAL noch Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie liefern Informationen darüber, so dass man hier auf Sekundärquellen wie bereits abgeschlossene Ökobilanzen angewiesen ist.)



### **Treibhauspotential**

Nach IPCC werden Schadstoffe, die sich auf die Temperatur der Erde auswirken, oder in Verdacht stehen, den Treibhauseffekt zu verstärken mit der Vergleichsgröße Global Warming Potential [GWP] angegeben, wobei 1 kg CO<sub>2</sub> ein GWP von 1 hat. Als weitere Stoffe sollen jetzt Methan und Lachgas zum gesamten GWP der Glasherstellung addiert werden. CH<sub>4</sub> besitzt ein CO<sub>2</sub>-Äquivalent von 21, N<sub>2</sub>O hat 310. Das gesamte GWP beträgt also 765,0334 kg CO<sub>2</sub> für Weißglas. Bei der Herstellung von braunem Glas entsteht ein GWP von 780,534 kg CO<sub>2</sub> und bei Grünlas 595,879 kg CO<sub>2</sub>.

### **Stratosphärischer Ozonabbau**

Als Maß für den stratosphärischen Ozonabbau, insbesondere durch Fluorkohlenwasserstoffe, gilt das Ozone Depletion Potential [ODP], das Ozonabbaupotential. Eine Berechnung im konkreten Fall der Glasherstellung kann auf Grund fehlender Berechnungsrichtlinien nicht erfolgen.

### **Photochemische Oxidantienbildung**

Photochemische Oxidantien sind für die Bildung von bodennahem Ozon (Sommersmog) verantwortlich. Hierzu zählen aus der BUWAL Statistik Methan, die nicht-Methan-haltigen flüchtigen organischen Verbindungen, Stickstoffdioxid und Benzol. Ähnlich wie beim Treibhauspotential lassen sich auch hier die Mengen mittels Äquivalenten umrechnen und anschließend aggregieren. Hier wird mit Ethenäquivalenten gerechnet, d.h. Methan hat 0,007, NMVOC haben 0,416 und Benzol hat 0,189 POCP<sub>j</sub>. Wenn man das POCP mit der Menge an NO<sub>x</sub> multipliziert und daraus die Wurzel zieht, bekommt man den Wert des stickstoffkorrigierten Ozonbildungspotentials [NCPOCP]. Mit den Zahlen aus dem BUWAL-Inventar bekommen wir ein NCPOCP von 1,260 kg für die Weißglasherstellung. Braunes Glas hat ein stickstoffkorrigiertes Ozonbildungspotential von 1,259 kg und Grünlas 1,32 kg.

### **Eutrophierung und Sauerstoffzehrung**

Um die übermäßige Zufuhr von Nährstoffen in Luft und Wasser adäquat darzustellen soll hier der Wert Nutrifcation Potential [NP] mit Hilfe von Phosphatäquivalenten (PO<sub>4</sub>)<sup>3-</sup> berechnet werden. Schadstoff aus der Glasherstellung mit Eutrophierungspotential in Luft ist NO<sub>2</sub>, in Wasser sind es der gesamte Stickstoffeintrag, der Chemische Sauerstoffbedarf [CSB bzw. COD], Ammoniumionen und Nitrate. Für 1000 kg Weißglas ergibt sich ein NP von 0,315 kg.

Braunglas hat ein Eutrophierungspotential in Wasser und Luft von 0,311 kg und Grünglas hat das höchste NP mit 0,402 kg.

### **Versauerung**

Durch die Emission säurebildender Abgase kann eine Versauerung von Gewässern und Böden eintreten. Mit Hilfe von SO<sub>2</sub>-Äquivalenten soll hier das Versauerungspotential oder Acidification Potential [AP] gezeigt werden. Bei Weißglas ergibt sich ein AP von 4,464 kg, bei Braunglas 3,628 kg und Grünglas hat den geringsten Wert mit 2,959 kg SO<sub>2</sub>.

### **Gesundheitsschäden und gesundheitliche Beeinträchtigung des Menschen (Humantoxizität)**

Trotz der sehr schwierigen Berechnung der Verbreitung und Aufnahme gesundheitsgefährdender Stoffe durch den Menschen soll hier der Versuch unternommen werden, mit Hilfe des Krebsrisikopotentials, Carcinogenic Risk Potential [CRP], mögliche Gesundheitsrisiken durch Luftschadstoffe darzustellen. Gleichwohl ist damit nicht die gesamte Palette der für den Menschen toxischer Stoffe abgedeckt, sofern das überhaupt über einen Kennwert möglich ist, darüber ist sich auch die Fachwelt noch nicht einig. Mit Hilfe des CRP, basierend auf der krebserregenden Wirkung von Arsen, lässt sich allerdings eine ungefähre Vorstellung davon erreichen, welche Stoffe in welchem Maße Krebs erregen können. Für die Herstellung von Glas fallen folgende Abgasemissionen in diese Kategorie: Benzol, Cadmium und Nickel. Für die Herstellung von 1000 kg Weißglas ergibt sich ein CRP von 30 mg Arsen, bei Braunglas liegt das Krebsrisiko etwas höher, es beträgt 70 mg Arsen. Bei der Herstellung von Grünglas entsteht das geringste Krebsrisiko mit 27 mg Arsen.

### **Schädigung und Beeinträchtigung von Ökosystemen**

Schadstoffe aus der Glasherstellung, die Ökosysteme toxisch schädigen sind z.B. Kohlenwasserstoffe, Chlorid, Adsorbable Organic Halogenes [AOX], NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, Ammonium, Ammoniak und Flusssäure. Allerdings hat das UBA in seiner „Ökobilanz Getränkeverpackungen II“, 1998, keine Auswertung dieser Schadstoffbelastungen vorgenommen, weshalb auch an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen werden soll.

### **Belästigung durch Geruch, Lärm, Licht**

Die Angaben des BUWAL sind in dieser Hinsicht nicht ausreichend, um an ihnen die Lärm- und Geruchsbelästigung durch Glasherstellung zu bilanzieren.

## **Strahlung**

„Für die Quantifizierung und Bewertung von Strahlung im Rahmen einer Ökobilanz sind derzeit noch keine brauchbaren Methodenvorschläge verfügbar.“  
(<http://www.gerolsteiner.com/company/download/kobila.pdf>; 21.07.2003)

## **Ressourcenbeanspruchung**

Die kumulierten Energieverbräuche [KEA] der Herstellung von Weiß-, Braun- und Grünglas sollen hier nicht noch einmal berechnet werden, da sie dem BUWAL bereits fertig berechnet entnommen werden können. Der gesamte Energieaufwand liegt für 1000 kg Weißglas bei 12730 MJ, für Braunglas bei 12920 MJ und für Grünglas bei 11170 MJ.

## **Flächennutzungen**

Auch darüber machen die Daten des BUWAL-Ökoinventars leider keine Angaben, so dass die Auswirkungen der Glasherstellung auf Naturräume und deren eventuelle Degradation durch die Produktion nicht berechnet werden kann.

## **Allgemeine Risiken**

Diese Risiken lassen sich noch nicht angemessen quantifizieren und berechnen. Es empfiehlt sich daher eine gesonderte Betrachtung der allgemeinen Risiken außerhalb der Ökobilanz.

### **2.3.2.3 Normierung und Gewichtung**

Im Rahmen einer Wirkungsbilanz muss jetzt eine Normierung der Wirkungsäquivalenzwerte erfolgen. Hierzu bezieht man die errechneten Werte auf z.B. die Einwohnerzahl Deutschlands, so dass ein spezifischer und damit vergleichbarer Wert entsteht. Anschließend kann eine Beurteilung der ökologischen Bedeutung erfolgen. Eine weitere Methode der Beurteilung ist die Messung des Abstandes („distance to target“), z.B. die Differenz zum CO<sub>2</sub> - Reduktionsziel der Bundesregierung. An dieser Stelle soll aber auf eine derartige Beurteilung verzichtet werden, da eine solide Datengrundlage nicht gegeben ist und eine Vermischung der Daten des BUWAL (Schweiz) mit Normierung auf deutsche Verhältnisse aus Gründen der dann fehlenden Realitätsnähe möglichst vermieden werden sollte.

## 2.4 Interpretation

An dieser Stelle soll ein Interpretation der durchgeführten Ökobilanz stehen, wobei dieses allerdings durch Unklarheiten über das Verfahren erschwert wird. „Die Durchführung der Interpretation wird in Fachkreisen noch diskutiert und ausgearbeitet.“ (BUWAL SRU 250, 1995, S.13). In Anbetracht der Tatsache, dass erst die Interpretation einer Ökobilanz zu ihrer Berechtigung als Entscheidungsgrundlage verhilft, sollen hier einige generelle Aspekte genannt werden.

So hat es den Anschein, als wenn die Herstellung von Grünglas am „umweltfreundlichsten“ ist, da sie relativ am wenigsten Umweltschadstoffe produziert und den höchsten Rezyklatanteil (bis zu 100%) besitzt. Allerdings macht die spezifische Umweltschädlichkeit der verschiedenen Emissionen hier eine Einschätzung sehr schwer. Auf jeden Fall liegt aber der Energieverbrauch niedriger als bei der Herstellung von Braun- oder Weißglas. Die sich nun stellende Frage der möglichen Prozessverbesserungen in punkto Senkung des Energie- und Rohstoffverbrauchs lässt sich eventuell durch Erhöhung der effektiven auf die maximalen Rezyklatanteile erzielen. Nach BUWAL SRU 250 liegen die maximalen Altglasanteile für Braunglas und Weißglas bei 70-80%. Besonders bei Weißglas mit einem derzeitigen Altglasanteil von 55% sind eventuell noch Verbesserungen durch eine Erhöhung möglich. Allerdings muss bei eventuellen Veränderungen des Rezyklatanteils aber darauf geachtet werden, dass nicht gleichzeitig die Effizienz des gesamten Prozesses verschlechtert wird, oder sogar noch mehr oder noch gefährlichere Schadstoffe ausgestoßen werden.

Insgesamt ist aus ökonomischen Gesichtspunkten bei der Herstellung von Behälterglas sicher nicht mehr viel an Prozessverbesserungen möglich, da es sich hierbei um einen ausgereiften Prozeß handelt, der in der Industrie seit mehr als einhundert Jahren durchgeführt wird. Aus ökologischer Sicht gibt es sicherlich noch einige Möglichkeiten den Prozeß umweltfreundlicher zu machen. Allerdings steht hier wieder der alte Widerspruch zwischen der Ökonomie und der Ökologie im Raum, den es abzuwägen gilt. Ein Kompromiss wäre es, wenn zur Herstellung benötigte Stoffe zum Einsatz kommen, die andere, schädlichere Stoffe substituieren können und deren Verwendung gleichzeitig auch unter ökonomischen Gesichtspunkten sinnvoll ist. So zum Beispiel die Einschränkung der Verwendung von Fluorwasserstoff als Läuterungsmittel, um die Schädlichkeit der Emissionen zu reduzieren.

Alles in allem ist die Herstellung von Behälterglas nicht unbedingt als umweltverträglicher Prozeß einzustufen, allerdings ist mit der hohen Wiederverwertbarkeit des Glases ein relativ geschlossener Prozess entstanden, der, insbesondere bei der Herstellung von Grünglas, nur wenig zusätzliche Rohstoffe benötigt.

### **3. Einordnung der Ökobilanz**

Wie bereits aus der Systembeschreibung hervorgeht, befasst sich diese Ökobilanz nicht mit dem gesamten Lebensweg der Glasverpackungen, sondern lediglich mit dem produktionsnahen Teil. Diese Vorgehensweise vereinfacht die Sammlung der Daten, da eine Ausdehnung der Systemgrenzen auf den Bereich der Abfüller, des Handels und der Endkonsumenten eine Vervielfachung der Datenmenge und den Verlust der Übersichtlichkeit bedeuten würde.

Wir möchten diese Ökobilanz nicht beenden ohne auf die aktuellen Ergebnisse deutscher Ökobilanzen zum Thema Getränkeverpackungen eingegangen zu sein.

Im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) sind in den vergangenen Jahren zwei Ökobilanzen für Getränkeverpackungen veröffentlicht worden, die Pilotstudie über Getränkeverpackungen für Bier und Frischmilch und die zweite Studie für alkoholfreie Getränke und Wein. Aus den Zusammenfassungen beider Studien geht eine generelle Handlungsempfehlung an Verbraucher hervor, Mehrwegverpackungen gegenüber Einwegverpackungen im Kauf vorzuziehen. Lediglich bei Verbundkartons für kohlenstofffreie Getränke und PE-Schläuchen für Milch ist eine Vorteilhaftigkeit von Mehrwegverpackungen nicht unbedingt gegeben. Auch gibt es weitere Potentiale bei PET-Einwegflaschen, die zu einer Verbesserung der Umwelteigenschaften führen könnten (Steigerung der Sekundär-PET-Einsatzquote, Materialersparnis).

Innerhalb des Mehrwegsystems (Mehrweg-Glasflasche, Mehrweg-PET-Flasche) lässt sich gemäß der neusten Studie vom Oktober 2002 „Ökobilanz für Getränkeverpackungen für alkoholfreie Getränke und Bier“ mit besonderer Relevanz für die von uns betrachteten Behältergläser eine generelle Vorteilhaftigkeit von PET-Mehrwegsystemen gegenüber Glas-Mehrwegsystemen ausmachen. Das Umweltbundesamt sieht die Ökobilanzen als Instrument zum Vergleichen verschiedener Produkte, Dienstleistungen und Herstellungsverfahren hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Umwelt.

Um vergleichbar zu sein, müssen Ökobilanzen nach einheitlichen Grundsätzen aufgebaut sein. Dazu hat die Internationale Normungs-Organisation (ISO) die Norm ISO 14 040 festgelegt. Die Frage, ob sich das Ergebnis einer in der Schweiz aufgestellten Ökobilanz mit

einer in Deutschland erstellten vergleichen lässt, sollte mit Hilfe dieser Normung nach formalen Grundsätzen beantwortet werden können. Eine ebenso große Bedeutung hat die Normung nach ISO 14 040 für die generelle Glaubwürdigkeit und Aussagekraft von Ökobilanzen, da die wirtschaftliche Bedeutsamkeit der Aussagen mancher Ökobilanzen eine Motivation für Manipulationen und zweideutige Schlussfolgerungen darstellen kann. Wird jedoch die Ökobilanz in ihrer normierten Form etabliert, kann sie einen Beitrag für eine nachhaltige Entwicklung leisten.

#### **4. Quellen und Literaturverzeichnis**

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 1995. Ökoinventare für Verpackungen. Schweiz

Nölle, G. (1979). Technik der Glasherstellung. Frankfurt/M. Harri Deutsch Verlag

Bartholome, E. (Herausgeber), Ullmann, F. (1976). Ullmanns Enzyklopädie der Technischen Chemie. Band 12. Weinheim. Verlag Chemie

Elvers, B. (editor), Ullmann, F. (1989). Ullmann's encyclopedias of industrial chemistry. Volume 12. Weinheim. Verlag Chemie

Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH [IFEU]; Prognos (1999). Endbericht Ökobilanz für die leichte PET-Mehrwegflasche im Auftrag der Gerolsteiner Brunnen GmbH&Co. <http://www.gerolsteiner.com/company/download/kobila.pdf>; 21.07.2003