

Vergleichende Ökobilanz für das Recycling und Versanden von Altglas

Auftraggeber

vetroSWISS

VetroSwiss

Glattbrugg

vertreten durch Fritz Stuker

Autor



Gabor Doka

Doka Ökobilanzen

Zürich

Zürich, Januar 2006

"Vergleichende Ökobilanz für das Recycling und Versenden von Altglas"

Auftraggeber:

VetroSwiss
vertreten durch Hr. Fritz Stuker
Postfach
8152 Glattbrugg

Auftragnehmer/Autor

Doka Ökobilanzen
Gabor Doka
Stationsstrasse 32
CH-8003 Zürich
vetroswiss@doka.ch

Kritische Durchsicht

Hansjörg Buser und Peter Gerber
Abt. Abfall und Rohstoffe
BUWAL – Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
3003 Bern

Zu zitieren als:

G. Doka "Vergleichende Ökobilanz für das Recycling und Versenden von Altglas",
Doka Ökobilanzen, Studie im Auftrag von VetroSwiss, Glattbrugg, Januar 2006

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	4
2	Einleitung	6
3	Zielsetzung	7
4	Vergleichsbasis und Systemgrenzen	8
5	Methodik	12
6	Allgemeine Bemerkungen zu Ökobilanzen	13
7	Ökoinventare der Prozesse	14
7.1	Option Recycling (Einschmelzen)	14
7.2	Option Versanden (Downcycling)	17
8	Resultate	19
8.1	Variation der Transportdistanz	19
9	Schlussfolgerungen	24
	Literatur	25

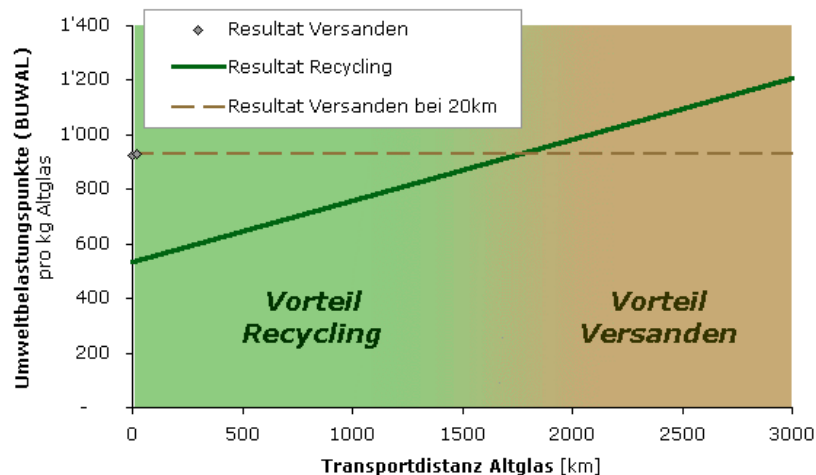
1 Zusammenfassung

Rund 300'000 Tonnen Altglas werden in der Schweiz separat gesammelt und verwertet. Für farbgemischtes Sammelgut bestehen unter anderem zwei Verwertungsmöglichkeiten: das Einschmelzen zu Grünglas (Recycling) oder das Herstellen von Glassand als Sandersatz (Downcycling). Einschmelzen gilt als weniger umweltschädliche Verwertungsart und erhält deshalb eine höhere Entschädigung aus der vorgezogenen Entsorgungsgebühr als das Versanden. Das Einschmelzen erfolgt oft im nahegelegenen Ausland, wogegen das Versanden lokal geschieht. VetroSwiss will mit dieser Studie abklären, ob der ökologische Vorteil des Einschmelzens gegenüber dem Versanden trotz der oft längeren Transportdistanzen erhalten bleibt. Wenn dies nicht der Fall wäre, könnte die tiefere Entschädigung für Versanden (bei den gegenwärtigen Transportdistanzen) nicht ökologisch begründet werden.

Die vorliegende Ökobilanz untersucht die Fragestellung, wobei grossen Wert auf einen umfassenden und fairen Vergleich der beiden Optionen gelegt wurde. Dies wurde mittels Erweiterung der Systemgrenzen geleistet, um den multifunktionalen Charakter von Verwertungsprozessen – sowohl Entsorgung, als auch Güterproduktion – abzubilden. Die dabei benötigten Daten stammen weitgehend aus der Ökoinventar-Datenbank ecoinvent 2000. Die Bewertung der Umweltschäden erfolgt mit den Bewertungsmethoden UBP'97 (BUWAL-Methode) und Eco-indicator'99, wobei als Variante auch Erweiterungen zur Berücksichtigung von Strassenverkehrslärm einbezogen wurden.

Die Option Recycling (Einschmelzen) konnte eindeutig als die weniger umweltbelastende Verwertungs-Option festgestellt werden. Die Resultate besagen, dass wenn mit dem Altglas entweder aufwendig hergestelltes Verpackungsglas ersetzt werden kann oder relativ aufwandsarm hergestellten Bausand, das Einschmelzen zu Glas die ökologisch deutlich bessere Wahl darstellt.

In der Abbildung unten entspricht die ansteigende Linie der Umweltbelastung (y-Achse) für das Einschmelzen bei zunehmender LKW-Transportdistanz (x-Achse). Die horizontale Linie entspricht der Umweltbelastung für das lokalere Versanden bei maximaler LKW-Transportdistanz von 20 km. Die Angaben beziehen sich jeweils auf einen Input von einem Kilogramm Sammelgut.



Die Option Einschmelzen schneidet bis zu einer Transportdistanz von 1700 km besser ab als das Versanden. Erst bei Transportdistanzen über 1700 km kippt das Resultat zu Gunsten der Option Versanden. Da die typischen Transportdistanzen zur Glashütte unter 250 km liegen, kann Einschmelzen hier klar und *gesamtschweizerisch* als weniger belastend beurteilt werden. Die Ergebnisse für Eco-indicator'99 und auch bei zusätzlicher Berücksichtigung von Strassenverkehrslärm legen denselben Schluss nahe. Die Option Einschmelzen erzeugt bei den gegenwärtig üblichen Transportdistanzen rund 40 bis 50% weniger Umweltbelastung als die Option Versanden, selbst wenn bei letzterer über viel kürzere Distanzen transportiert wird. Die genaue Distanz zwischen Sammel- und Verwertungsort spielt somit – im Rahmen der vorliegenden Fragestellung – eine untergeordnete Rolle.

Die eingangs gestellte Frage, ob Einschmelzen der Glasscherben zu neuen Glasverpackungen trotz der oft längeren Transportdistanzen seinen ökologischen Vorteil gegenüber dem lokaleren Versanden verlieren könnte, kann eindeutig verneint werden. Die Resultate dieser Studie bestärken aus ökologischer Sicht die heutige Praxis, Altglas für die Produktion von Neuglas zu einem deutlich höheren Satz zu entschädigen als Altglas für die Zerkleinerung zu Sand- und Kiesersatz.

Die vorliegenden Resultate gelten nur für die Schweiz und sollen nicht auf andere Länder mit anderen Situationen übertragen werden. Die Resultate gelten zudem nur für die Prozesse *nach* der Altglassammlung, d.h. für den Transport von der Sammelstelle zum Verwerter sowie für Prozesse beim Verwerter selbst. Die Studie macht keine Aussage über Prozesse *während oder vor der Sammlung*, wie zum Beispiel zum Reinigen des Glases im Haushalt oder zum privaten Transport von Flaschen zur Sammelstelle.

2 Einleitung

Altglas wird in der Schweiz zu einem hohen Anteil gesammelt und verwertet. VetroSwiss verteilt die vorgezogene Entsorgungsgebühr auf Glasflaschen an die Verwerter von Altglas. Die Auszahlungen von VetroSwiss erfolgen nach ökologischen Kriterien unter Berücksichtigung der logistischen Aufwendungen¹. Wiederverwendung und Recycling von farbgetrenntem Sammelgut (zu Neuglas) erhält 100% des Standardsatzes. Recycling von farbgemischtem Sammelgut (zu Grünglas) erhält 60% des Standardsatzes. Erzeugen von Sandersatz aus Altglas (Versanden) erhält 40% des Standardsatzes (vergl. Tabelle 1).

Das Einschmelzen von farbgemischtem Sammelgut zu Grünglas erfolgt in St-Prex (VD) oder im nahegelegenen Ausland. Versanden kann an mehreren Orten in der Schweiz ausgeführt werden, z.B. in Rothenburg, und ist daher meist kleinräumiger. Der Auftraggeber wirft die Frage auf, ob der ökologische Vorteil des Einschmelzens gegenüber dem Fall Versanden trotz der oft längeren Transportdistanzen erhalten bleibt. Wenn dies nicht der Fall wäre, könnte die tiefere Entschädigung für Versanden (bei den gegenwärtigen Transportdistanzen) nicht ökologisch begründet werden.

Tabelle 1 Verwertungsoptionen für Altglas

	Option	Beschreibung	Entgeltungen ab 2005
W	Wiederverwendung	Ganzglas für die Wiederverwendung als Getränkeflaschen	100 %
Rwb	Recycling von weiss und braun	Scherben, farbgetrennt gesammelt, gesamte weisse und braune Fraktion für die Produktion von Neuglas (Verwertungsart der grünen Fraktion ohne Bedingung)	100 %
Rm	Recycling von Mischsammelgut	Scherben, farbgemischt gesammelt, für die Produktion von Grünglas	60 % *
S	Schaumglas (Misapor)	Altglas für die Weiterverarbeitung zu ökologisch wertvollen Produkten	60 %
D	Downcycling (Sand)	Übriges Altglas (z.B. für die Verwertung als Sandersatz)	40 %

* Bis 2004 betrug die Entgeltung für Option Rm 40 %

Angaben gemäss F. Stuker, vetroswiss, und Weisung zur VGV Verordnung über Getränkeverpackungen aus Glas

<http://www.vetroswiss.ch/pdf/Weisung%20VEG%20002-06-2004%20I.pdf>

¹ So wird z.B. die farbgetrennte Altglas-Sammlung generell höher entgeltet als die farbgemischte Sammlung. Dies wird u.A. damit begründet, dass die farbgetrennte Sammlung logistisch aufwendiger ist und für farbgetrennt gesammeltes Altglas mehr und ökologisch günstigere Verwertungsmöglichkeiten offen stehen.

3 Zielsetzung

Die Untersuchung soll feststellen, ob und wann Recycling von Mischsammelgut zu Grünglas (Option Rm) weniger Umweltbelastung erzeugt als das Versenden von Mischsammelgut (Option D) (vergleichende Ökobilanz). Die Studie untersucht nur die erwähnten zwei Optionen für *Mischsammelgut*. Optionen für *farbgetrenntes* Sammelgut sind nicht Gegenstand der Fragestellung.

Fokus der Untersuchung ist der Einfluss der notwendigen Transporte. Wird durch die oft weitere Transportdistanz für das Recycling der ökologische Vorteil gegenüber dem kleinräumigeren Versenden kompensiert? Wenn ja, ab welcher Transportdistanz 'kippt' das Resultat? Das heisst ab welcher Distanz wird Recycling gegenüber dem Versenden zur ökologisch schlechteren Wahl? Eine Ökobilanz kann feststellen, bei welcher Distanz diese Grenze erreicht wird. Für die vorliegende Untersuchung wird nur der Transport mittels LKW betrachtet².

Der quantitative Vergleich der Umweltbelastung durch die beiden zur Diskussion stehenden Verwertungsarten für Altglas kann gegebenenfalls als Begründung für ein ökologisches Argument für die Höhe von Entschädigungssätzen der Mittel aus vorgezogenen Entsorgungsgebühren herangezogen werden.

² Es wird in der Resultatdiskussion ausgeführt, warum die Annahme eines Bahntransports nichts an den Schlussfolgerungen dieser Studie ändert.

4 Vergleichsbasis und Systemgrenzen

Die Studie wird für die ökologischen Auswirkungen der Verwertung von 1 Kilogramm farbgemischtem Sammelgut erstellt. Alle betrachteten Optionen beziehen sich auf 1 kg Mischsammelgut. Die Transportdistanz zum Verwertungsort wird als variabler Parameter behandelt.

Die Aufwendungen für das Sammeln und Sortieren sind für beide Optionen identisch. Sie können deshalb für die vorliegende Fragestellung weggelassen werden³. Die Studie untersucht den Transport von Mischsammelgut zu den Verwertern, sowie die Aufwendungen und Belastungen, welche beim Verwerter entstehen.

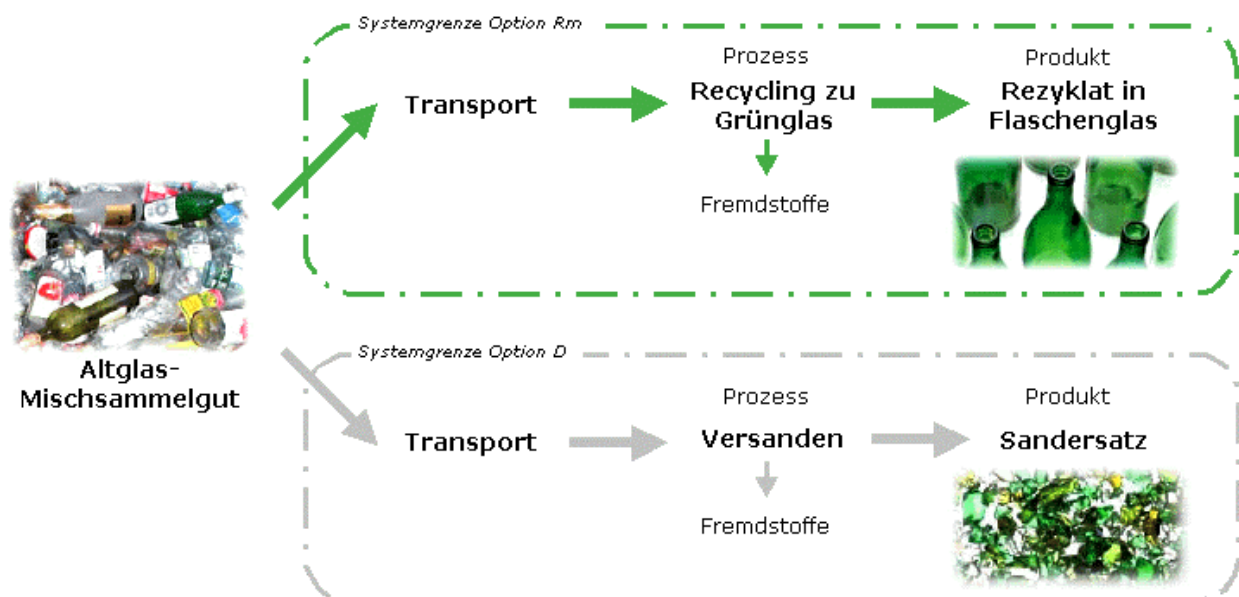


Abbildung 1 Systemabgrenzungen für die beiden Verwertungs-Optionen (siehe auch Abbildung 2 auf Seite 11)

Im Sinne der Ökobilanz hat die Verwertung nicht nur direkte Auswirkungen, sondern auch indirekte. So bedeutet z.B. das Versanden, dass dadurch Glasrohstoff der Glasproduktion entzogen wird. Wird Altglas versandet, muss bei einer Gesamtsystembetrachtung Glasrohstoff durch mineralische Naturstoffe⁴ ersetzt werden.

³ Dies bedeutet *nicht*, dass die ökologischen Auswirkungen beim Sammeln und Sortieren für den Gegenstand der Altglasverwertung per se nicht relevant werden können. So ist es z.B. ökologisch durchaus relevant, ob das Altglas zu Fuss oder per PKW zur Sammelstelle gebracht wird. Wird z.B. eine Ladung Altglas von vier Kilogramm mit dem PKW zu einer ein Kilometer entfernten Sammelstelle gefahren, so erzeugt dies eine doppelt so hohe Umweltbelastung wie z.B. der anschliessende Transport dieser 4 kg Altglas über eine Distanz von 200 Kilometern mit dem LKW zur Glashütte. Für die vorliegende Fragestellung, die sich auf die bessere Wahl *nach dem Sammeln* konzentriert, können die Umstände der Sammlung aber ignoriert werden.

⁴ Für die Glasproduktion werden natürliche Mineralstoffe wie Quarzsand, Kalkstein, Feldspat und Dolomit benötigt.

Dem Versenden kann also indirekt der Abbau dieser zusätzlich abzubauenen Naturstoffe angelastet werden. Umgekehrt wird beim Glasrecycling zwar Glasrohstoff der Glasproduktion zugeführt, aber es wird – im Vergleich zum Versenden – kein Sand erzeugt. Je nach Verwertungs-Option entstehen also *verschiedene* Produkte. Beide Optionen haben zwar die eine gemeinsame Funktion 'Altglasentsorgung'. Darüber hinaus haben die Optionen zusätzlich eine *Versorgungsfunktion*: sie stellen auch nutzbare Güter bereit⁵. Diese bereitgestellten Güter sind nun aber nicht identisch: Sand hat andere Anwendungsgebiete als eine Flasche.

Sollen zwei Optionen fair verglichen werden, ist es unumgänglich, dass die Systemgrenzen so gezogen werden, dass beide Optionen tatsächlich vergleichbare Funktionen erfüllen. Die Systemgrenzen sind so zu ziehen, dass sowohl Option Rm als auch Option D völlig austauschbare Prozesse sind, d.h. die in den Optionen *erbrachten Dienstleistungen* identisch sind.

Die Option Rm nimmt Altglas auf und erzeugt daraus Recyclingglas. Die Option D nimmt Altglas auf und erzeugt daraus Glassand als Ersatz von herkömmlichem Sand und Kies. Um die Systeme fair vergleichbar zu machen, ist es notwendig, die Optionen so zu erweitern, dass beide Optionen *dieselbe* Summe von Leistungen erbringen. Diese Summe der geforderten Leistungen ergibt sich aus Altglasaufnahme (Entsorgungsfunktion) plus Recyclingglas-Produktion (Versorgungsfunktion) plus Sandersatz-Produktion (Versorgungsfunktion). Wenn ein Verwertungsprozess einen Teil dieser Leistungen nicht von sich aus erbringen kann, wird für die Ökobilanz ein externer Prozess hinzugezogen, welcher diese Leistung erbringen kann⁶. Als externe Prozesse müssen übliche Verfahren oder durchschnittliche Quellen herangezogen werden.

Tabelle 2 Erbrachte Leistungen der Altglas-Verwertungs-Prozesse

		<i>Option Recycling (Rm)</i>	<i>Option Versenden (D)</i>
Altglasaufnahme	(Entsorgungsfunktion)	✓	✓
Glas-Produktion	(Versorgungsfunktion)	✓	fehlt
Sand-Produktion	(Versorgungsfunktion)	fehlt	✓

Wie in Tabelle 2 ersichtlich, fehlt der Option Rm die Erzeugung von Sand. Die Option Rm muss deshalb um einen Prozess erweitert werden, welcher Sand erzeugt, d.h. die Produktion von Bausand. Der Option D fehlt dagegen die Produktion von Glas. Die Option D muss ihrerseits um einen Prozess erweitert werden, welcher Glas

⁵ Prozesse, welche mehr als eine Funktion erbringen, werden in Ökobilanzarbeiten üblicherweise als 'multi-funktionale Prozesse' bezeichnet.

⁶ Dies ist eine *rein rechnerische* Ausgleichung zu einer vergleichbaren Summe von Leistungen. Die externen Prozesse müssen keinen direkten Bezug zum untersuchten Kernprozess haben. Ebenfalls irrelevant ist, dass aus einem Kilogramm Altglas unmöglich Neuglas *und* Sand *gleichzeitig* erzeugt werden kann. Die Prozesse müssen allein um die Vergleichbarkeit der Optionen zu gewährleisten in der Bilanz enthalten sein.

erzeugt, d.h. die Produktion von Glas aus neuen Mineralstoffen. Es wird dabei berücksichtigt, dass aus 1kg gesammeltem Altglas nach der Abtrennung von Fremdstoffen noch etwa 0.926 kg Glas verbleibt (Angaben gemäss ecoinvent 2000). Tabelle 3 zeigt die Optionen nach der Erweiterung. In der letzten Zeile wird die Summe der jeweils erbrachten Leistungen aufgeführt. Diese sind nun für beide Optionen identisch und beide Optionen sind somit fair vergleichbar⁷. In Abbildung 2 werden die erweiterten Systemgrenzen illustriert.

Tabelle 3 Altglas-Verwertungs-Optionen inkl. Systemerweiterung

	<i>Option Recycling (Rm)</i>	<i>Option Versanden (D)</i>
Altglasaufnahme	1kg Altglas	1kg Altglas
Glas-Produktion	0.926 kg Recyclingglas	+ Extern: 0.926 kg Primärglas
Sand-Produktion	+ Extern: 0.926 kg Neusand	0.926 kg Sandersatz
Summe der erbrachten Funktionen	1kg Altglasaufnahme 0.926 kg Glasproduktion 0.926 kg Sandproduktion	1kg Altglasaufnahme 0.926 kg Glasproduktion 0.926 kg Sandproduktion

⁷ In der Ökobilanzierung wird dieses Vorgehen 'Erweiterung der Systemgrenzen durch Addition von Prozessen' genannt. Die resultierende Summe der erbrachten Funktionen wird als 'erweiterte System-Funktion' oder 'product basket' bezeichnet.

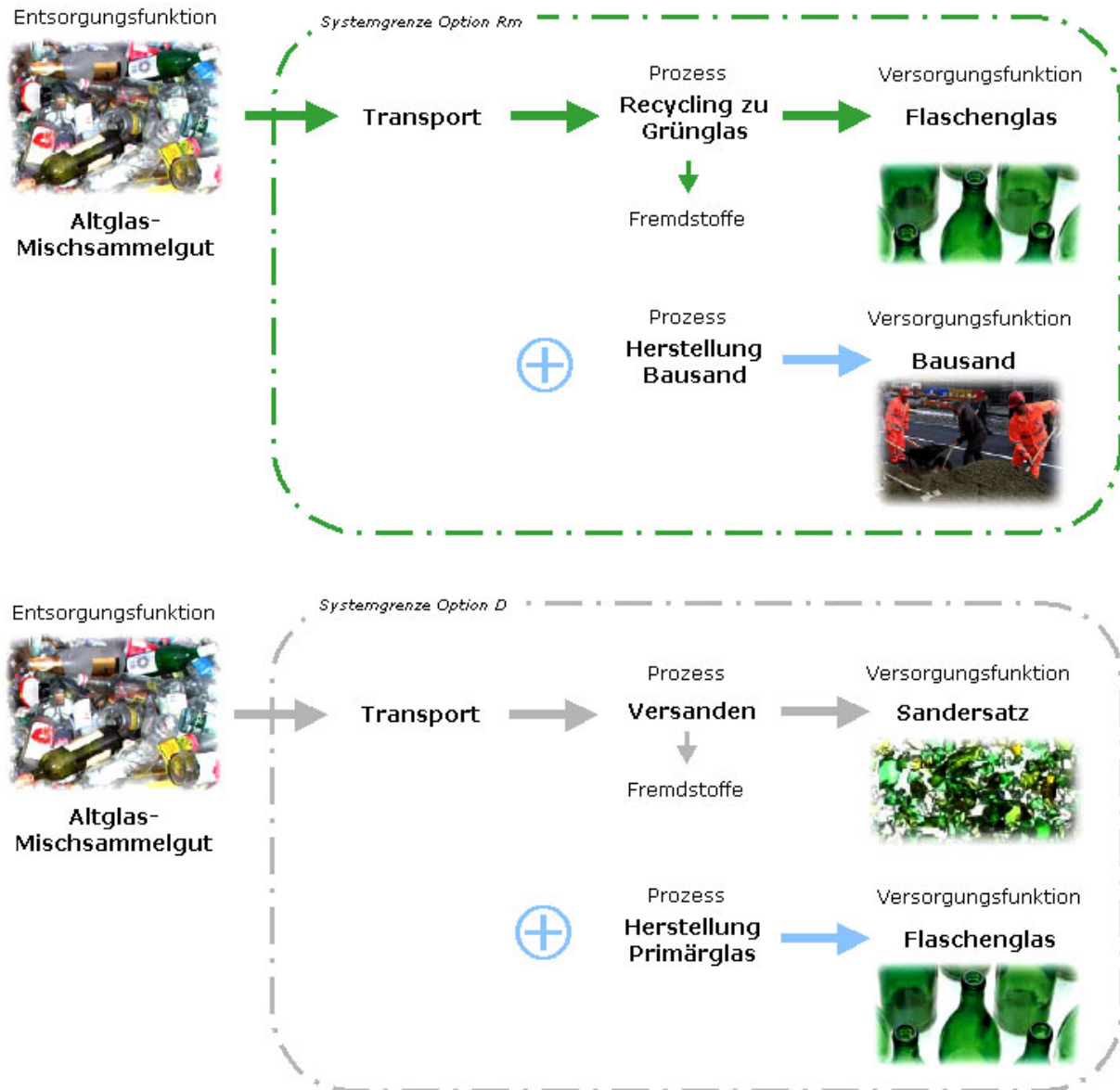


Abbildung 2 Erweiterte Systemabgrenzungen für die beiden Verwertungs-Optionen

5 Methodik

Die zu untersuchenden Prozesse werden mit den Lebenszyklus-Inventar-Daten der Ökobilanz-Datenbank ecoinvent 2000 abgebildet (www.ecoinvent.ch). Wo nötig werden zusätzliche Daten erhoben. Die verwendenden Daten berücksichtigen weitgehend direkte Umweltauswirkungen, aber auch indirekt erzeugte Auswirkungen (siehe dazu Kapitel 6 'Allgemeine Bemerkungen zu Ökobilanzen' auf Seite 13)

Die Bewertungen der verschiedenen Umweltbelastungen (Luft-, Wasser-, Bodenschadstoffe, Ressourcenverbräuche etc.) werden mit der BUWAL-Methode vorgenommen⁸. Zum Vergleich können die Resultate auch mit Eco-indicator'99 berechnet werden – einer ebenfalls häufig verwendeten Ökobilanz-Bewertungsmethode (Goedkoop et al. 2001).

Bei Transporten stellt Lärm eine aktuell vieldiskutierte Belastung dar. Die Original-Publikationen zur BUWAL-Methode (Brand et al. 1998) wie auch zur Eco-indicator'99-Methode (Goedkoop et al. 2001) enthalten aber keine Bewertung von Lärmbelastungen. Es existieren aber für beide Methoden *Erweiterungen* zur Grundmethode, welche die kompatible Bewertung von Strassenverkehrslärm erlauben (Doka 2001, Müller-Wenk 1999). Die Studie untersucht zusätzlich, ob der Einbezug einer Lärmbewertung die Schlussfolgerungen wesentlich beeinflusst.

⁸ Auch bekannt unter den Bezeichnungen "Methode der Ökologischen Knappheit 1997", "Umweltbelastungspunkte'97", "UBP'97". Die Methode ist dokumentiert in (Brand et al. 1998).

6 Allgemeine Bemerkungen zu Ökobilanzen

Ökobilanzen sind umfassende Beurteilungen der umweltlichen Beeinträchtigungen, die von Produkten oder Prozessen ausgehen. Als umweltliche Beeinträchtigung werden dabei im allgemeinen Schädwirkungen an der menschlichen Gesundheit sowie in der natürlichen Umwelt (Biosphäre) verstanden. Manchmal wird auch der Gebrauch nicht-erneuerbarer Ressourcen wie fossile Energiequellen oder mineralische Ressourcen als Schädwirkung einbezogen.

Ökobilanzen werden auch als Lebens-Zyklus-Analysen bezeichnet (engl. Life Cycle Assessment, LCA). Die zentrale Eigenschaft von Ökobilanzen ist, dass nicht nur *direkte* Schädwirkungen eines Prozesses erfasst werden, sondern auch indirekt verursachte Schäden, d.h. der ganze Lebenszyklus eines Produktes. So werden zum Beispiel für einen LKW-Transport nicht nur die direkt am Auspuff entstehenden Abgase berücksichtigt, sondern auch z.B. Schadstoffe, die bei der Bereitstellung des benötigten Treibstoffes entstehen (bei Raffinierung, Rohöltransport, Förderung etc.). Zum anderen werden auch Belastungen erfasst, welche erst *nach* der erfolgten Dienstleistung 'Transport' anfallen, z.B. die Entsorgung der Fahrzeuginfrastruktur. Darüber hinaus werden auch anteilmässig die Belastungen erfasst, die beispielsweise durch die Bereitstellung und Entsorgung der Strasseninfrastruktur erzeugt werden. Im Allgemeinen werden für jedes benötigte Produkt und jeden Prozess die Phasen Herstellung, Gebrauch und Entsorgung – d.h. der ganze Lebenszyklus - betrachtet.

Für jedes Produkt ergibt sich so eine umfangreiche Kette von Prozessen. Auch einfache Produkte sind durch ihre indirekten Aufwendungen mit einer Vielzahl verschiedenster Prozesse verknüpft, d.h. es ergeben sich verschlungene *Prozessketten*. Jeder Prozess kann verschiedenste Schadstoffe abgeben und seinerseits weitere Prozesse (Produkte und Dienstleistungen) benötigen.

Aufgrund der Komplexität der Prozessketten werden Beurteilungen der ökologischen Schädwirkung üblicherweise mit Bewertungsmodellen vorgenommen, die sich auf eine typische *durchschnittliche* Situation beziehen⁹. Eine *örtliche Unterscheidung* bei der Bewertung der Emissionen wird nicht vorgenommen. Dies würde viel detailliertere Datenquellen erfordern, als sie z.Z. verfügbar sind. Daneben gibt es

⁹ So hat z.B. die Emission von einem Kilogramm Schwefeldioxid in Dublin quantitativ andere Auswirkungen wie in Bern. Diese Unterschiede sind z.B. auf anderes Klima, andere Bevölkerungsdichte, geographische Unterschiede etc. zurückzuführen.

auch weitere Unwägbarkeiten, die nicht in die Erfassung einfließen¹⁰. Aus diesem Grund dürfen die in Ökobilanzen ausgewiesenen Schadwirkungen nicht als *exakte Prognosen* verstanden werden, sondern als *Abschätzungen von typischerweise zu erwartenden Schadwirkungen*. In diesem Zusammenhang wird auch oft von Schadens-Potentialen gesprochen.

7 Ökoinventare der Prozesse

Die Lebenszyklus-Inventar-Daten der benötigten Prozesse stammen aus der Ökobilanz-Datenbank ecoinvent 2000 (www.ecoinvent.ch). Ecoinvent bietet eine sehr umfangreiche Datenbank für eine Vielzahl von Prozessen. Dies garantiert eine sehr gute, annähernd vollständige Erfassung der indirekten Belastungen aus Prozessen, wie sie die Ökobilanzierung anstrebt¹¹.

7.1 Option Recycling (Einschmelzen)

Für die Option Recycling (Rm) werden folgende Prozesse bilanziert:

- Transport mit LKW
- Aufbereiten und Einschmelzen zu Recyclingglas
- Bereitstellen von Bausand aus generischen Quellen.

Transport

Die Transportdistanz vom Sammelort zur Verwertungsstelle wird gemäss der Zielsetzung der Untersuchung als variabler Parameter behandelt (s. Kapitel 3 'Zielsetzung' auf Seite 7).

Derzeit übliche Transportdistanzen betragen bis maximal 250 km im Falle eines Exportes nach Deutschland oder Italien und bis maximal 300 km im Falle eines

¹⁰ So ist z.B. zur exakten Erfassung der Schadwirkung von Sommersmog-erzeugenden Emissionen (z.B. VOC) essentiell wie stark zum Emissionszeitpunkt die Sonne scheint. Solche stündlich wechselnden Unwägbarkeiten werden in Ökobilanzen nicht abgebildet, sondern es wird die Schadentwicklung unter Annahme eines repräsentativen 'Durchschnitts-Wetters' modelliert.

¹¹ Ein Nachteil von ecoinvent 2000 ist, dass deren Inhalte nur zahlenden Mitgliedern zugänglich sind – eine Mitgliedschaft kostet 1200 Euro. Die Veröffentlichung der Datenbankinhalte ist untersagt. Dies führt dazu, dass Studien ihre Ökoinventare nicht transparent dokumentieren können. Gesamtergebnisse dürfen veröffentlicht werden, aber es sind keine Angaben erlaubt, die Rückschlüsse auf einzelne Prozesse erlauben würden.

Exportes nach Frankreich. In Einzelfällen können Exporte nach Deutschland über maximal 600 km erfolgen¹².

Zur Berechnung der durch LKW-Transporte verursachten Umweltbelastung wird auf das bestehende Ökoinventar aus ecoinvent 2000 für einen durchschnittlichen Transport mit einem Schweizerischen LKW 32t zurückgegriffen (ecoinvent 2000). Die typische, mittlere Auslastung des LKWs wurde dort auf 46% festgesetzt.

Recyclingprozess

Das Altglas wird für die Glasproduktion zuerst aufbereitet. Dabei werden pro Kilogramm Altglas 0.074 kg Abfälle abgetrennt. Deren Entsorgung wird in der Bilanz berücksichtigt. Aus den verbleibenden 0.926 kg Altglas werden neue Glasprodukte hergestellt. Real werden bei der Glasproduktion Mischungen von Altglas (Sekundärressource) und natürlichen Mineralstoffen (Primärressourcen) verwendet. Die Herstellung von Neuglas aus 100% Altglas ist in ecoinvent 2000 nicht bilanziert. Um die Auswirkungen zu erhalten, welche dem Einschmelzen von 0.926 kg Altglas zugeschrieben werden können, wird deshalb auf eine Extrapolation zurückgegriffen. In ecoinvent 2000 werden verschiedene Glassorten mit unterschiedlichem Primärressourcen-Anteil bilanziert (ecoinvent 2000). Die Umweltbelastungen für diese Glassorten können gemäss ihrem direkten Input an natürlichen Mineralstoffen aufgetragen werden (s. Abbildung 3). Mit sinkendem Mineralstoff-Input – und demnach steigendem Altglas-Input – sinkt die Umweltbelastung pro Kilogramm produziertes Glas. Dies ist auf den geringeren Energieaufwand für das Schmelzen von Altglas zurückzuführen. Durch lineare Extrapolation kann die Umweltbelastung abgeschätzt werden, wenn *keine* natürlichen Mineralstoffe verwendet werden und somit 100% Altglas für die Produktion eingesetzt würde. Dieses Resultat entspricht der Umweltbelastung, die durch das Verarbeiten von 1kg Altglas zu Neuglas mit der gegenwärtig angewandten Technologie entsteht. Diese Umweltbelastung stammt hauptsächlich vom Prozessenergie-Aufwand, aber auch von eingesetzten Hilfsmitteln und der Infrastruktur.

¹² Gemäss Angaben von Fritz Stuker, VetroSwiss, vom 22. September 2005.

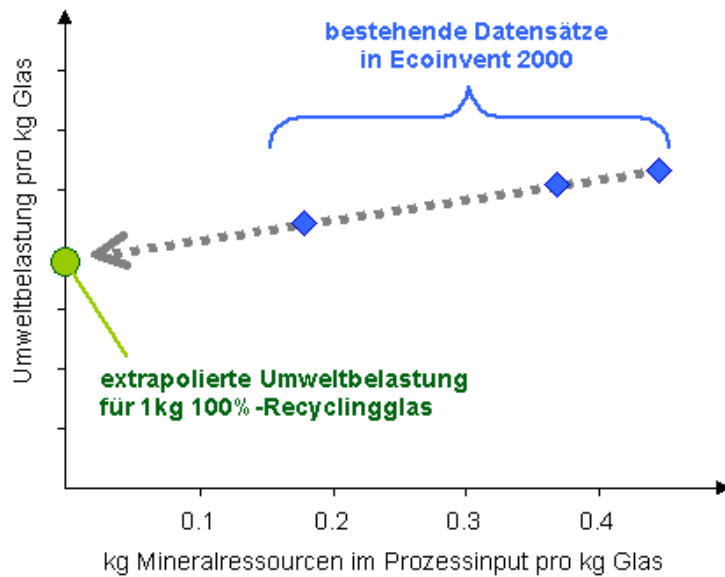


Abbildung 3 Schematische Darstellung der Extrapolation für die Prozessbelastung für Neuglasproduktion mit 100% Altglasinput. Da in dieser Arbeit zwei verschiedene Bewertungsmethoden angewendet werden, ist im obigen Schema die y-Achse nicht eindeutig beschriftet. Die Extrapolation erfolgt für beide Methoden analog.

Bausand

Da beim Altglas-Recycling kein Sand produziert wird, muss dieser Teil der geforderten Funktion über einen zusätzlichen, externen Prozess beigesteuert werden (s. Kapitel 4 'Vergleichsbasis und Systemgrenzen' auf Seite 8). Hierzu wird 0.926 kg Bausand aus natürlichen Quellen gemäss ecoinvent 2000 bilanziert (Schweizerische Kiesgruben).

Der in Option D erzeugte Glassand kann z.B. für die Umhüllung von erdverlegten Leitungen, als Planiermaterial für Gartenplatten und Verbundsteinpflästerungen, als Hinterfüllung oder als Sauberkeitsschicht unter Kieskoffer und Betonplatten verwendet werden. Glassand und üblicher Bausand werden hier als weitestgehend gleichwertige Produkte angesehen.

7.2 Option Versanden (Downcycling)

Für die Option Versanden (D) werden folgende Prozesse bilanziert:

- Transport mit LKW
- Erzeugen von Sandersatz
- Bereitstellen von Neuglas aus generischen Quellen.

Transport

Die Transportdistanz vom Sammelort zur Verwertungsstelle wird gemäss der Zielsetzung der Untersuchung als variabler Parameter behandelt (s. Kapitel 3 'Zielsetzung' auf Seite 7).

In der Schweiz gibt es eine Vielzahl von Altglas-Versandern. Die – im Vergleich zum Recycling – hohe Anzahl von möglichen Abnehmern führt zu oft kürzeren Transportdistanzen. Derzeit übliche Transportdistanzen betragen bis maximal 20 km¹³.

Versandungs-Prozess

Beim Versanden wird das Altglas mittels Prallmühle und Siebung zu Sandersatz verschiedener Körnung verarbeitet. Die Brechung in der Prallmühle vermeidet die Entstehung scharfkantiger Körner. Fremdstoffe wie Plastik oder Metalle werden vorgehend entfernt und entsorgt (0.076 kg pro kg Sammelgut).

Die Umweltbelastung des Versandungsprozesses wird in Analogie aus den Angaben zu Mahlprozessen für Baustoffe in (ecoinvent 2000) für 0.926 kg Glassand abgeschätzt¹⁴.

Neuglas

Da beim Altglas-Versanden kein Neuglas produziert wird, respektive Glas aus dem Glaskreislauf entfernt wird, muss dieser Teil der geforderten Funktion über einen zusätzlichen, externen Prozess beigesteuert werden (s. Kapitel 4 'Vergleichsbasis und Systemgrenzen' auf Seite 8). Hierzu wird 0.926 kg Neuglas aus natürlichen Mineralstoffen (Primärglas) betrachtet.

Um die Auswirkungen abzubilden, welche der Produktion von Primärglas zugeschrieben werden können, muss wie schon in Kapitel 'Recyclingprozess' auf Seite

¹³ Gemäss Angaben von Fritz Stuker, VetroSwiss, vom 22. September 2005.

¹⁴ Diese Abschätzung ist unkritisch, da im Resultat für Option D der Einfluss aus dem Prozess "Bereitstellen von Neuglas" dominant ist. Selbst eine Verdoppelung oder Halbierung der Belastung aus dem Versandungs-Prozess würde sich im Resultat kaum bemerkbar machen.

15 auf eine Extrapolation zurückgegriffen werden. Im Unterschied dazu interessiert hier aber die Umweltbelastung bei *maximalem* Mineralstoff-Input: dies entspricht der Produktion von reinem Primärglas.

Bedeutend ist dabei der Umstand, dass beim Einschmelzen der natürlichen Mineralstoffe ein unvermeidbarer Masseverlust entsteht. Die eingesetzten Materialien wie Soda, Kalkstein, Feldspat und Dolomit wandeln sich beim Schmelzen um und spalten Kohlendioxid ab, welches als gasförmige Emission entweicht und nicht mehr im Glasprodukt enthalten ist¹⁵. Zur Herstellung von 1 kg Primärglas sind deshalb 1.19 kg natürliche Mineralstoffe als direkter Prozess-Input notwendig. Die Extrapolation für 1 kg reines Primärglas muss daher bei 1.19 kg Input erfolgen (s. Abbildung 4). Multiplikation mit 0.926 ergibt die gesuchte Belastung für 0.926 kg Primärglas.

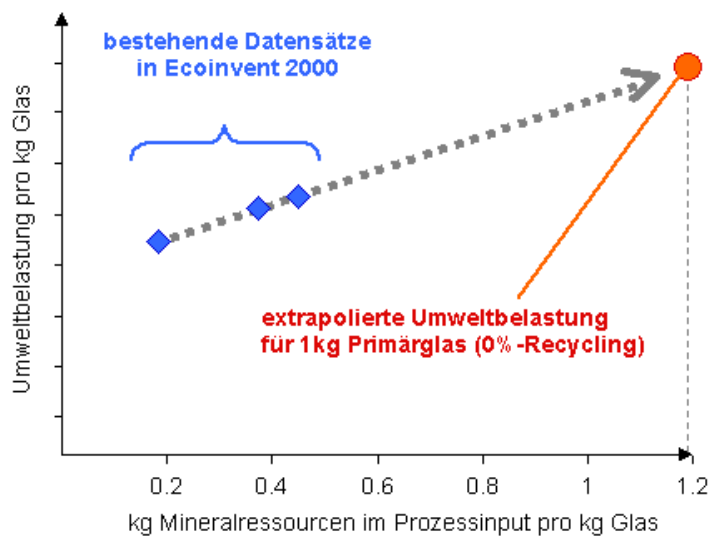


Abbildung 4 Schematische Darstellung der Extrapolation für die Prozessbelastung für Primärglasproduktion mit 0% Altglasinput. Da in dieser Arbeit zwei verschiedene Bewertungsmethoden angewendet werden, ist im obigen Schema die y-Achse nicht eindeutig beschriftet. Die Extrapolation erfolgt für beide Methoden analog.

¹⁵ Z.B. wird aus Kalkstein (CaCO_3) Kohlendioxid (CO_2) abgespalten, das als Gas entweicht. Kalziumoxid (CaO) bleibt in der Glasmasse zurück. Die Abspaltung von Kohlendioxid wird Decarboxilierung genannt.

8 Resultate

Die Resultate enthalten die Umweltbelastungen, welche bei der Verwertung von einem Kilogramm Altglas zugeschrieben werden können. Massgebend sind dabei die unter Kapitel 4 'Vergleichsbasis und Systemgrenzen' auf Seite 8 ausgeführten Randbedingungen. Die Umweltbelastung wird in Umweltbelastungspunkten (BUWAL-Methode, UBP'97) ausgedrückt (Brand et al. 1998). Zusätzlich wird das Resultat mit einer andersartigen Bewertungsmethode (Eco-indicator'99) berechnet.

8.1 Variation der Transportdistanz

Die Transportdistanz zwischen Sammelort und Verwerter kann in der Bilanz variabel vorgegeben werden. Zuerst soll festgestellt werden, ab welcher Transportdistanz das Recycling (Einschmelzen) schlechter abschneidet als das Versanden.

Falls diese kritische 'Kipp-Distanz' wesentlich grösser als die gegenwärtig typischen Distanzen ist, bedeutet dies, dass *in der ganzen Schweiz* das Recycling (inkl. Transport) als ökologisch weniger belastend gelten kann als das (kleinräumige) Versanden. In diesem Fall ergäbe sich ein gesamtschweizerisch einheitliches Resultat.

Falls die kritische Distanz hingegen kleiner als die gegenwärtig typischen Distanzen ist, so bedeutet dies ein gesamtschweizerisch *uneinheitliches* Resultat: Für Gegenden *nahe* von Recycling-Anlagen würde das Recycling weniger belastend als das Versanden abschneiden. In weiter entfernten Gegenden würde Versanden aber besser als Recycling beurteilt. Die Beurteilung der ökologisch weniger belastenden Option wäre *von der genauen Lage des Sammelortes* abhängig. In diesem Falle könnten die Resultate zum Beispiel als Karte der Schweiz präsentiert werden, die veranschaulicht, welche Verwertungs-Option an welchem Ort besser abschneidet.

Resultate mit der BUWAL-Methode

Die Option Versanden wird mit einer Transportdistanz zwischen 0 und 20 km abgebildet. Das Resultat findet sich auf der linken Seite von Abbildung 5. Die Option Versanden weist eine Umweltbelastung von rund 910 Umweltbelastungspunkten auf (Bewertung gemäss BUWAL-Methode in Brand et al. 1998). Die Variation der Transportdistanz hat hier kaum wesentlichen Einfluss auf das Resultat.

Die Option Recycling wird mit frei wählbarer Transportdistanz abgebildet (ansteigende Linie in Abbildung 5). Transportdistanzen von mehr als 600 km können zur Zeit als unrealistisch angesehen werden (s. Kapitel 'Transport' auf Seite 14). Bei einer denkbaren Transportdistanz von z.B. 200 km weist die Option Recycling eine

Umweltbelastung von rund 590 Umweltbelastungspunkten auf, also deutlich besser als die Option Versenden.

Die Option Recycling schneidet bis zu einer Transportdistanz von 1700 km besser ab als das Versenden. Erst bei Transportdistanzen über 1700 km kippt das Resultat zu Gunsten der Option Versenden. D.h. selbst wenn die verwertende Glashütte beispielsweise in Madrid stehen würde, wäre das Einschmelzen ökologischer als das Versenden in der Schweiz. Da die typischen Transportdistanzen für Recycling unter 250 km liegen, kann Recycling hier klar (und schweizweit) als weniger belastend beurteilt werden.

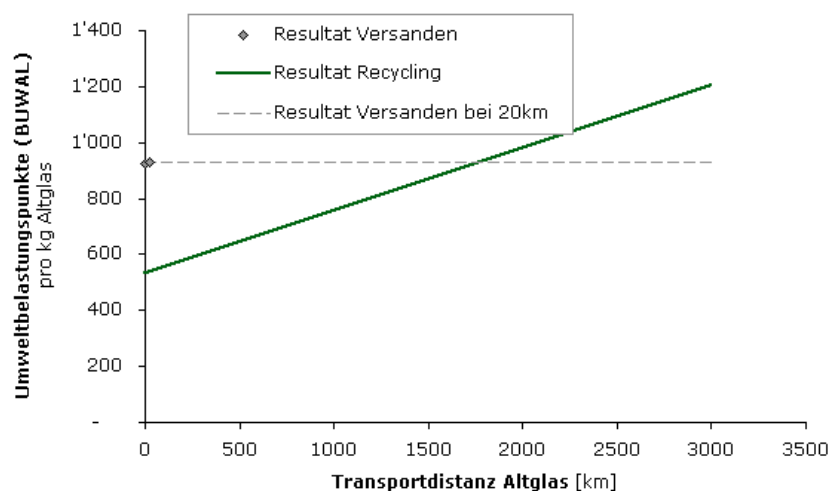


Abbildung 5 Resultate mit BUWAL-Bewertungsmethode pro kg Altglas bei variabler Transportdistanz (trade-off bei 1700 km)

Der Grund für das schlechte Abschneiden des Versandens liegt nicht an den Prozessemissionen des Versandens selber. Das Versenden ist *für sich genommen* nur wenig aufwendig und an sich auch nur wenig umweltbelastend. Aber das ersetzte Material (Bausand) ist es auch. Umgekehrt ist Verpackungsglas ein vergleichsweise aufwendig hergestelltes Gut. Der Umweltschaden durch die Herstellung von einem Kilogramm Verpackungsglas ist ca. 100mal grösser als der Umweltschaden der Herstellung von einem Kilogramm üblichem Bausand. Weil die Option Versenden Glas aus dem Glaskreislauf entfernt, wird sie zusätzlich mit der Herstellung von Primärglas belastet (faire Systemgrenzen, s. Kapitel 4 'Vergleichsbasis und Systemgrenzen' auf Seite 8). Dies entspricht einer "Bestrafung" dafür, dass beim Versenden kein Glas erzeugt wird. Dieser "Malus" ist hoch und dominiert das Resultat der Option Versenden. Umgekehrt erzeugt die Option Recycling keinen Sand, was ebenfalls bestraft wird. Aber da die Herstellung von üblichem Bausand nur relativ wenig belastend ist, fällt diese "Bestrafung" nur gering aus.

Anders ausgedrückt besagen die Resultate, dass wenn mit dem Altglas entweder aufwendig hergestelltes Verpackungsglas ersetzt werden kann (Recycling) oder

relativ aufwandsarm hergestellten Bausand (Downcycling), das Recycling zu Glas die ökologisch deutlich bessere Wahl darstellt.

Resultate mit Eco-indicator'99

Obige Resultate wurden mit der Bewertungsmethode des BUWALs (UBP'97) berechnet. Alternativ können die Umweltschäden auch mit anderen Bewertungsmethoden berechnet werden. Dadurch kann sich zeigen, wie stabil ein Resultat auf unterschiedliche Annahmen bei der Bewertung der Umweltschäden reagiert. Als Beispiel soll hier eine andere, gängige Bewertungsmethode namens Eco-indicator'99 angewendet werden¹⁶.

In Abbildung 6 werden die Resultate mit Eco-indicator'99 gezeigt. Das Bild ist grundsätzlich dasselbe. Auch hier schneidet die Option Versenden weit schlechter ab als die Option Recycling. Die Transportdistanz, bei der Recycling die schlechtere der zwei Optionen wird, liegt hier bei 2100 km. Somit kann also auch hier gefolgert werden, dass Recycling klar (und schweizweit) als weniger belastend gelten kann.

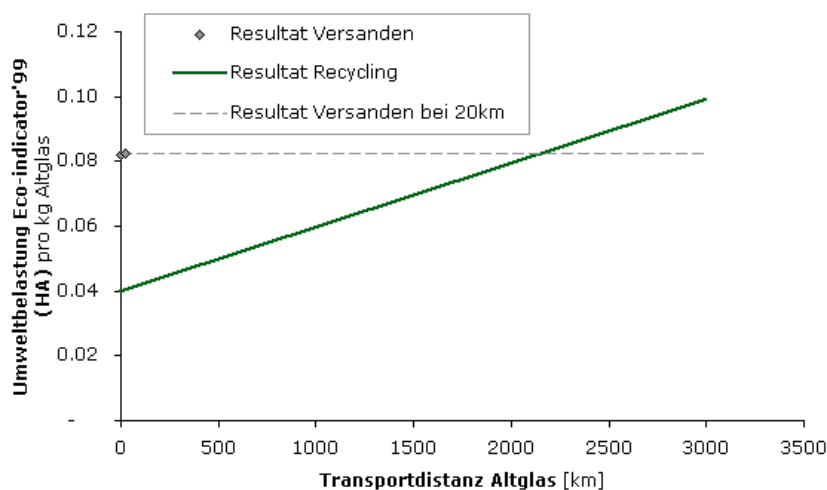


Abbildung 6 Resultate mit der Bewertungsmethode Eco-indicator'99 pro kg Altglas bei variabler Transportdistanz (trade-off bei 2100 km)

Resultate inkl. Strassenlärm

Bei Transporten stellt Lärm eine aktuell vieldiskutierte Belastung dar. Die Original-Publikationen zur BUWAL-Methode (Brand et al. 1998) wie auch zur Eco-indicator'99-Methode (Goedkoop et al. 2001) enthalten aber keine Bewertung von Lärmbelastungen. Für beide Methoden existieren *Erweiterungen* zur Grundmethode,

¹⁶ Genauer handelt es sich um Eco-indicator'99 (H,A), einer Variante für den "Werthaltungs-Archetyp" Hierarchist, bei durchschnittlicher Gewichtung der Schutzziele (Goedkoop et al. 2001).

welche die kompatible Bewertung von Strassenverkehrslärm erlauben (Müller-Wenk 1999, Doka 2001).

Der Einbezug von Lärmbelastungen erhöht die spezifischen Umweltbelastungen des Transports pro Kilometer. Dadurch sinken die möglichen Transportdistanzen, bei denen Recycling besser abschneidet als Versenden, d.h. die Linien in Abbildung 5 und Abbildung 6 werden *steiler*. Die "Kipp-Distanz" bei der Versenden und Recycling gleichziehen (trade-off) wird kürzer.

Hier soll nun untersucht werden, ob der zusätzliche Einbezug einer Lärmbewertung die obigen Schlussfolgerungen wesentlich beeinflussen kann. Dabei wird nicht nur die *direkte* Strassenlärmbelastung beim Transport des Altglases selbst berücksichtigt, sondern – im Sinne der Ökobilanz-Praxis – auch alle *indirekten* Lärmbelastungen durch Strassentransporte, z.B. beim Transport von benötigten Energieträgern¹⁷.

Durch die Berücksichtigung von Strassenlärm wächst die Belastung pro gefahrenen LKW-km um ca. 8%. Durch die indirekt benötigten Transporte steigen ebenfalls die Umweltbelastungen der bilanzierten Verfahren, jedoch nur im Bereich von ca. einem Prozent. Gesamthaft verschiebt sich das Resultat für die BUWAL-Methode wie in Abbildung 7 gezeigt.

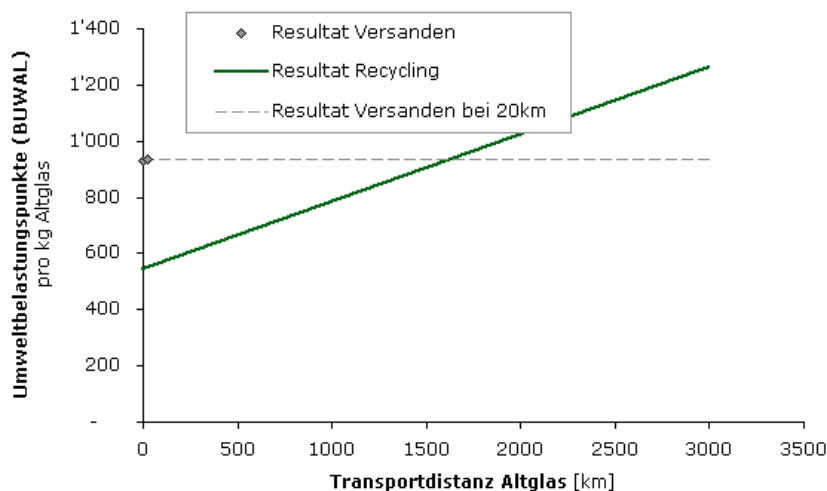


Abbildung 7 Resultate mit BUWAL-Bewertungsmethode pro kg Altglas inkl. Strassenlärmbewertung (trade-off bei 1600 km)

Auch mit der Strassenlärmbewertung schneidet die Option Recycling deutlich besser ab als die Option Versenden. Die Transportdistanz, bei der Recycling die schlechtere der zwei Optionen wird, liegt hier bei 1600 km, also immer noch deutlich oberhalb der üblichen Transportdistanzen. Für die Methode Eco-indicator'99(HA) inkl.

¹⁷ Die Erfassung und Bewertung von Strassenlärm ist für die Prozesse in der Datenbank ecoinvent 2000 nicht vorgesehen. Für die vorliegende Studie wurde ein Verfahren entwickelt, welches die durchgängige Erfassung von Strassenlärm in allen Datensätzen von ecoinvent 2000 ermöglicht. Details können beim Autor Gabor Doka erfragt werden (vetroswiss@doka.ch).

Strassenlärmbewertung sehen die Resultate sehr ähnlich aus; die Kippdistanz liegt hier bei 1700 km. Die vorhergehenden Resultate der Original-Methoden (ohne Strassenlärmbewertung) können somit bestätigt werden.

Resultate für andere Transportarten

In den obigen Resultaten wurde der Transport des Altglases mit LKWs angenommen. Ein Teil des Altglases wird aber auch per Bahn oder Schiff zur Glashütte transportiert. Der Bahntransport gilt im allgemeinen als weniger umweltbelastend als der LKW-Transport. Ein Schweizer Güterzug verursacht pro Tonnenkilometer Gütertransport nur etwa 5% der Umweltbelastungen eines LKW-Transports – und selbst ein Transport per EU-Diesellok schneidet noch rund viermal besser ab. Das Bahnnetz ist allerdings nicht so dicht wie das Strassennetz und Bahntransporte können dadurch länger werden als Strassentransporte. Zudem sind oft Zulieferungen zur bzw. Abtransport von der Bahnline notwendig, was zusätzliche Aufwendungen zur Folge hat. Diese Nachteile können aber normalerweise den grossen ökologischen Vorteil des Bahntransportes nicht wett machen.

Wenn Bahntransport als weniger umweltbelastend als Strassentransport gelten kann, dann würden im Falle eines Bahntransportes die Linien in Abbildung 5 und Abbildung 6 weniger steil ansteigen. Die "Kipp-Distanz" bei der Versanden und Recycling gleichziehen (trade-off) würde dadurch noch länger. D.h. bei einem Bahntransport wäre die Option Recycling in jedem realen Fall und noch deutlicher als beim LKW-Transport der Option Versanden vorzuziehen. Diese Aussage gilt ebenso für Schiffstransporte, die noch weniger umweltbelastend als Bahntransporte sind.

9 Schlussfolgerungen

Es konnte gezeigt werden, dass für die Verwertung von Altglas innerhalb der ganzen Schweiz die Option Recycling (Rm, Einschmelzen) die ökologisch weniger belastende Variante als die Option Versanden (D) darstellt. Altglas könnte sogar über Distanzen weit über 1000 km transportiert werden und würde in der Ökobilanz immer noch besser abschneiden als das kleinräumige Versanden.

Bei den heute üblichen LKW-Transportdistanzen von unter 250 km entsteht beim Einschmelzen eine um 40–50% geringere Umweltbelastung als durch das Versanden bei einer üblichen Transportdistanz von unter 20 km. Der Einfluss der Transportdistanz ist sekundär¹⁸. Wichtiger sind die Belastungen der Verwertungsprozesse selbst resp. der ersetzten Materialien.

Das Einschmelzen von Mischsammelgut zu Grünglas ist daher aus ökologischer Sicht eindeutig die bessere Wahl als das Versanden.

Die eingangs gestellte Frage, ob Einschmelzen der Glasscherben zu neuen Glasverpackungen trotz der oft längeren Transportdistanzen seinen ökologischen Vorteil gegenüber dem lokaleren Versanden verlieren könnte, kann eindeutig verneint werden. Die Resultate dieser Studie bestärken aus ökologischer Sicht die heutige Praxis, Altglas für die Produktion von Neuglas zu einem deutlich höheren Satz zu entschädigen als Altglas für die Zerkleinerung zu Sand- und Kiesersatz.

¹⁸ Die Feststellung, dass Transportprozesse wenig Relevanz haben, soll nicht über das Objekt dieser Studie hinaus verallgemeinert werden. Transportdienstleistungen sind nicht per se wenig relevant. Selbstverständlich gibt es Prozesse, deren Umweltbelastung stark vom Transport abhängt.

Literatur

- Brand et al. 1998 G. Brand, A. Scheidegger, O. Schwank, A. Braunschweig, "Bewertung in Ökobilanzen mit der Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 1997", Schriftenreihe Umwelt 297. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 1998. Download vom 23. Mai 2005 von <http://www.umweltschweiz.ch/buwal/shop/files/pdf/php9y9xme.pdf>
- Doka 2001 G. Doka "Ergänzung der Gewichtungsmethode für Ökobilanzen – Umweltbelastungspunkte'97 zu Mobilitäts-UBP'97". Im Auftrag des Bundesamtes für Strassen ASTRA, August 2003.
- ecoinvent 2000 Swiss Centre for Life Cycle Inventories "ecoinvent data v1.01" Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH. ISBN 3-905594-38-2. 2003. Nur erhältlich für ecoinvent 2000 Mitglieder unter www.ecoinvent.ch.
- Goedkoop et al. 2001 M.Goedkoop, R.Spriensma, R.Müller-Wenk, P.Hofstetter, T.Köllner, T.Mettier, A.Braunschweig, R.Frischknecht, D.van de Meent, M.Rikken, T.Breure, R.Heijungs, E.Lindeijer, H.Sas, S.Effting: "The Eco-indicator 99: A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Report". Third Edition, Amersfoort: Pré Consultants, 2001. Download vom 7. April 2005 von <http://www.pre.nl/eco-indicator99/ei99-reports.htm>
- Müller-Wenk 1999 R. Müller-Wenk "Life-Cycle Impact Assessment of Road Transport Noise", Institut für Wirtschaft und Ökologie IWÖ, Universität St.Gallen, Diskussionsbeitrag Nr. 77, Download vom 13. Juli 2000 von <http://www.iwoe.unisg.ch/files/db77.pdf>