

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft,
Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien

Verwertungsmöglichkeiten von Bildröhrenglas aus der Demontage von Elektroaltgeräten

Endbericht

Januar 2006

BiPRO

Beratungsgesellschaft für integrierte Problemlösungen

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund und Zielsetzung	4
2	Mengenaufkommen und Entsorgungswege von Bildröhrenglas (Materialfluss).....	6
2.1	Zusammensetzung und Abgrenzung von Bildröhrenglas	6
2.2	Gegenwärtig in Österreich anfallende Mengen an Bildschirmgeräten.....	11
2.3	Anfallstellen und gegenwärtige Entsorgungswege (IST Zustand)	18
2.4	Rechtliche Vorgaben	21
2.5	Zukünftige Mengenentwicklung (Trends) unter Berücksichtigung der angestrebten Sammelmengen	24
3	Verfügbare Technologien zur Behandlung von Bildröhren.....	26
3.1	Kennzeichnung verfügbarer Technologien zur Behandlung von Bildröhren in Österreich.....	27
3.2	Kennzeichnung verfügbarer Technologien zur Behandlung von Bildröhren im EU-Raum	30
3.3	In Entwicklung begriffene Technologien und deren Realisierbarkeit	31
3.4	Output aus den verschiedenen Technologien und korrespondierende Einsatzmöglichkeiten (spezifische Mengen, weitere Verwendung)	32
4	Verfügbare Technologien zur Verwertung bzw. Entsorgung von Bildröhrenglas.....	33
4.1	Kennzeichnung verfügbarer Verwertungs- bzw. Entsorgungsmöglichkeiten von Bildröhrenglas in Österreich	33
4.1.1	Einsatz von Bildröhrenglas als Schlackebildner in der Bleihütte	34
4.1.2	Einsatz in Sekundärkupferhütte.....	35
4.2	Kennzeichnung verfügbarer Verwertungs- bzw. Entsorgungsmöglichkeiten von Bildröhrenglas im EU-Raum	36
4.2.1	Produktion Konusglas	36
4.2.2	Produktion Frontglas	38
4.2.3	Verwendung als Versatzmaterial.....	39
4.2.4	Einsatz in der Baustoffindustrie	40

4.2.5	Verwendung in der keramische Industrie (Ziegel / Fliesen)	41
4.2.6	Verwendung im Straßenunterbau.....	41
4.2.7	Deponie	41
4.2.8	Sonstige.....	42
4.3	Zukünftige Verwertungsmöglichkeiten und deren Realisierbarkeit	42
4.3.1	Einsatz in Sekundärkupferhütte mit integrierter Zinn-Blei-Gewinnung	42
4.3.2	Weitere Wege	43
5	Ökonomisch-ökologischer Vergleich der Verfahren.....	45
5.1	Annahmekriterien und Qualitätsanforderungen innerhalb der Technologieketten	45
5.2	Vorbehandlungs- und Übernahmekosten innerhalb der Technologieketten	45
5.3	Substitutionseffekte ("was wird ersetzt"), genutzte Eigenschaften/Inhaltsstoffe von Bildröhrenglas und ökologische Bewertung von alternativen Technologien	47
5.4	Zusammenfassende Bewertung.....	49
6	Überblick über verfügbare Kapazitäten und Empfehlungen	52
6.1	Übernehmer von Bildröhrenglas und deren Bedeutung (Österreich und Europa).....	52
6.2	(Wirtschaftliche) Entwicklungstendenzen	53
6.3	Empfehlungen im Hinblick auf die Erfüllung der vorgegebenen Quoten	53
7	Literaturverzeichnis	54
8	Liste Expertengespräche.....	56

1 Hintergrund und Zielsetzung

Mit Inkrafttreten der Richtlinie 2002/96/EG über Elektro- und Elektronikaltgeräte (WEEE-Richtlinie) am 13. Februar 2003 wurden europaweit sowohl Sammelziele als auch Quoten für die Wiederverwendung und stoffliche Verwertung für Bauteile, Werkstoffe und Substanzen von Elektro- und Elektronikaltgeräte festgelegt.

In Österreich wurde die WEEE-Richtlinie - zusammen mit der RoHS-Richtlinie (2002/95/EG) - über die Novelle des Abfallwirtschaftsgesetzes 2004 [AWG 2004] , die Abfallbehandlungspflichtenverordnung sowie über die Verordnung über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von elektrischen und elektronischen Altgeräten [EAG-VO] in nationales Recht umgesetzt. Eines der Kernziele der EAG ist „die Vermeidung von Abfällen von Elektro- und Elektronikgeräten und – sofern diese Abfälle nicht vermeidbar sind - die Wiederverwendung, die stoffliche Verwertung und andere Formen der Verwertung solcher Abfälle, um die zu beseitigende Abfallmenge im Sinne einer nachhaltigen Stoffstrombewirtschaftung und einer Verbesserung der Umweltsituation zu verringern“ (§ 1 Abs.1 EAG-VO). Je nach Gerätekategorie wurden spezifische Verwertungs- bzw. Wiederverwendungsquoten festgelegt. Als Sammelziel wurde europaweit eine durchschnittliche Menge von mindestens 4 kg Elektro- und Elektronikaltgeräte aus privaten Haushalten pro Jahr und Einwohner festgesetzt. Die vorgegebenen Sammel-, Wiederverwendungs- und Verwertungsziele sind bis spätestens 31. Dezember 2006 zu erreichen.

Die Elektro- und Elektronikindustrie ist eine innovative und schnell wachsende Industrie, mit immer kürzer werdenden Austauschzeiten für Elektro- und Elektronikgeräte. Dies führt zu stetig steigenden Zahlen an Altgeräten, die im günstigsten Fall einer Wiederverwendung zugeführt werden oder aber ordnungsgemäß entsorgt werden müssen. Europaweit wird mit einer Zunahme der zu entsorgenden Elektro- und Elektronikaltgeräte von jährlich 3-5% gerechnet [UBA Österreich, Expertengespräche vgl. Kap. 8].

Bildschirmgeräte mit Kathodenstrahlröhren (Fernseher, Computermonitore) sind sowohl mengenmäßig als auch im Hinblick auf die enthaltenen gesundheits- und umweltrelevanten Stoffe von besonderem Interesse. Dabei kommt vor allem der Verwertung und Wiederverwendung von Bildröhren bzw. Bildröhrenglas eine besondere Bedeutung zu, da Bildröhren einen Anteil von mehr als 50% in Bildröhrengeräten darstellen. Für die Fraktion Bildschirmgeräte (Kathodenstrahlröhren, LCD- und Plasmamonitore) ist in der WEEE eine Verwertungsquote von 70 bzw. 75% (für Monitore aus Überwachungs- und Kontrollinstrumente) des durchschnittlichen Gewichts je Gerät vorgegeben sowie eine Quote für Wiederverwendung und stofflicher Verwertung von Bauteilen, Werkstoffen und Substanzen von 65% (bzw. 50% für Monitore aus Überwachungs- und Kontrollinstrumente).

Ziel dieses Projektes ist es einerseits die derzeit bestehende Behandlungs- und Verwertungspraxis von Bildröhrenglas in Österreich und Europa aufzuzeigen und andererseits aktuelle und zukünftige Verwertungswege und -kapazitäten für Bildröhrenglas europaweit zu identifizieren. Vor allem vor dem Hintergrund steigender Altgerätezahlen und einem gleichzeitigen Rückgang der europäischen Produktionskapazitäten von Bildröhren und somit dem Wegfall von hochwertigen Verwertungskapazitäten gewinnt die Identifizierung und Evaluierung alternativer Verwertungsmöglichkeiten für Bildröhrenglas an Bedeutung.

Zur Realisierung der genannten Ziele wurden in der Studie folgende Daten erhoben

- Abschätzung des potentiellen Aufkommens von Bildschirmglas
- Erhebung der Entsorgungswege in Österreich (IST-Zustand)
- Darstellung der technologischen Möglichkeiten zur Verwertung bzw. Entsorgung (tatsächlich angewandte Technologien) in Österreich bzw. im EU-Raum
- Darstellung der verfügbaren Kapazitäten in Österreich bzw. im EU-Raum
- Qualitätsanforderungen bzw. Übernahmebedingungen für das jeweilige Verfahren und ggf. erforderliche Vorbehandlung
- Übernahme- bzw. Vorbehandlungskosten
- Erzielbare Produkte bzw. Nutzen durch den Einsatz

2 Mengenaufkommen und Entsorgungswege von Bildröhren- glas (Materialfluss)

2.1 Zusammensetzung und Abgrenzung von Bildröhrenglas

Bildröhrengeräte werden sowohl in der Unterhaltungselektronik (Fernsehgeräte) als auch in der Computer- und Steuerungstechnik (Monitore) verwendet. Unter den Begriff Bildröhrengeräte werden Bildschirmgeräte mit Kathodenstrahlröhren (Bildröhre) zusammengefasst. Auch wenn bei Computermonitoren die Bildröhrentechnologie bereits weitgehend durch Flachbildschirme ersetzt wird, ist bei den im Gebrauch befindlichen Fernsehgeräten die Kathodenstrahlröhre immer noch die dominierende Technologie. In den letzten Jahren ging der Trend zu immer größeren Geräten mit Diagonalen von mehr als 29" und einem Gewicht von weit mehr als 30 kg, wobei der prozentuale Anteil der Bildröhre am Gesamtgerät zunimmt.

Die Zusammensetzung von Bildröhrengeräten ist sowohl von der Anwendung (TV oder Computermonitor) als auch vom Alter und Hersteller des Gerätes abhängig. Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die durchschnittliche Zusammensetzung von Fernsehgeräten wie sie derzeit zur Entsorgung anfallen:

Fe-Metalle	~ 13%
Ne-Metalle	~ 5%
Kunststoffe	~ 15%
Glas	~ 56%
sonstige Stoffe	~ 11%

Tabelle 2-1: durchschnittliche Zusammensetzung von Fernsehgeräten [Saalhofer]

Bildröhrengeräte bestehen im Wesentlichen aus einem Gehäuse aus Kunststoff (z.T. auch Holz bei älteren Fernsehgeräten), elektronischen Einrichtungen (wie Platinen, Kabel, Ablenkeinheit usw.) sowie einer Bildröhre. Aufgrund des unterschiedlichen Aufbaus und der Zusammensetzung der verwendeten Materialien werden zwei Typen von Bildröhren unterschieden:

- Farbbildröhren
- Schwarz-weiß Bildröhren (Monochrom-Bildröhren)

Fernsehbildröhren und Computermonitore unterscheiden sich lediglich durch Größe und Gewicht, die verwendeten Materialien bei Fernseh-Bildröhren und Monitore sind identisch. Während das durchschnittliche Gewicht von Fernsehgeräten derzeit bei ca. 26 kg liegt (1998: 17-36 kg; durchschnittlich ca. 28 kg) liegt, haben Computermonitore mit Bildröhren ein durchschnittliches Gewicht von derzeit 15 kg (2000: durchschnittlich 20 kg).

Farbbildröhre

Nachfolgende Abbildung gibt einen schematischen Überblick über den Aufbau einer Farbbildröhre:

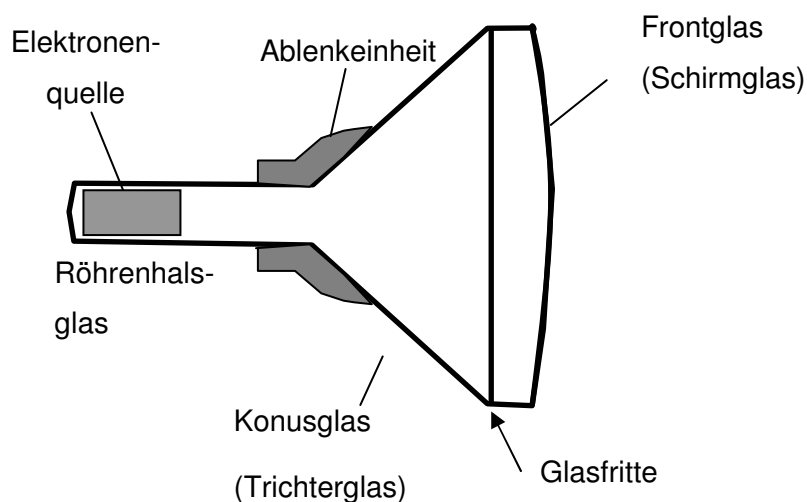


Abbildung 2-1: Schematische Darstellung Farbbildröhre

Die Kathodenstrahlröhre ist mit einem Anteil von über 50% am Gesamtgerät, sowohl volumens- als auch mengenmäßig das Kernstück von Bildröhrengeräten. Im Inneren der Bildröhren befinden sich u.a. die Elektronenstrahleinheit, das Getterplättchen (entweder an der Elektronenstrahleinheit oder am Konusteil befestigt) sowie die Schattenmaske. Auf der Innenseite des Schirmglases befindet sich eine Leuchtpulverschicht (ca. 7-15 g je Bildröhre), über die eine Aluminiumschicht aufgedampft wird. Die Innenbeschichtung des Konusglases besteht zumeist aus Eisenoxid, während die Außenseite mit Graphit und Polyvinylacetat beschichtet wird. An der Außenseite der Bildröhre befinden sich zudem die Ablenkeinheit (am Trichterglas) sowie ein Metallspannring (Implosionsschutz) an der Schnittstelle zwischen Front- und Konusglas.

Eine separierte und entlüftete Bildröhre, wie sie als Input in Behandlungsanlagen eingesetzt wird, setzt sich wie folgt zusammen:

85-87% Glas

13-15% Metalle (Lochmaske, Spann-Maskenrahmen, Haltewinkel, Elektronenstrahleinheit)

~ 0,04% Leuchtstoff

Der Glasanteil der Farbbildröhren setzt sich aus folgenden vier verschiedenen Glasfraktionen zusammen:

- Schirmglas (Frontglas)
- Konusglas (Trichterglas)
- Röhrenhalsglas
- Glasfritte (Glaslot)

Im Hinblick auf die Entsorgung sind Schirm- und Konusglas mengenmäßig die wichtigsten Glasfraktionen, wobei das Verhältnis von Schirmglas zu Konusglas bei ungefähr 2/3 zu 1/3 liegt.

Schirmglas

An das Schirmglas werden die höchsten optischen Anforderungen gestellt. Um einerseits den optischen Anforderungen gerecht zu werden und andererseits schädliche Strahlung abzuschirmen, werden dem Silikatglas Barium- oder Strontiumoxide beigesetzt. Je nach Hersteller bewegen sich die Anteile an Bariumoxid zwischen 8-13% (BaO) und an Strontiumoxid zwischen 2,2-12% (SrO). Zur Verbesserung der Glaseigenschaften und Verarbeitungsqualität werden dem Glas weiters u.a. Antimonoxid (0,2-0,6% Sb_2O_3), Zirkoniumoxid (~2% ZrO_2), Arsen-, Nickel- oder Cobaltoxide (im ppm-Bereich) zugesetzt (vgl. Tabelle 2-2). Bleioxid wird beim Frontglas nicht oder nur in sehr geringen Mengen eingesetzt, da Bleioxid zu Verfärbungen des Glases führen kann.

Werden nicht absolut sortenrein getrennte Frontgläser (bleifrei) aus der Aufbereitung von Bildröhren bei der Frontglasproduktion eingesetzt, kann dies Auswirkungen auf die Verwertungsmöglichkeiten nach sich ziehen, da Bleioxid die Qualität des Glases negativ beeinflusst und somit auch sortenrein getrennte Altglasscherben nicht und nur sehr bedingt als Rohstoff bei der Frontglasproduktion wieder eingesetzt werden können.

Konusglas

Im Gegensatz zum Frontglas sind die optischen Anforderungen an das Konus- bzw. Trichterglas geringer, so dass zur Abschirmung der im Inneren der Bildröhre erzeugten hochenergetischen Strahlung Bleioxid verwendet wird. Der Anteil an Bleioxid variiert zwischen 13 und 25% und hängt sehr stark vom Alter und der Herkunft der Bildröhren ab. Die Menge an Blei (als PbO) kann somit zwischen 0,5 kg für eine 12" Bildröhre und bis zu 3 kg für eine 32" Bildröhre liegen [WARP 2004].

In neueren Geräten ist zudem aufgrund des Einsatzes von aufbereiteten, gemischten Altglascherben mit einem geringen Anteil an Strontium und Barium zu rechnen.

Glasfritte/Röhrenhalsglas

Bei Farbbildröhren werden Schirm- und Konusglas mittels einer Glasfritte (Glaslot) miteinander verbunden. Hierfür werden Glasfritten auf Bleiboratbasis verwendet, deren Schmelzpunkt niedriger ist als der des Konus- und Schirmglases. Der Blei-Anteil liegt bei ca. 80%.

Das Röhrenhalsglas, an dem sich die Elektronenstrahleneinheit befindet, bildet den Abschluss des Trichterglases und enthält durchschnittlich 28-40% Bleioxid.

Im Hinblick auf die Entsorgung haben sowohl Halsglas als auch Glaslot mengenmäßig nur eine geringe Relevanz.

Folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Spannen, in denen sich die Zusammensetzung von Bildröhrengläsern in Europa derzeit bewegen. Die Werte für Behälterglas sind zum Vergleich ebenfalls aufgeführt.

%	Frontglas		Konusglas		Behälterglas
	min	max	min	max	
SiO ₂	58,9	65,4	51,2	63,5	72,0
Al ₂ O ₃	1,2	3,7	1,1	5,0	2,0
Na ₂ O	6,2	9,8	5,3	8,1	13,0
K ₂ O	6,0	9,0	7,2	10,3	1,0
Li ₂ O	0,0	0,5	/	/	/
F	0,0	0,8	/	/	/
BaO	1,9	14,2	0,0	3,0	/
SrO	0,0	11,6	0,2	0,7	/
CaO	0,0	4,6	1,6	4,5	10,0
MgO	0,0	2,0	0,9	3,0	/
As ₂ O ₃	0,0	0,3	0,0	0,2	/
Sb ₂ O ₃	0,2	0,7	0,0	0,4	/
TiO ₂	0,0	0,6	/	/	/
CeO ₂	0,0	0,6	/	/	/
PbO	0,0	3,3	11,6	24,6	/

%	Frontglas		Konusglas		Behälterglas
	min	max	min	max	
ZrO ₂	0,0	3,5	0,2	0,2	/
ZnO	0,0	0,7	/	/	/
Fe ₂ O ₃	0,0	0,1	/	/	/

Tabelle 2-2: durchschnittliche Zusammensetzung von Bildröhrenglas und Behälterglas in % [WRAP 2004]

Zusätzlich können Bildröhrengläser noch färbende Komponenten wie z.B. NiO, Cr₂O₃, CuO enthalten, die die Wiederverwendung evtl. erschweren können.

Monochrombildröhren

Obwohl Monochrombildröhren bei der Anwendung kaum mehr Bedeutung haben, müssen sie aufgrund ihrer Lebensdauer (v.a. bei Fernsehgeräten) und der zum Teil sehr langen "Verweilzeit" in Kellern bei der Entsorgung von Elektrogeräten berücksichtigt werden. Monochrombildröhren bestehen im Gegensatz zu Farbbildröhren aus einem einheitlichen Glaskörper aus Bariumoxidglas mit zusätzlichen Anteilen an Blei (2-5%), Fluor und Lithium. Im Inneren der Röhre befinden sich keine Metallteile und zudem ist die gesamte Bildschirminnenseite einheitlich mit Leuchtstoff beschichtet.

Umweltrelevanz

Der Einsatz von Blei in Elektro- und Elektronikgeräten ist ab dem 1. Juli 2006 europaweit verboten (vgl. RoHS –RL bzw. EAG-VO). Für Bildröhrenglas besteht jedoch eine Ausnahmeregelung, da es hierfür derzeit keine adäquaten Substitutionsmöglichkeiten gibt, die die Anforderungen an Qualität und Sicherheit erfüllen.

Blei und seine Verbindungen sind u.a. als reproduktionstoxisch der Kategorie 1 (Repr. Cat 1; R61, Repr. Cat. 3; R62) und umweltgefährlich (N;R50-53) eingestuft (vgl. RL 67/548/EWG, Anhang I¹). Solange das Blei in die Glasmatrix der Bildröhre eingebunden ist und die Bildröhre nicht beschädigt wird, besteht bei der Verwendung von Bildröhren keine Gefahr für den Verbraucher und die Umwelt. Wird das Glas jedoch zerkleinert und weiterverarbeitet, besteht die Möglichkeit, dass Blei z.B. über Staubpartikel in die Umwelt gelangt.

Ein weiteres Problem stellt die mögliche Elution von Blei, aber auch von anderen Inhaltsstoffen wie z.B. Barium, Strontium, Arsen aus der Glasmatrix unter bestimmten Voraussetzungen (z.B. auf Deponien, Straßenerunterbau) dar, so dass eine nicht ordnungsgemäße Entsorgung negative

¹ Richtlinie 67/548/EWG des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften für die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe (EG Amtsblatt Nr. L 196 S.1), i.d.g.F.

Auswirkungen auf die Umwelt haben kann. Die Auslaugung umweltrelevanter Stoffe wird durch eine große Oberfläche (sehr fein gemahlene Glas), eine saure Umgebung sowie mechanische Belastung begünstigt. Die Auslaugung von Schwermetallen findet jedoch nur oberflächlich statt, so dass bei gleich bleibenden Bedingungen nach einiger Zeit der Auslaugvorgang aufhört. In alkalischer Umgebung wird die Glasmatrix zerstört.

Das auf das Frontglas aufgebraute Leuchtpulver besteht im Wesentlichen aus Phosphor, Zinksulfid und seltenen Erdmetallen (z.B. Yttrium, Europium). Früher wurden v.a. bei Monochrombildröhren auch Cadmiumverbindungen eingesetzt. Inzwischen wird zwar kein Cadmium mehr verwendet, doch können alte Geräte noch cadmiumhaltige Leuchtpulver enthalten. Aufgrund der z.T. toxischen Inhaltsstoffe muss deshalb darauf geachtet werden, dass das Leuchtpulver nicht in den Recyclingkreislauf des Glases eingeschleust wird bzw. in die Umwelt gelangt.

2.2 Gegenwärtig in Österreich anfallende Mengen an Bildschirmgeräten

In Österreich fallen derzeit jährlich schätzungsweise ca. 120.000 t Elektro- und Elektronikaltgeräte an, wobei das Verhältnis von Geräten aus privaten Haushalten zu anderen Bereichen (z.B. Gewerbe, Industrie) ungefähr 55:45 beträgt². Die tatsächlich anfallende Menge an Elektro- und Elektronikaltgeräten ist derzeit nur schwer abschätzbar, mit den in der EAG-VO festgelegten Melde- und Registrierungspflichten wird es jedoch in Zukunft möglich sein, die Massenströme genauer zu erfassen. Der Anteil an Bildröhrengeräten bzw. Bildröhrenglas an der Gesamtmenge ist derzeit ebenfalls nur auf der Grundlage von Abschätzungen möglich.

Relevante Abfallschlüsselnummern

Mit Inkrafttreten der Abfallverzeichnisverordnung (BGBl. II NR. 570/2003) am 1. Jänner 2004 wurde eine Neubewertung der Schlüsselnummer

35210 Bildröhren (nach dem Prinzip der Kathodenstrahlröhre)

vorgenommen, so dass ausgebaute Bildröhren jetzt als gefährliche Abfälle eingestuft sind und dementsprechend entsorgt werden müssen. Bildschirmgeräte, die bisher nicht separat über eine Abfallschlüsselnummer erfasst wurden, müssen seit 1. Mai 2005 (vgl. BGBl. Nr. II 89/2005) unter der Schlüsselnummer

35212 Bildschirmgeräte (einschließlich Bildröhrengeräte)

² Quelle: Umweltbundesamt Süd

als gefährlicher Abfall ausgewiesen werden. Unter dieser Abfallschlüsselnummer werden Geräte erfasst, deren Hauptbestandteil der Bildschirm darstellt, kleine LCD-Anzeigen fallen nicht unter diese Schlüsselnummer.

Für gereinigtes als auch für ungereinigtes Glas aus der Aufbereitung von Bildröhren ist die Schlüsselnummer

31 466 Glas und Keramik mit produktionsspezifischen schädlichen Beimengungen

heranzuziehen (gefährlicher Abfall).

Mit diesen Anpassungen in der Abfalleinstufung wurde das österreichische Recht an geltendes EU-Recht angepasst. Im Europäischen Abfallverzeichnis [2000/532/EG] werden Bildschirmgeräte bzw. Bildröhrenglas unter folgenden Abfallschlüsselnummern als gefährliche Abfälle erfasst:

16 02 13 gefährliche Bestandteile enthaltende gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 12 fallen³*

20 01 35 gebrauchte elektrische und elektronische Geräte, die gefährliche Bauteile enthalten, mit Ausnahme derjenigen, die unter 20 01 21 und 20 01 23 fallen⁴*

16 02 15 aus gebrauchten Geräten entfernte gefährliche Bestandteile*

10 11 11 Glasabfall in kleinen Teilchen und Glasstaub, die Schwermetalle enthalten (z.B. aus Elektronenstrahlröhren)⁵*

Als "gefährliche Bestandteile" elektrischer und elektronischer Geräte wird im Europäischen Abfallverzeichnis neben anderen Bauteilen auch Glas aus Kathodenstrahlröhren und sonstiges beschichtetes Glas explizit aufgeführt.

Werden Bildschirmglasabfälle (Frontglas, Konusglas, Bildröhrenglasgemische, beschichtet und unbeschichtet) exportiert, so unterliegen sie der EU-Verbringungsverordnung (Verordnung (EWG) Nr. 259/93 des Rates vom 1. Februar 1993 zur Überwachung und Kontrolle der Verbringung von Abfällen in der, in die und aus der Europäischen Gemeinschaft). Dort werden "Glasabfälle aus Kathodenstrahlröhren und anderem aktivierten Glas" in der Gelben Liste unter der Position AB 040 ex 7001 00 geführt.

³ Abfälle, die nicht anderswo im Verzeichnis aufgeführt sind

⁴ Siedlungsabfälle (Haushaltsabfälle und ähnliche gewerbliche und industrielle Abfälle sowie Abfälle aus Einrichtungen), einschließlich getrennt gesammelter Fraktionen

⁵ Abfälle aus der Herstellung von Glas und Glaserzeugnissen

Gemeldete Mengen

Durch die Einstufung von Bildröhren bzw. Bildröhrenglas als gefährliche Abfälle und den sich daraus ergebenden Meldepflichten für den Abfallbesitzer bzw. Behandler ist davon auszugehen, dass künftig die Abfallströme genauer erfasst werden können. Die derzeit dem Umweltbundesamt gemeldeten Mengen der Abfallschlüsselnummern 35210 und 31466 sind sehr gering und können nicht für eine Abschätzung der tatsächlich anfallenden Mengen herangezogen werden. Folgende Mengen wurden bisher (Stand Juli 2005) an das UBA für 2004 gemeldet⁶:

Schlüsselnummer	Menge	
35210	436 t	Primärabfälle
	478 t	von Behandlern übernommene Menge
31466	620 t	Primärabfälle
	1.770 t	von Behandlern übernommene Menge

Daten für die Abfallschlüsselnummer 35212 liegen noch nicht vor, da diese erst seit 1. Mai 2005 relevant ist.

Eine genaue Erfassung der anfallenden Mengen an Elektro- und Elektronikaltgeräte ist generell nur schwer durchführbar, da zum einen nicht alle Geräte einer ordnungsgemäßen Entsorgung zugeführt werden und zum anderen die noch funktionsfähigen Geräte z.T. verkauft bzw. verschenkt werden (häufig gehen diese Geräte auch ins Ausland).

Abschätzung des Mengenaufkommen über regionale Datenerhebung

Der Niederösterreichische Abfallwirtschaftsverein hat in Zusammenarbeit mit dem Amt der NÖ Landesregierung eine Datenerhebung zur Sammlung und Verwertung von Elektro- und Elektronikgeräten in Niederösterreich durchgeführt. Die Daten beziehen sich auf das Jahr 2002 und erfassen Elektro- und Elektronikaltgeräte, die über ein 2001 eingeführtes Sammelsystem in Niederösterreich erfasst wurden (Altstoffsammelzentren, Sperrmüllsammmlung, Problemstoffsammelstellen). Geräte, die direkt über den Handel zurückgenommen wurden sowie Geräte, die über Gewerbebetriebe direkt an Sammler bzw. Behandler abgegeben wurden, sind nicht berücksichtigt.

⁶ Quelle: UBA Süd

	2002	2001
erfasste EAG-Sammelmenge gesamt ⁷	4.920.045 kg	3.398.581 kg
durchschnittliche Sammelmenge pro Einwohner ⁸	3,74 kg/EW	2,65 kg/EW
Anteil Bildröhrengeräte ⁹ pro Einwohner	0,54 kg/EW	0,45 kg/EW
Menge an gesammelten Bildröhrengeräten (in t)	712,12 t	578,88 t
Gesammelte Bildröhrengeräte (in Stück, Umrechnungsfaktor: 30 kg/Stk)	23.756	k.A.

Tabelle 2-3: Ergebnisse einer Studie zu Elektro- und Elektronikaltgeräten in Niederösterreich [NÖAbfall 2002]

Der Anteil an PC-Monitoren innerhalb der Kategorie Bildröhrengeräte nahm von 2001 auf 2002 deutlich zu und lag 2002 bei ca. 20%. Dies ist vor allem auf die hohe Austauschrate von Bildröhrengeräten durch Flachbildschirme zu erklären. Experten rechnen damit, dass der Peak an Bildröhrengeräten von Monitoren in 2005 erreicht wird [WRAP 2004, Expertengespräche]. Der Marktanteil an PC-Monitoren mit Bildröhrentechnologie liegt bereits weit unter 50%. In einer Studie in Großbritannien wurde ein Anstieg von EOL-Glas von Computermonitoren bis 2005/2006 prognostiziert. Anschließend wird mit einem starken Rückgang von Bildröhrengeräten aus dem Computerbereich bis zum Jahr 2012 gerechnet [WRAP 2004, Expertengespräche].

Legt man den Anteil an gesammelten Bildröhrengeräten pro Einwohner in Niederösterreich (0,54 kg/EW) zugrunde, so ergibt eine Hochrechnung auf gesamt Österreich (8,1 Mio. EW) eine Menge von 4.374 t Bildschirmgeräte pro Jahr.

$$0,54 \text{ kg/EW} * 8.100.000 \text{ EW} = 4.374 \text{ t Bildschirmgeräte}$$

Diese Menge umfasst jedoch nur über Sammelsysteme erfasste Mengen aus Privathaushalten. Bei einer Verteilung von Altgeräten aus Privathaushalten zu Altgeräten aus anderen Bereichen von 55 zu 45 ergeben sich folgende Mengen:

Bildschirmgeräte aus Privathaushalten: 4.374 t

Bildschirmgeräte aus anderen Bereichen: 3.578 t

Gesamt: 7.952 t (gesamte Geräte)

⁷ Vom Abfallverbund Neunkirchen und der Stadt Klosterneuburg erfolgte keine Meldung.

⁸ Bezogen auf 1.315.387 EW (Einwohneranzahl der an der EAG-Sammlung beteiligten Verbände und Städte)

⁹ Kathodenstrahlröhren (Bildschirme), entspricht im wesentlichen Kategorie 3/4 WEEE

Bei einem durchschnittlichen Glasanteil von 56% ergibt sich daraus eine Anfallmenge an EOL-Glas von ~ 4.400 t.

Vergleicht man diese Zahlen mit Zahlen aus Untersuchungen im Zeitraum von 1995-2000 so haben sich in Bezug auf die Sammelmengen keine wesentlichen Änderungen ergeben. Damals lag das durchschnittliche Aufkommen aus vier untersuchten Regionen bei 3,97 kg/EW und bei 0,6 kg Bildschirmgeräte/EW [BiPRO 2001]. Nach Aussage des UFH (Umweltforum Haushalt), wird davon ausgegangen, dass die erforderliche Sammelmenge von 4 kg/EW bis 2006 erreicht wird.

Abschätzung des Mengenaufkommens über Datenerhebung bei Behandlern von Bildröhren

Bei der Befragung der ermittelten Behandler von Bildröhren in Österreich wurden ebenfalls aktuelle Behandlungszahlen abgefragt. Nach den bisherigen Ergebnissen werden von den österreichischen Behandlern (8 Anlagen) derzeit ca. 230.000 – 250.000 Bildröhren pro Jahr behandelt. Dies entspricht einer Menge von ca. 5.600 – 6.160 t/a (durchschnittliches Gewicht Bildschirmgerät 28 kg) und einer Menge von ca. 3.600 – 3.900 t EOL Glas pro Jahr (Glasanteil 56%). Nach Aussage der Behandler wird mit einem weiteren Anstieg der zu behandelnden Menge gerechnet. Eine Kapazitätserhöhung ist in den meisten Anlagen durch Mehrschichtbetrieb möglich. Zudem wird ein Teil der anfallenden Bildröhrengeräte zur weiteren Aufbereitung exportiert.

Im Vergleich zum Jahr 2000 hat sich die Menge an behandeltem Bildröhrenglas in Österreich von geschätzten 1.000 t [BiPRO 2001] auf fast 4.000 t erhöht. Die Anzahl der Behandlungsanlagen für Bildröhren verdoppelte sich im selben Zeitraum von 4 auf 8 Betriebe.

Abschätzung der Mengen auf der Datenbasis anderer Länder

Die jährlich in Europa anfallende Menge an EOL-Bildröhrenglas (End-of-Life) wird auf 500.000 – 700.000 t ausgegangen [UBA DE 2004]. Einige Schätzungen gehen sogar von bis zu 1.000.000 t aus.

In Deutschland werden derzeit ca. 5-6 Mio. Fernsehgeräte jährlich verkauft. Dabei handelt es sich überwiegend um Ersatzgeräte, aber auch um Zweitgeräte. Nach Herstellerangaben ist die Absatzsituation von Deutschland um den Faktor 0,1 korrigiert auf Österreich übertragbar. Somit kann angenommen werden, dass in Österreich jährlich ca. 500.000 – 600.000 Fernsehgeräte verkauft werden. Hierzu kommen noch Computermonitore.

In Deutschland wird das derzeitige EOL-Glasaufkommen auf ca. 64.000 t geschätzt¹⁰. Für das Jahr 2006 wird der Peak mit 80.000 t erwartet. Legt man die deutschen Zahlen zugrunde so würde sich für Österreich ein Aufkommen an EOL-Glas von

$$64.000 \text{ t/a} \times 0,1 = 6.400 \text{ t/a}$$

ergeben.

Expertengespräche in Deutschland (vgl. Kap. 8) signalisieren einen durchschnittlichen Anfall von 1 kg EOL-Bildröhrenglas pro Einwohner. Aufbauend auf dieser Annahme würde der max. Anfall an EOL-Bildröhrenglas in Österreich bei ca. 8.100 t/a Jahr liegen (8,1 Mio. Einwohner * 1 kg).

Für Großbritannien wurde das Volumen an EOL-Bildröhrenglas in 2002 auf ca. 104.532 t (Einwohnerzahl: 58,6 Mio.) geschätzt. Dazu trugen TV-Geräte mit ca. 69.000 t und Computermonitore ca. 26.000 t bei. Der Anteil an Spezial-Monitore (überwiegend aus Kontrolleinrichtungen) ebenso wie Produktionsabfälle werden auf ~ 5.000 t/a geschätzt [WRAP]. Der Export noch funktionsfähiger Geräte wurde mit ca. 500.000 St/a angegeben.

In Belgien¹¹ liegt die Anzahl der gesammelten TV-Geräte und Monitore jeweils bei ca. 250.000 Stück pro Jahr [QWERTY 2004].

Zusammenfassung

Anhand der verfügbaren Datengrundlage ist derzeit eine genaue Berechnung des Abfallaufkommens an Bildröhrengeräten bzw. EOL-Bildröhrenglas nicht möglich. Deshalb wurde anhand unterschiedlicher Berechnungsansätze die Menge an anfallendem EOL-Glas abgeschätzt. Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die einzelnen Berechnungsmodelle und daraus resultierenden Mengenschätzungen.

¹⁰ Persönliche Information Hr. Hornberger, IPA

¹¹ Einwohnerzahl Belgien: 10,4 Mio. (Quelle: Homepage Europäische Kommission)

Berechnungsansatz	berechnete Mengen	Anmerkungen
Abschätzung des Mengenaufkommen über regionale Datenerhebung	~ 4.400 t	aufgrund gesetzlicher Vorgaben (Rückgabe von Altgeräten direkt beim Händler) ist von einem Anstieg dieser Menge auszugehen
Abschätzung des Mengenaufkommen über Datenerhebung bei Behandlern von Bildröhren	3.600 – 3.900	nicht alle gesammelten Bildschirmgeräte werden in Österreich behandelt
Abschätzung der Mengen auf der Datenbasis anderer Länder	6.400 t/a	
Abschätzung von Behandlungsunternehmen	8.100 t/a	geht man von einer Faustformel 1 kg EOL-Glas pro Einwohner aus, so würde dieser Wert resultieren Er entspricht einem Peak, der in Österreich möglich ist, aber für das Bezugsjahr als überhöht angesehen wird

Tabelle 2-4: Abschätzung Mengenaufkommen EOL-Bildröhrenglas für Österreich (Bezugsjahr 2004)

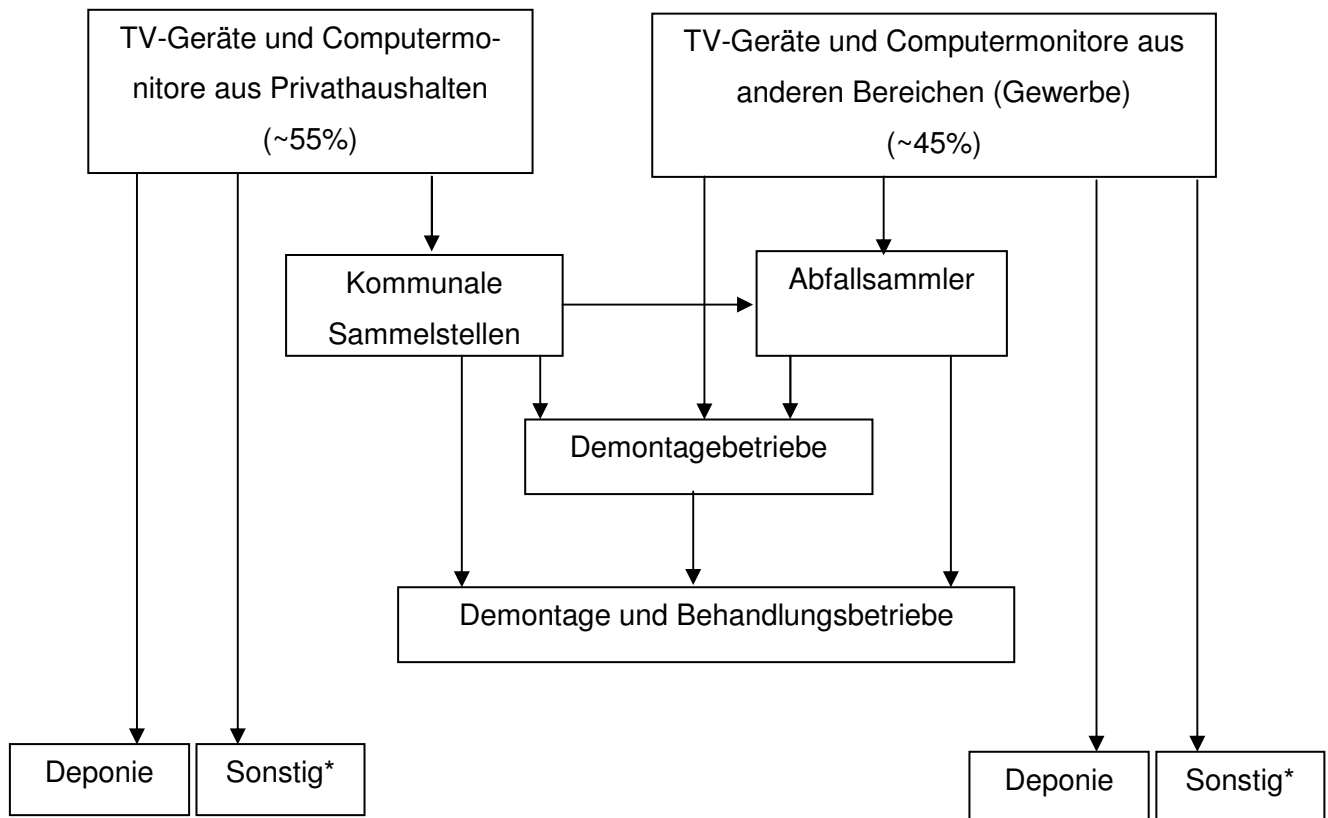
Führt man die Ergebnisse der unterschiedlichen Berechnungsmodelle zusammen, so kann von einem derzeitigen Aufkommen an EOL-Bildröhrengläsern von 5.000 – 7.000 t ausgegangen werden.

2.3 Anfallstellen und gegenwärtige Entsorgungswege (IST Zustand)

Für Privathaushalte besteht derzeit die Möglichkeit, Altgeräte bei kommunalen Sammelstellen abzugeben. Die neue Gesetzgebung sieht zudem vor, dass Händler beim Kauf eines neuen Gerätes im Gegenzug das Altgerät übernehmen.

Gewerbliche Anwender treffen meist direkt Vereinbarungen mit Sammel- bzw. Behandlungsunternehmen.

Folgende Abbildung gibt einen Überblick über die derzeitigen Anfall- und Entsorgungswege von Bildröhren in Österreich:



* z.B. Verkauf noch gebrauchsfähiger Geräte (z.T. Export)

Abbildung 2-2: Überblick über die derzeitigen Anfall- und Entsorgungswege von Bildröhren in Österreich

Nach derzeitigem Stand gibt es in Österreich 8 Behandlungsanlagen für Bildröhren, von denen 6 Anlagen eine Trennung von Schirm- und Konusglas durchführen. In einer Anlage werden die

Bildröhren manuell geöffnet und das Leuchtpulver und die Metallteile entfernt, eine Trennung der Scherben wird jedoch nicht durchgeführt. Es ist geplant, ab Herbst 2005 Schirm- und Konusglas zu trennen. Ein Behandler exportiert die belüfteten Bildröhren nach Deutschland. Dort werden die Bildröhren über eine neu entwickelte Anlage nach dem Schredderprinzip zerkleinert und anschließend sortenrein (nach Angaben des Betreibers mit einer Reinheit von mehr 99%) in Konus- und Schirmglas getrennt.

Die Trennung von Schirm- und Konusglas erfolgt in den meisten Anlagen über einen Heizdraht bzw. Heizband. Anschließend wird die Lochmaske entfernt und das Leuchtpulver vom Schirmglas abgesaugt. In drei der Anlagen wird anschließend das Glas nur grob zerkleinert und in Big Packs abgefüllt an einen anderen Behandler geschickt, der die Gläser weiter aufbereitet.

Die bei der Behandlung von Bildröhrenglas entstehenden Fraktionen werden je nach Qualität und Menge folgenden Verwertungs- bzw. Entsorgungsschienen in Österreich und in anderen europäischen Ländern zugeführt:

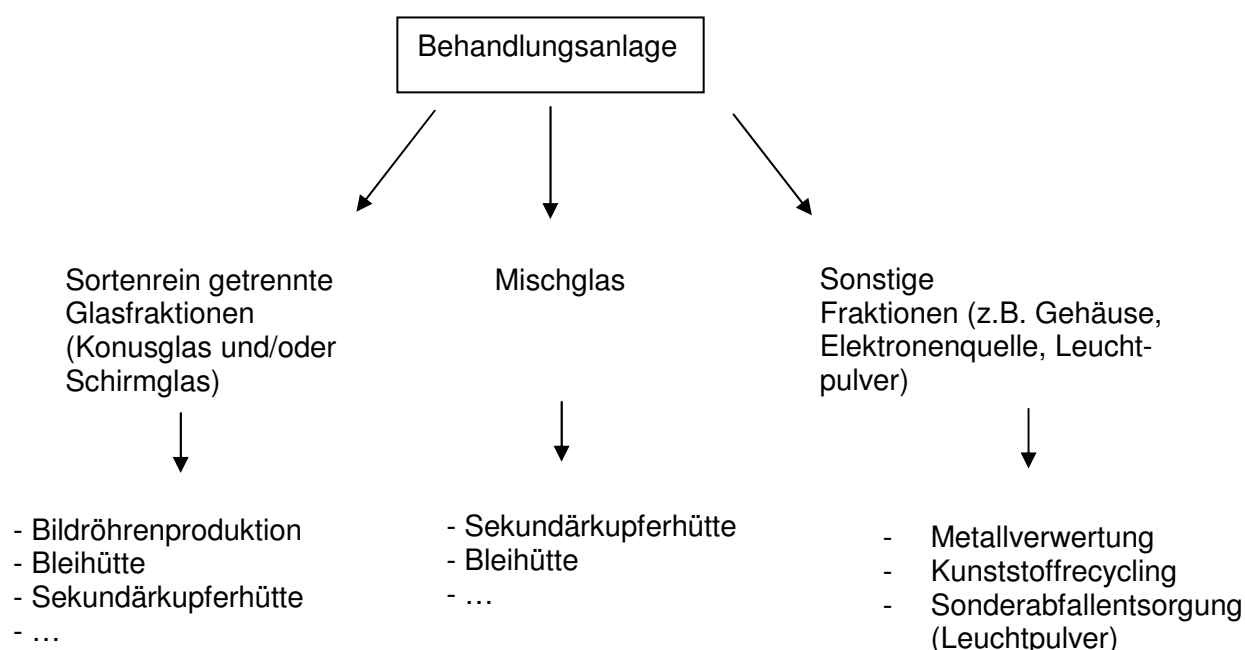


Abbildung 2-3: Verwertungs- und Beseitigungswege der bei der Aufbereitung von Bildröhren anfallenden Fraktionen

Ein großer Teil der in Österreich sortenrein getrennten und von der Leuchtschicht befreiten EOL-Bildröhrengläser wird von einem Unternehmen gesammelt und anschließend zur weiteren Aufbereitung nach Deutschland exportiert. Dort werden die Gläser entsprechend den Vorgaben der Bildröhrenproduzenten von allen unerwünschten Anhaftungen (z.B. Graphit) mittels trocken

abrasiver Verfahren (z.B. Gleitschleifverfahren) bzw. über Nassreinigungsverfahren gereinigt, störende Bestandteile (z.B. Metallstifte) entfernt und auf eine definierte Korngröße zerkleinert. Anschließend werden die EOL-Gläser als Sekundärrohstoff für die Bildröhrenproduktion wieder verwendet. Andere Unternehmen liefern direkt an die entsprechenden Verwertungsstellen.

Ein Teil der anfallenden EOL-Bildröhrengläser (sortenreines Konusglas und Mischglas) wurde in den letzten Jahren auch direkt nach Tschechien zur Konusglasproduktion geliefert. Allerdings gab es nach Aussage eines tschechischen Konusglasherstellers seit einiger Zeit bereits Probleme mit EOL-Bildröhrenglas aus Österreich, da diese als Abfälle der Gelben Liste deklariert werden mussten und der Hersteller nur grünelistete Gläser akzeptierte. Der skizzierte Weg ist jedoch ab Januar 2006 nicht mehr möglich, da das tschechische Werk seine Produktion voraussichtlich einstellt.

Ein Teil der Gläser, v.a. Mischfraktionen und Bruchglas, werden in der österreichischen Bleihütte als Schlackebildner eingesetzt. Diese Kapazität ist begrenzt und liegt bei max. 1.500 t/a. Eine Anlage entsorgt das Schirmglas inklusive Leuchtpulver über die ESB.

In der österreichischen Sekundärkupferhütte werden derzeit ca. 600 t Altglas, darunter auch EOL-Bildröhrengläser, als Schlackebildner eingesetzt. Aufgrund des hohen Mengendurchsatzes kann der Anteil an EOL-Bildröhrengläser noch weiter erhöht werden.

Die Kosten für die Übernahme von Bildröhren zur Behandlung liegen derzeit zwischen 80 und 200 €/t. Je nach Aufbereitungsgrad können für die Bildröhrengläser Erlöse erzielt werden oder es fallen Kosten für die Abnahme an. Werden die Scherben als Schlackebildner in NE-Hütten eingesetzt, so liegen die Kosten für die Abnahme der Gläser zwischen 27 € (reines Konusglas) und 74 € (Mischglas). Bei einem Wiedereinsatz der Gläser in der Bildschirmproduktion können Erlöse zwischen 10 – 100 €/t erzielt werden (Transportkosten nicht gerechnet), abhängig von der Qualität und Menge der Scherben. Die Annahmekosten von Sekundärkupferhütten liegen zwischen 50 und 110 €/t.

Vergleicht man die derzeitige Situation mit 2000 so hat sich vor allem die zur Behandlung von Bildröhren zur Verfügung stehende Kapazität mehr als verdoppelt. Nach Auswertung der von den Betreibern von Bildröhrenbehandlungsanlagen gemachten Kapazitätsaussagen stehen in Österreich derzeit Behandlungskapazitäten von mehr als 250.000 Bildröhren pro Jahr zur Verfügung, die bei Bedarf über Schichtbetrieb noch weiter erhöht werden können. Weiterhin werden Geräte zur Behandlung auch exportiert (z.B. nach Deutschland).

Die Verwertungsweg von aufbereiteten EOL-Glas haben sich im Vergleich zu 2000 ebenfalls verändert. Wurde 2000 das aufbereitete EOL-Bildröhrenglas größtenteils noch in einer Bleihütte verwertet und auf Deponien entsorgt, so wird jetzt ein Großteil der aufbereiteten Altgläser zur

stofflichen Verwertung als Rohstoff bei der Bildröhrenproduktion eingesetzt. Die hohe stoffliche Verwertungsrate ist nur möglich, da die Behandlungsanlagen die Bildröhren in sortenreine Fraktionen zerlegen und somit die Voraussetzungen für den Wiedereinsatz erfüllen. Anlagen, die nach dem Schredderprinzip arbeiten, werden in Österreich nach derzeitigem Stand nicht mehr eingesetzt.

Auch in Deutschland werden Bildröhren inzwischen fast ausschließlich nach dem Trennverfahren behandelt. Anlagen, in den z.T. ganze Geräte zerkleinert und die einzelnen Fraktionen anschließend soweit möglich separiert wurden, wurden ganz geschlossen, da sie nicht mehr gesetzeskonform sind.

Im europäischen Ausland werden die anfallenden EOL-Gläser z.T. auch als Bergversatz, in der keramischen Industrie (Fliesen), Straßenunterbau und anderen Bereichen eingesetzt. Zum Teil werden die EOL-Bildröhrengläser auch außerhalb Europa exportiert und als Rohstoff bei der Bildröhrenproduktion eingesetzt.

2.4 Rechtliche Vorgaben

Elektro- und Elektronikaltgeräteverordnung

Sowohl in der EAG-VO als auch in der AbfallbehandlungspflichtenVO sind Mindestanforderungen bezüglich der Behandlung und Verwertung von Bildröhrengeräten festgelegt.

Gemäß EAG-VO sind für Bildschirmgeräte folgende Verwertungs- und Wiederverwendungsquoten bis Ende 2006 zu erreichen:

Sammel- und Behandlungskategorien	Gerätekatgorien gemäß Anhang 1		Verwertungsziele des durchschnittlichen Gewichts je Gerät	
			Verwertungsquote	Quote der Wiederverwendung und der stofflichen Verwertung für Bauteile, Werkstoffe und Substanzen
Bildschirmgeräte einschließlich Bildröhrengeräte	3.	IT&T-Geräte – Monitore (Kathodenstrahlröhre, LCD- und Plasmamonitore)	75%	65%
	4.	Unterhaltungselektronik – Fernsehgeräte (Kathodenstrahlröhre, LCD- und Plasmamonitore)	75%	65%

	9.	Überwachungs- und Kontrollinstrumente – Monitore	70%	50%
--	----	--------------------------------------------------	-----	-----

Tabelle 2-5: Verwertungs- und Wiederverwendungsvorgaben für Bildschirmgeräte gemäß EAG VO

Wie in Tabelle 2-5 dargestellt sind mindestens 75% (70% bei Überwachungs- und Kontrollinstrumenten) des durchschnittlichen Gewichts von Bildschirmgeräten (Bildröhren and andere Technologien) einer Verwertung zuzuführen. Die Quote der Wiederverwendung und stofflichen Verwertung für Bauteile, Werkstoffe und Substanzen liegt bei den Geräte-Kategorien 3 und 4 bei 65% und bei der Geräte-Kategorie 9 bei 50%.

Der Begriff "Wiederverwendung" wird dabei in der der EAG-VO wie folgt definiert:

"Maßnahmen, bei denen die Elektro- und Elektronik-Altgeräte zu dem gleichen Zweck eingesetzt werden, für den die Geräte entworfen wurden, einschließlich der weiteren Nutzung von Geräten oder ihren Bauteilen, die zu Sammelstellen, Vertreibern, Verwertungsbetrieben oder Herstellern gebracht werden"

Eine Definition des Begriffs "stoffliche Verwertung" findet sich im Abfallwirtschaftsgesetz [AWG 2004]. Gemäß § 2 Abs. 5 Z 2 Abfallwirtschaftsgesetz

"ist stoffliche Verwertung die ökologisch zweckmäßige Behandlung von Abfällen zur Nutzung der stofflichen Eigenschaften des Ausgangsmaterials mit dem Hauptzweck, die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe unmittelbar für die Substitution von Rohstoffen oder von aus Primärrohstoffen erzeugten Produkten zu verwenden, ausgenommen die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe werden einer thermischen Verwertung zugeführt."

Mit Blick auf die vorgegebenen Quoten und den Anteil der Bildröhrengeräte am gesamten Bildschirmgeräteaufkommen ist es daher essentiell, dass die anfallenden Bildröhrengeräte erfasst und einer Behandlung zugeführt werden. Vor allem die Aufbereitung und Verwertung von Kathodenstrahlröhren ist dabei von besonderer Bedeutung, da diese einen Anteil von mehr als 50% am Gesamtgerät darstellen.

Abfallbehandlungspflichtenverordnung

In der Abfallbehandlungspflichtenverordnung werden im ersten Abschnitt Mindestanforderungen festgelegt, die bei der Sammlung, Lagerung und Behandlung von Elektro- und Elektronikaltgeräten einzuhalten sind. Grundsätzlich sind Elektro- und Elektronikaltgeräte so zu lagern und zu transportieren, dass eine nachfolgende Zerlegung oder eine stoffliche Verwertung nicht erschwert oder unmöglich gemacht wird (§4). In Bezug auf die Lagerung und Transport von Bildschirmgeräten ist v.a. darauf zu achten, dass die Bildröhre nicht beschädigt wird, da sonst die

Gefahr besteht, dass gesundheits- und umweltrelevante Stoffe (z.B. Leuchtpulver) entweichen und in die Umwelt gelangen können.

Für die Behandlung von Bildschirmgeräten legt die AbfallbehandlungspflichtenVO folgende Schritte fest:

- *die Kathodenstrahlröhren sind so zu entfernen, dass Kontaminationen anderer Bauteile und der Umwelt ausgeschlossen werden und diese anschließend ordnungsgemäß zu behandeln sind (§ 6 Z9, Schadstoffentfrachtung)*
- *von Kathodenstrahlröhren sind die fluoreszierende Beschichtung, die Getterplättchen und die Elektronenquelle zu entfernen sind (§ 7 Abs. 1 Z 2)*

Weiters sind für die Behandlung und die stoffliche Verwertung von Bildröhrengeräten folgende Einschränkungen zu berücksichtigen (§ 13 Unzulässige Behandlung):

(1) Unbeschadet der Bestimmungen des § 12 Abs. 1 ist das Zerkleinern, wie zB das Schreddern von nicht-schadstoffentfrachteten Elektro- und Elektronik-Altgeräten nicht zulässig, wenn durch die Behandlung nicht ausgeschlossen werden kann, dass dadurch eine Freisetzung umweltrelevanter Stoffe erfolgt.

(3) Die Verwendung von bleihaltigen Glasfraktionen aus der Behandlung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten als

- *Schleifmittel oder*
- *in der Baustoffindustrie zur Herstellung von Baustoffen und als Bauzuschlagstoff oder*
- *in der keramischen Industrie oder*
- *bei der Schaumglasherstellung*

ist nicht zulässig.

(4) Eine stoffliche Verwertung von barium- und strontiumhaltigem Glas aus Bildröhren ist nur in jenen Fällen zulässig, in denen Barium und Strontium auf Grund technischer Erfordernisse dem neuen Produkt zugesetzt werden müssen.

Vor allem die Einschränkungen in Bezug auf Barium und Strontium führen dazu, dass für das mengenmäßig bedeutende Schirmglas als stoffliche Verwertung bisher nur der Wiedereinsatz als Rohstoff bei der Bildröhrenproduktion möglich ist.

2.5 Zukünftige Mengenentwicklung (Trends) unter Berücksichtigung der angestrebten Sammelmengen

Die Elektro- und Elektronikindustrie ist eine von technischen Innovationen geprägte Industrie. Dies führt dazu, dass Elektro- und Elektronikgeräte in immer kürzeren Zeitintervallen ausgetauscht und durch neue ersetzt werden, ohne dass die Geräte ihr Lebensende bereits erreicht haben. Diese Tendenz ist v.a. auch bei Computermonitoren mit einer Austauschrate von z.T. weniger als 2 Jahren zu erkennen, obwohl die Lebensdauer der Geräte mindestens zwischen 5-7 Jahren liegt. Bei Fernsehgeräten wird von einer durchschnittlichen Lebensdauer von ca. 10 - 12 Jahren ausgegangen.

Die immer kürzeren Austauschintervalle führen zu einem steigenden Anfall an Elektro- und Elektronikaltgeräten. In den Ländern der europäischen Union wird mit einem jährlichen Anstieg an Altgeräten von 3-5% gerechnet, was nahezu zu einer Verdoppelung der Anfallmenge innerhalb von 12 Jahren führen wird.

Weltweit wird in den nächsten Jahren noch mit einer leicht steigenden Nachfrage nach Bildröhrengeräten gerechnet, was zum einen auf den wachsenden Wohlstand in einzelnen Bevölkerungsgruppen der Schwellenländer und zum anderen auf Mehrfachausstattungen in Haushalten in Europa, Nordamerika und Japan zurückzuführen ist. Im Hinblick auf den Umsatz werden jedoch sinkende Zahlen erwartet. Dabei differenziert sich der Markt zusehends in ein High-End- und ein Low-End-Segment.

Bildröhren werden einerseits bei sehr hochwertigen Geräten (bis zu 10.000 €) zum Einsatz kommen, da die Qualität alternativer Technologien noch nicht ausreichend ist. Allerdings werden die Stückzahlen relativ gering sein. Das zweite Marktsegment sind Bildröhrengeräte zu Niedrigpreisen, die in großen Stückzahlen hergestellt werden. Die Produktion verlagert sich dabei immer mehr in Länder mit niedrigerem Lohnniveau (z.B. Ostasien, Südamerika).

Während bei PC-Monitoren inzwischen der Anteil an alternativen Technologien (Flachbildschirme) weit über 50% des Marktvolumens liegt, ist bei Fernsehgeräten mit größeren Bildschirmdiagonalen die Bildröhre immer noch die dominierende Technologie mit ~86%. 1998 lag der Marktanteil noch bei 97,5% [Roadmap 2003].

Die jährliche Produktion von Bildröhrenglas in Europa lag 2002 bei ~ ca. 525.000 t [UBA DE 2004]. Nach Angaben des europäischen Verbandes gab es 2003 noch insgesamt 8 Produktionsstandorte (3x Deutschland, UK, Tschechien, Frankreich, Polen, Litauen, Italien) für Konus- und/oder Schirmglas [EECA 2004], der Importanteil lag bei ca. 21%. Aufgrund der sinkenden Nachfrage nach Bildröhrengeräten und dem hohen Preisdruck sinkt die Produktion von Bildröhrenglas in Europa kontinuierlich und verlagert sich immer mehr in außereuropäische Länder

(z.B. Asien). Von den 8 Produktionsstandorten wurden mittlerweile drei geschlossen und zwei weitere stellen dieses bzw. nächstes Jahr die Produktion ein, so dass zukünftig nur drei Bildröhrenproduzenten für die Abnahme von EOL-Gläsern in Europa zur Verfügung stehen.

Es gibt derzeit Bemühungen neue Verwertungswege aufzubauen, um die auf hohem Niveau aufbereiteten EOL-Bildröhrengläser als Sekundärrohstoff bei der außereuropäischen Bildröhrenproduktion einzusetzen. Ein Teil der hochwertig aufbereiteten Gläser wird bereits als Sekundärrohstoff für die Bildröhrenproduktion exportiert.

Nach Einschätzung von Experten ist davon auszugehen, dass 2005 und 2006 die Menge an Bildröhrengeräten zur Entsorgung noch zunimmt, um dann langsam abzunehmen. Vor allem im Bereich der PC-Monitore wird die Technologie der Bildröhre durch andere Technologien verdrängt.

Mit Inkrafttreten der EAG wird eine weitere Zunahme der zur Behandlung vorgesehenen Elektro- und Elektronikaltgeräten erwartet und somit auch ein vermehrtes Aufkommen an Bildröhren in Österreich. Nach Aussagen der Behandler kann die derzeit verfügbare Kapazität von > 250.000 St/a durch Mehrschichtbetrieb noch gesteigert werden.

3 **Verfügbare Technologien zur Behandlung von Bildröhren**

In Österreich erfolgt die Zerlegung der Bildschirmgeräte entweder in speziellen Demontage Betrieben oder als Vorstufe bei Anlagen zur Behandlung von Bildröhren. Ziel der Demontage ist die Schadstoffentfrachtung sowie die Fraktionierung der Bildschirmgeräte.

Der Demontageprozess von Bildschirmgeräten läuft im Wesentlichen wie folgt ab:

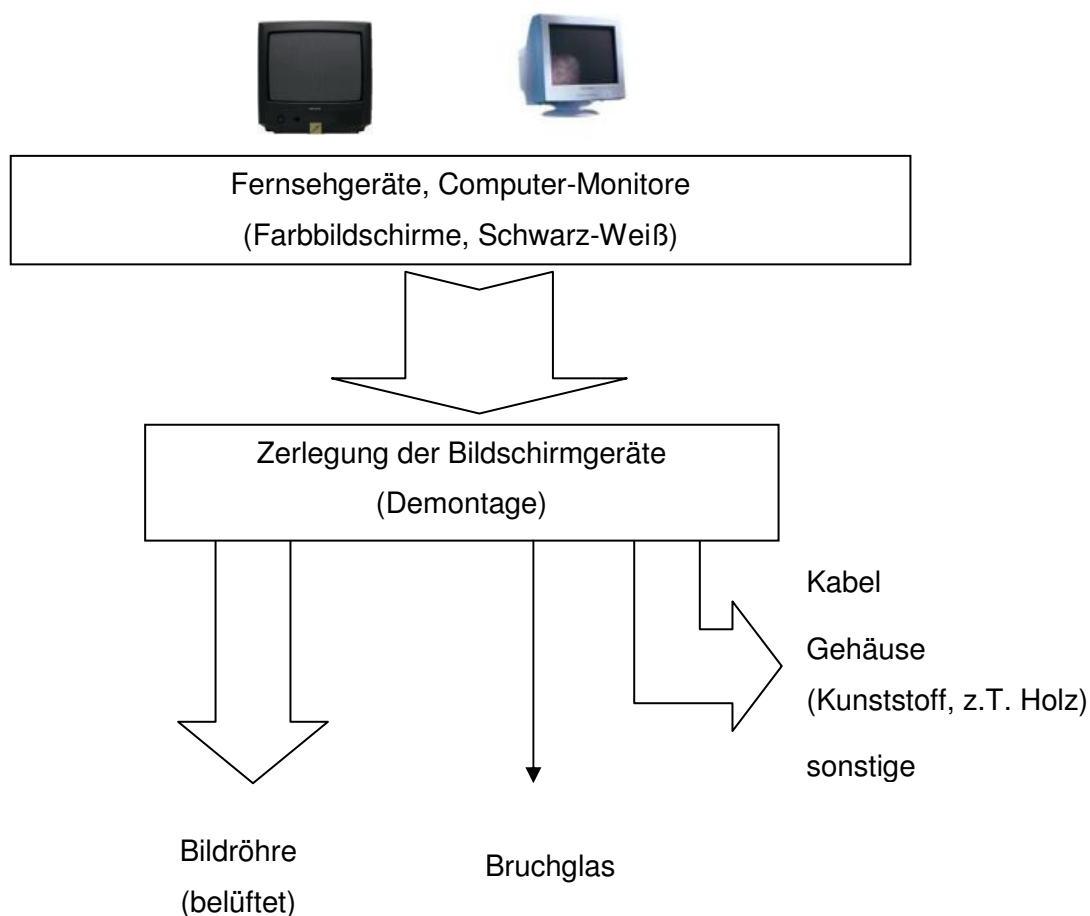


Abbildung 3-1: Demontage von Bildröhren

Bei der Demontage von Bildröhrengeräten werden Gehäuse, Kabel und sonstige Komponenten entfernt und einer ordnungsgemäßen Verwertung bzw. Entsorgung zugeführt. Die freigelegte Bildröhre wird belüftet und kann anschließend je nach Anlagentyp entweder direkt in der Anlage oder aber in einer speziellen Bildröhrenbehandlungsanlage weiterbehandelt werden. Während der Demontage und beim Transport beschädigte Bildröhren können nur bedingt zur weiteren Behandlung eingesetzt werden. Deshalb ist sowohl bei der Demontage als auch beim Transport

der Bildröhren darauf zu achten, dass diese nicht beschädigt werden da sonst eine sortenreine Aufbereitung nicht mehr möglich ist.

Für die Behandlung von Bildröhren werden gegenwärtig grundsätzlich zwei verschiedene Verfahren angewendet:

- Trennverfahren (Zerlegeprinzip)
- Schredderverfahren

Die Wahl des Verfahrens und die Qualität bzw. Sortenreinheit der behandelten Gläser hat dabei einen entscheidenden Einfluss auf die späteren Behandlungs- bzw. Verwertungsmöglichkeiten des Bildröhrenglases.

In Österreich gibt es derzeit 7 Betriebe die eine Behandlungsanlage für Bildröhren nach dem Trennverfahren betreiben, eine Anlage, die früher noch selbst die Bildröhren behandelt hat, schickt die gesammelten und belüfteten Bildröhren nach Deutschland zur Behandlung in einer Anlage nach dem Schredderprinzip. Schredderanlagen werden nach dem derzeitigen Stand in Österreich nicht eingesetzt.

3.1 Kennzeichnung verfügbarer Technologien zur Behandlung von Bildröhren in Österreich

Trennverfahren (Zerlegeverfahren):

Das Ziel bei der Aufbereitung von Bildröhren durch das Trennverfahren ist es, durch Trennung von Konus- und Frontglas möglichst sortenreine EOL-Glasfraktionen zu erhalten, um diese anschließend einer hochwertigen Verwertung zuführen zu können.

Als Input werden ganze, belüftete Bildröhren unterschiedlicher Größe, wie sie aus der manuellen Demontage anfallen, eingesetzt. Zerbrochene Bildröhren können nur bedingt eingesetzt werden, da eine exakte Trennung der Glasfraktionen meist nicht mehr möglich ist. Nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über die relevanten Verfahrensschritte bei der Auftrennung von Bildröhren:

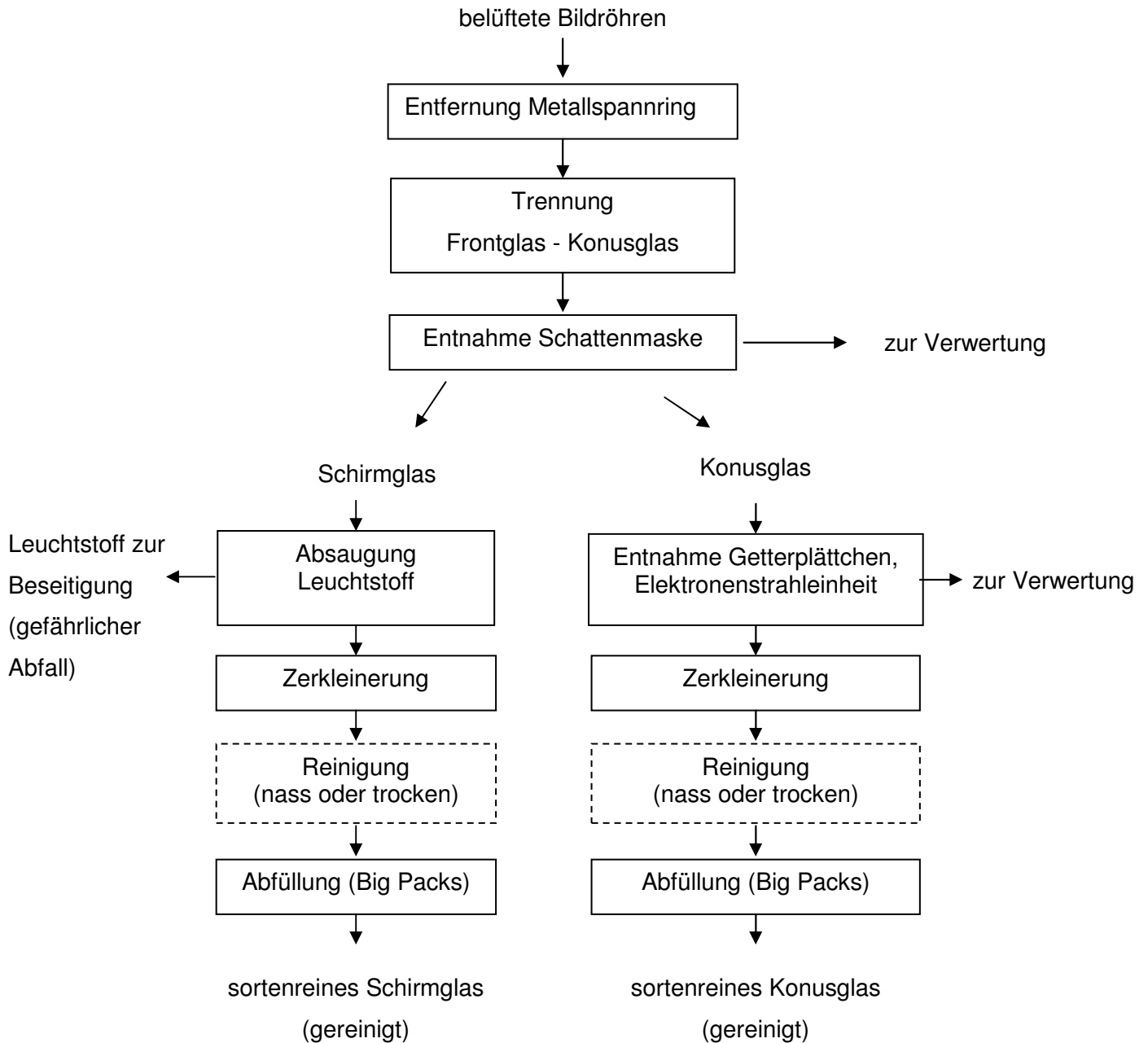


Abbildung 3-2: Verfahrensablauf Bildröhrenbehandlung nach dem Trennprinzip

Bei der Behandlung von Bildröhren wird als erstes das Implosionsschutzband entfernt und der Metallverwertung zugeführt. Anschließend werden Konus- und Schirmglas getrennt. Hierfür sind unterschiedliche Verfahren im Einsatz:

- Heizdraht/Heizband
- Diamantsäge
- horizontale/vertikale Scheibe
- Laser

Am häufigsten wird derzeit das Verfahren mit dem Heizdraht bzw. Heizband eingesetzt. Jedes Verfahren hat seine Vor- und Nachteile z.B. hinsichtlich Durchsatzgeschwindigkeit oder Trenngenauigkeit. Wichtig ist, dass kein bleihaltiges Glas am Schirmglas haften bleibt (Trennung im Bereich des Schirmglases und nicht direkt am Glaslot).

Nach dem Auftrennen der Bildröhre kann die Schattenmaske, das Getterplättchen und die Elektronenquelle entfernt werden. Sobald Schirm- und Konusglas einmal separiert wurden, ist v.a. darauf zu achten, dass keine Vermischung der beiden Gläser mehr stattfindet.

Das separierte Konusglas wird je nach Anlage und Verwertung entweder direkt in Big Packs verpackt oder noch weiter zerkleinert bzw. gereinigt. In einigen Anlagen erfolgt die Zerkleinerung nur durch Bruch in die Big Packs.

Beim separierten Frontglas muss als erstes das auf der Innenseite anhaftende Leuchtpulver entfernt werden. Dies erfolgt entweder manuell z.T. mit Unterstützung durch Bürsten oder mechanisch abrasiv (nass oder trocken). Bei der Entfernung des Leuchtpulvers ist darauf zu achten, dass kein Leuchtpulver in die Umgebung gelangt (Absaugung) und zum anderen die Leuchtschicht komplett entfernt wird, um eine Einschleusung des Leuchtpulvers in den Recycling-Kreislauf zu verhindern. Das Leuchtpulver muss als gefährlicher Abfall entsorgt werden.

Wie beim Konusglas ist die weitere Behandlung des Schirmglases von der Anlage abhängig. Zum Teil werden die Gläser manuell zerschlagen bzw. in Big Packs abgefüllt und zur weiteren Behandlung bzw. Verwertung geschickt.

Einige Anlagen haben integrierte Reinigungs- und Zerkleinerungsanlagen, um die noch anhaftenden Beschichtungen (z.B. Graphit) zu entfernen und die Gläser entsprechend der vorgegebenen Anforderungen auf definierte Korngrößen zu zerkleinern.

Generell sollten die Anlagen über Absaugeinrichtungen verfügen bzw. gekapselt sein, um zu vermeiden, dass die bei der Behandlung entstehenden Stäube (Leuchtpulver, bleihaltige Stäube) Arbeitnehmer und Umwelt gefährden. Werden die anhaftenden Beschichtungen über eine Nassreinigung entfernt, so sollte das anfallende Prozesswasser im Kreislauf geführt werden.

Nach der Behandlung der Bildröhren stehen für die weitere Verwertung im Wesentlichen folgende Glasfraktionen zur Verfügung:

- sortenreines bleihaltiges Konusglas (inkl. Glasfritte, Halsglas)
- barium/stromtiumhaltiges Schirmglas

Neben diesen definierten Glasfraktionen fallen in geringen Mengen Glasabrieb bzw. Mischglas an, die meist gesondert verwertet bzw. entsorgt werden müssen (z.B. Bleihütte).

3.2 Kennzeichnung verfügbarer Technologien zur Behandlung von Bildröhren im EU-Raum

Neben dem oben beschriebenen Trennverfahren oder Zerlegeverfahren werden Bildröhren auch nach dem Schredderprinzip aufbereitet. Im Gegensatz zum Trennverfahren werden in Schredderanlagen die Bildröhren dabei erst zerkleinert und anschließend weiterbehandelt. Bei diesem Verfahren kann auch Glasbruch eingesetzt werden. In der nachfolgenden Abbildung ist der Verfahrensablauf schematisch dargestellt:

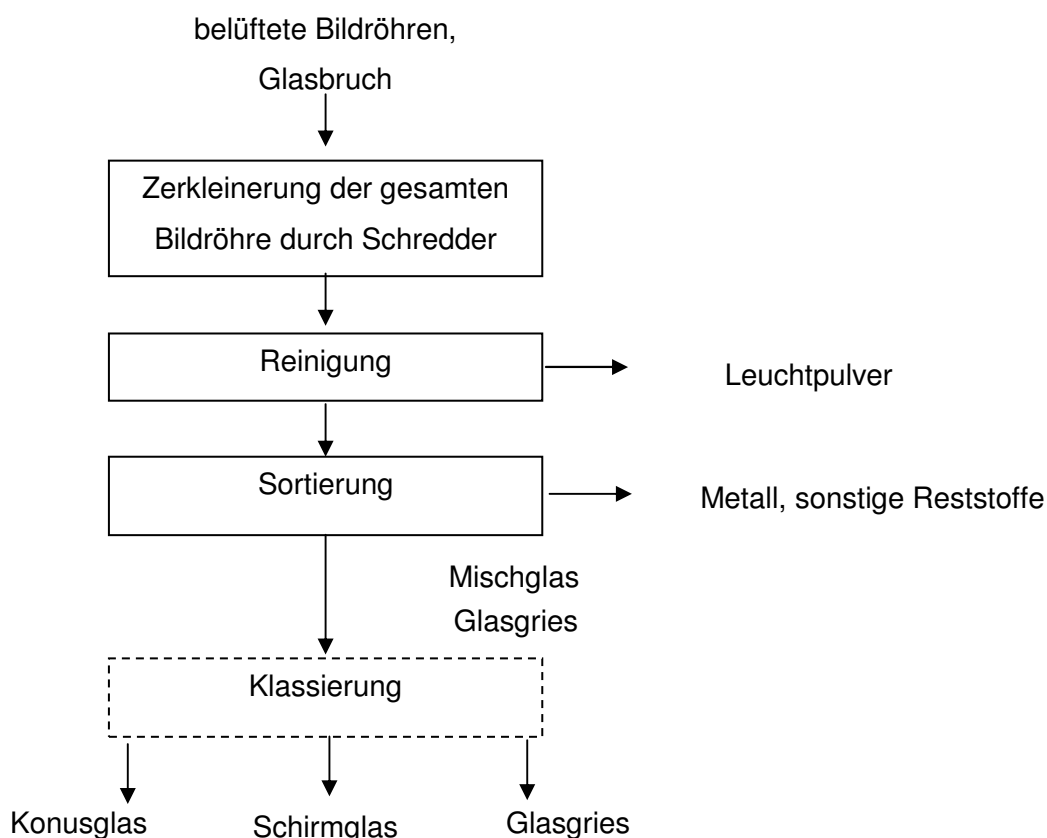


Abbildung 3-3: Verfahrensablauf Bildröhrenbehandlung nach dem Trennprinzip

Im ersten Schritt werden die Bildröhren zusammen mit den enthaltenen Metallteilen zerkleinert. Anschließend muss das Gemisch einer Reinigung zugeführt werden, um das bei der Zerkleinerung freigesetzte Leuchtpulver sowie weitere Anhaftungen von den Scherben und Metallteilen soweit wie möglich zu entfernen. Hierfür werden meist Trommeln eingesetzt, um durch die abrasive Wirkung des Umwälzvorgangs die Beschichtungen zu lösen und anschließend abzusaugen. Die Reinigung kann dabei trocken oder nass erfolgen. Über Abscheidesysteme werden anschließend die enthaltenen Metallteile entfernt und einer Verwertung zugeführt. Das Glasge-

misch kann - je nach Anlage und Anforderungen - noch über spezielle Klassier- und Sortieranlagen nach Größe und Glastype separiert werden. Eine absolut sortenreine Trennung von Bleiglas und Frontglas ist jedoch vor allem bei den kleineren Glasteilen nicht möglich.

In Deutschland wurde eine Anlage nach dem Schredderprinzip in Betrieb genommen, mit der nach Aussage der Betreiber durch neue Technologieentwicklungen getrennte Glasfraktionen (Frontglas und Konusglas) mit einer Reinheit von über 99% realisiert werden können. Getterplättchen und Kathodenstrahlröhren werden vor dem Zerkleinern entfernt.

Der hohe Reinheitsgrad der Scherben wird v.a. durch mehrere Separierungsschritte mit unterschiedlichen Technologien (z.B. Infrarot, Röntgen) erreicht. Der anfallende Glasgries enthält eine sehr hohe Bleikonzentration und kann deshalb entweder bei der Konusglasproduktion oder in Bleihütten eingesetzt werden.

Nach Angaben der Betreiber ist es mit dieser Anlage möglich, schwach bleihaltige Frontgläser (2-3% Blei, vgl. Tabelle 2-2) von absolut bleifreien Frontgläsern zu trennen. Durch die eingesetzte Technologie und weiteren spezifischen Konfektionierungsschritten können nach Aussage der Betreiber Qualitäten für aufbereitete Frontgläser erzielt werden, die einen Einsatz in der Hohlglasindustrie möglich machen. Da diese Qualitäten aber erst bis Mitte 2006 erreicht werden und zudem Gläser für die Bildröhrenproduktion gesucht werden, gehen die derzeit aufbereiteten Mengen in die Konusglas- bzw. Frontglasproduktion.

Neben diesen Anlagen gab – oder gibt – es auch Anlagen, bei denen Bildröhrengeräte als ganzes (inklusive Gehäuse) einem Schredder zugeführt und zerkleinert werden. Anschließend werden die entsprechenden Fraktionen über Sortiereinrichtungen getrennt. Durch dieses Verfahren, können neben den Gläsern zusätzlich auch noch die restlichen Bestandteile des Bildschirmgerätes mit umweltrelevanten Stoffen verunreinigt werden. Die dabei anfallenden Fraktionen wurden meist als Versatz unter Tage deponiert. Durch die geänderte Gesetzgebung (Ausbau der Bildröhre, Entfernung des Leuchtpulvers) ist diese Art der "Aufbereitung" in Zukunft jedoch weitgehend unterbunden.

3.3 In Entwicklung begriffene Technologien und deren Realisierbarkeit

Derzeit gibt es keine prinzipiell neuen Technologien zur Behandlung von Bildröhren. Die Innovationen im Bereich Bildröhrenbehandlung liegen v.a. in der Verbesserung der aktuellen Technologie. Aufgrund der unterschiedlichen Glaszusammensetzung und den begrenzten Einsatzmöglichkeiten wird in Zukunft eine sortenreine Trennung von Front- und Konusglas immer wichtiger für eine stoffliche Verwertung der anfallenden Glasfraktionen. Entwicklungen zielen des-

halb insbesondere darauf ab, dass zum einen die Trennung und Reinigung der Teile verbessert wird und zum anderen die Bearbeitungsgeschwindigkeit erhöht werden kann.

3.4 Output aus den verschiedenen Technologien und korrespondierende Einsatzmöglichkeiten (spezifische Mengen, weitere Verwendung)

Die Behandlung von Bildröhrengeräten erfolgt entweder über ein Trennverfahren oder nach dem Schredderprinzip. Während bei ersterem nach dem Auftrennen der beiden Glasfraktionen eine separate Weiterbehandlung der Gläser erfolgt, wird bei Verfahren nach dem Schredderprinzip zuerst die gesamte Bildröhre zerkleinert und behandelt. Erst am Ende des Aufbereitungsprozesses erfolgt eine Separierung der Glasfraktionen. Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Vor- und Nachteile der beiden Verfahren:

Zerlegeverfahren	Schredderverfahren
+ sortenreine Trennung	- Trennung der Gläser möglich, doch Qualität geringer (abhängig vom Verfahren)
+ hochwertige Verwertung der Gläser möglich	+ Einsatz von Glasbruch möglich
- geringere Durchsatz, teurer	+ höherer Durchsatz
- es können nur ganze Bildröhren behandelt werden	+ günstiger

Tabelle 3-1: Überblick über Vor- und Nachteile der Behandlungsverfahren für Bildröhren

Mit Blick auf eine hochwertige Verwertung und um das Einbringen von gesundheits- und umweltrelevanten Stoffen in andere Produktkreisläufe zu verhindern, sind deshalb Verfahren, die eine sortenreine Trennung der Gläser ermöglichen, zu bevorzugen. Diese Tendenz zeichnet sich auch bei den existierenden Aufbereitungsanlagen ab.

Je nach Verfahren stehen für die weitere Verwertung folgende Glasfraktionen zur Verfügung:

- sortenreines Konusglas
- sortenreines Schirmglas
- Mischglas
- Glasbruch, Glasgries

Auf die spezifischen Anforderungen wie z.B. Korngröße, Reinheit, Rest-Metallgehalt usw., die für die Verwendung der EOL-Bildröhrengläser in den unterschiedlichen Einsatzbereichen erforderlich sind, wird im folgenden Kapitel eingegangen.

4 Verfügbare Technologien zur Verwertung bzw. Entsorgung von Bildröhrenglas

Die aus der Aufbereitung von Bildröhrengläsern anfallenden Glasfraktionen (sortenreine Gläser, Mischfraktion) werden je nach Eignung und Bedarf in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt. Oberste Priorität bei der Verwertung sollte gemäß den gesetzlichen Vorgaben dabei die Schließung von Kreisläufen haben (closed-loop-Recycling), d.h. die anfallenden Gläser werden als Rohstoffsubstitut für die Bildröhrenproduktion verwendet. Ist dies aufgrund von Qualitäts- oder aber auch Kapazitätsproblemen nicht möglich, so sollte zumindest eine Verwertung angestrebt werden, bei der die im EOL-Glas enthaltenen Stoffe als Substitut von Primärrohstoffen in anderen Produkten eingesetzt werden (stoffliche Verwertung). Ist keine Verwertung möglich, so ist eine schadlose Beseitigung vorzusehen.

Für die Verwertung und Entsorgung von EOL-Bildröhrenglas stehen europaweit je nach Aufbereitungsgrad verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. In den nachfolgenden Kapiteln werden aktuelle und zukünftige Verwertungs- und Entsorgungsweg von Bildröhrenglas dargestellt und anschließend einem ökonomisch-ökologischen Vergleich unterzogen.

Die möglichen bzw. zur Verfügung stehenden Verwertungswege hängen z.T. auch von nationalen Gesetzgebungen ab. So ist in Österreich die Verwendung von bleihaltigen Glasfraktionen aus der Behandlung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten als Schleifmittel, in der Baustoffindustrie zur Herstellung von Baustoffen und als Bauzuschlagstoff, in der keramischen Industrie oder bei der Schaumglasherstellung nicht zulässig (vgl. AbfallbehandlungspflichtenVO). Zudem ist eine stoffliche Verwertung von barium- und strontiumhaltigem Glas aus Bildröhren nur in solchen Fällen zulässig, in denen Barium und Strontium auf Grund technischer Erfordernisse dem neuen Produkt zugesetzt werden müssen.

4.1 Kennzeichnung verfügbarer Verwertungs- bzw. Entsorgungsmöglichkeiten von Bildröhrenglas in Österreich

In Österreich stehen derzeit zwei Verwertungswege für EOL-Gläser aus der Aufbereitung von Bildröhren zur Verfügung:

- Einsatz als Schlackebildner in Bleihütte
- Einsatz als Schlackebildern in Sekundärkupferhütte

In den nachfolgenden Kapiteln wird auf die Input- und Outputmaterialien sowie auf die Prozesse näher eingegangen.

4.1.1 Einsatz von Bildröhrenglas als Schlackebildner in der Bleihütte

In Sekundärbleihütten werden zur Schlackebildung Silikate benötigt. Bildröhrengläser enthalten einen SiO_2 -Anteil von ca. 60% und eignen sich deshalb als Schlackebildner. Zusätzlich kann ein Teil des im Konusglas enthaltenen Bleies als Rohstoff zurückgewonnen werden. In der österreichischen Sekundärbleihütte werden primär Batterien bzw. Akkumulatoren aufbereitet und das enthaltene Blei als Rohstoff verkauft.

Input

In der österreichischen Sekundärbleihütte werden folgende EOL-Glasfraktionen aus der Aufbereitung von Bildröhren als Schlackebildnern eingesetzt:

- Konusglas
- Schirmglas
- Mischglas, Bruchglas

Ganze Bildröhren werden nicht angenommen. Die Scherben sollten zumindest grob zerkleinert sein, ansonsten gibt es keine speziellen Annahmekriterien. Jedoch definiert die Zusammensetzung der Scherben (sortenrein getrennt oder Mischglas) die Annahmekosten, die der Anlieferer für die Abnahme bezahlen muss. Gereinigtes Konusglas bedingt die geringsten Kosten.

Prozess

Bleioxid aus der Aufbereitung von Akkumulatoren/Batterien wird in zwei Kurztrommelöfen mit Koks zu Rohblei reduziert. Mit Hilfe von Zuschlagstoffen (Glas oder Sand, Eisen, Eisenoxid und Kalk) wird eine niedrig schmelzende Schmelze erzeugt. Die entstehende Silikatschlacke wird anschließend am Standort deponiert.

Das Bildschirmglas wird als Silikatzuschlagstoff in Kurztrommelöfen eingesetzt und ersetzt somit Quarzsand bzw. andere Glasfraktionen.

Output

Als Output aus der Sekundärbleihütte entsteht zum einen Blei, welches als Produkt weiterverkauft wird und zum anderen eine Silikatschlacke der Eluatklasse 3b, die deponiert wird. Für die Schlacke mit der Schlüsselnummer 31203 (Schlacken aus NE-Metallschmelzen) erfolgte eine Ausstufung aus dem gefährlichen Abfallregime. Die beim Einsatz von EOL-Mischgläsern bzw. -Frontgläser eingebrachten weiteren Schwermetalle (Barium, Strontium) werden in die Matrix der Schlacke eingebunden.

EOL-Bildröhrengläser werden europaweit in Bleihütten als Eisensilikatschlackebildner eingesetzt. Dabei können die Verarbeitungsschritte bzw. Prozesses geringfügig abweichen.

4.1.2 Einsatz in Sekundärkupferhütte

In der Sekundärkupferhütte in Österreich werden kupferhaltige Abfälle eingeschmolzen und das enthaltene Kupfer (Reinheit bis zu 99,9%) als Rohstoff wieder verkauft. Neben Kupfer werden weitere im Metallschrott enthaltene Wertstoffe wie Zink, Zinn, Gold, Silber, Platin, Palladium ausgebracht und ebenfalls als Rohstoffe oder Zwischenprodukte verkauft. Die EOL-Bildröhrengläser werden bei der Sekundärkupferproduktion als Schlackebildner eingesetzt und liefern die für den Prozess erforderlichen Silikate. Die Bildröhrengläser ersetzen dabei Quarz, Gießereialtsande sowie sonstigen Glasbruch.

Input

Folgende EOL-Bildröhrengläser werden als Schlackebildner bei der Sekundärkupferhütte eingesetzt:

- Konusglas
- Schirmglas
- Mischglas, Bruchglas

Ganze Bildröhren werden nicht angenommen, Beschichtungen wie z.B. Graphit oder Eisenoxid sind kein Problem. Metallteile sollten vorher aber entfernt werden. Die Scherben sollten zumindest grob zerkleinert sein.

Prozess

Im Schachtofen werden niedrig kupferhaltige Materialien (wie Schredderkupfer, Cu-Fe-Material) zusammen mit Koks, Schlackebildnern (Quarz) und Kalk eingeschmolzen. Die Metallschmelze des Schachtofens, das so genannte Schwarzkupfer mit einem Kupferanteil von ca. 75 %, wird zusammen mit Legierungsmaterialien wie Messing, Bronze und Rotguss im Konverter weiterverarbeitet. Mit Hilfe von Sauerstoff werden die Metalle Blei, Zink und Zinn als Metalloxide ausgeschieden. Die entstehende Schlacke wird im Schachtofen wiederverwertet. Die aus dem Konverter gewonnene Schmelze besteht bis zu 96 % aus Kupfer und kommt zur weiteren Reinigung zusammen mit Blech-, Rohr-, und Drahtschrotte sowie Anodenresten in den Anodenofen. Die fertige Schmelze aus dem Anodenofen enthält ca. 99 % Kupfer und wird zu Anodenplatten vergossen. Die im Anodenschlamm noch enthaltenen Schwermetalle (z.B. Blei) werden über eine andere Firma zurückgewonnen.

Output

Die bei diesem Prozess entstehende Fayalitische Schlacke wird als Strahlmittel verkauft. Die hierfür geltenden Schwermetallgrenzwerte und Eluatgrenzwerte werden gemäß Prüfberichte der Betreiber eingehalten. Die im Bildröhrenglas enthaltenen Schwermetalle werden im Wesentlichen in der Schlacke gebunden. Das im Konusglas enthaltene Blei wird z.T. bei der Aufbereitung des Anodenschlammes zurückgewonnen.

Auch in anderen Sekundärkupferhütten in Europa werden EOL-Bildröhrengläser eingesetzt. Je nach angewandter Technologie wird dabei das Blei auch direkt in der Sekundärkupferhütte ausgebracht. Die entstehende Schlacke wird u.a. im Wasserstraßenbau oder Deichbau eingesetzt. In Primärkupferhütten werden keine EOL-Bildröhrengläser eingesetzt.

4.2 Kennzeichnung verfügbarer Verwertungs- bzw. Entsorgungsmöglichkeiten von Bildröhrenglas im EU-Raum

Im nachfolgenden Kapiteln wird auf die Verwertungs- bzw. Entsorgungspraxis in anderen europäischen Ländern eingegangen. Dabei wird v.a. auf die mengenmäßig bedeutenden Wege eingegangen. Einige der Verwertungswege sind in Österreich aufgrund der Abfallbehandlungs-pflichtenverordnung nicht erlaubt.

4.2.1 Produktion Konusglas

Der Einsatz von EOL-Bildröhrenglas als Rohstoff bei der Produktion von neuen Bildröhren stellt hohe Anforderungen an die Vorbehandlung und Aufbereitung der EOL-Gläser. Neben einer sortenreinen Trennung müssen die Gläser noch weitere Behandlungsschritte durchlaufen, damit alle unerwünschten Anhaftungen (z.B. Graphit) und Fremdkörper (z.B. Metallteile) entfernt werden.

Input

Bei der Produktion von Konusglas wird überwiegend sortenrein getrenntes Konusglas eingesetzt. Je nach Anlage werden z.T. auch gemischte Glasfraktionen (entsprechend dem Verhältnis in der Bildröhre) der Glasschmelze zugefügt. Auch sortenrein getrenntes Konusglas enthält geringe Mengen an Frontglas, da die Auftrennung der Bildröhre nicht direkt am Glaslot erfolgt sondern im Frontglasbereich, um sicher zu stellen, dass das aufbereitete Frontglas keine bleihaltigen Gläser enthält.

Die spezifischen Anforderungen an das sortenreine Konusglas als Substitut von Rohmaterial bei der Bildröhrenproduktion variieren von Produzent zu Produzent, aber generell müssen folgende Anforderungen erfüllt werden:

- sortenrein getrenntes EOL-Konusglas von Farbbildröhren (keine Monochrombildröhren)
- bleihaltiges Halsglas sowie Glasfritten werden akzeptiert
- produktionsspezifische Beschichtungen müssen entfernt werden (Leuchtpulver, Graphit-, Eisenoxidbeschichtung)
- Anteil an organischen Material und Plastik: < 100 ppm
- Restgehalt an Eisenoxid (z.B. aufgebracht durch Transport, Lagerung): < 200 ppm (Fe_2O_3)
- keine Anhaftungen vom Reinigungsprozess
- keine Metallteile

Weiters werden noch Anforderungen an die Korngröße und Feuchte der EOL-Gläser gestellt.

Meist arbeiten die Hersteller von Bildröhrengläsern sehr eng mit Behandlungsanlagen zusammen, um so eine optimale Qualität des Sekundärrohstoffes sicherzustellen.

Prozess

Die aufbereiteten EOL-Gläser werden bei der Produktion von neuen Bildröhren als Sekundärrohstoff zugesetzt und verringern somit den Einsatz von Primärrohstoffen (Silikate und Schwermetalle). Durch die Verwendung von Gläsern als Input wird zudem eine Reduktion des Energieverbrauchs erreicht, da die EOL-Gläser nur geschmolzen werden müssen und somit die energieintensive Silikatreaktion entfällt. Als Faustregel wurde von einem Hersteller eine Energieeinsparung von ungefähr 2% pro 5% EOL-Glasscherben angegeben.

Output

Es entstehen Konusgläser, die zur Produktion neuer Bildröhren eingesetzt werden (geschlossener Kreislauf). Aufbereitete Gläser werden in allen europäischen Konusglasschmelzen (Litauen, Polen, Deutschland) eingesetzt. Bis Ende 2005 wurden aufbereitete Konusgläser und z.T. gereinigtes Mischglas auch in Tschechien als Sekundärrohstoff eingesetzt. Zunehmend wird aufbereitetes Konusglas auch bei der Konusglasproduktion außerhalb Europas (Südamerika, Asien) eingesetzt. Es konnten jedoch keine genauen Angaben ermittelt werden, welche Mengen wo eingesetzt werden.

4.2.2 Produktion Frontglas

Input

Im Gegensatz zum Konusglas unterliegt das Frontglas wesentlich höheren optischen Anforderungen. Daher ist für die Produktion von Frontglas nur sortenrein getrenntes und gereinigtes Schirmglas als Sekundärrohstoff einsetzbar.

Folgende technische Spezifikationen müssen EOL-Gläser für den Einsatz als Sekundärrohstoff erfüllen:

- sortenrein getrenntes Frontglas von Farbbildröhren (keine Monochrombildröhren)
- absolut frei von Bleiglasanhaftungen
- produktionsspezifische Beschichtungen müssen entfernt werden (Leuchtpulver)
- keine Eisenoxidbeschichtungen oder andere metallische Schichten z.B. aufgebracht durch unsachgemäße Lagerung in Stahlkontainern oder während des Shredderprozesses (Schreddern nicht erforderlich)
- keine Metallteile oder andere Bestandteile

Prozess

Die aufbereiteten EOL-Gläser werden bei der Produktion von neuen Bildröhren als Sekundärrohstoff zugesetzt und verringern somit den Einsatz von Primärrohstoffen (Silikate und Glaszuschlagstoffe), vgl. Kap 4.2.1.

Output

Es entstehen Frontgläser, die zur Produktion neuer Bildröhren eingesetzt werden (geschlossener Kreislauf). Aufbereitete Gläser werden in den europäischen Frontglasschmelzen eingesetzt. Zunehmend wird aufbereitetes Frontglas auch bei der Frontglasproduktion außerhalb Europas (Südamerika, Asien) eingesetzt. Es konnten jedoch keine genauen Angaben ermittelt werden, welche Mengen wo eingesetzt werden.

4.2.3 Verwendung als Versatzmaterial

Zur Stabilisierung von Bergwerken werden Versatzmaterialien in Hohlräumen untertage verbracht. Gemäß der deutschen Verordnung über den Versatz von Abfällen Untertage [VersatzV] sind Versatzmaterialien "Materialien, die unter Verwendung von Abfällen unter Nutzung ihrer bauphysikalischen Eigenschaften zu bergtechnischen oder bergsicherheitlichen Zwecken unter Tage eingesetzt werden. Hierunter fallen auch direkt und unvermischt eingesetzte Abfälle."

Gläser sind aufgrund ihrer mineralischen Zusammensetzung grundsätzlich als Versatzmaterial geeignet. Probleme bei der Verwendung von EOL-Bildröhrengläser können v.a. durch die den Gläsern zugesetzten Schwermetalle resultieren. Diese können unter ungünstigen Bedingungen ausgelaugt werden und somit in die Umwelt gelangen.

In Deutschland dürfen Abfälle mit einem bestimmten Metallgehalt weder "zur Herstellung von Versatzmaterial noch unmittelbar als Versatzmaterial eingesetzt werden, wenn die Gewinnung der Metalle aus den Abfällen technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar sowie unter Einhaltung der Anforderungen an die Zulässigkeit einer solchen Verwertung durchführbar ist" (§ 3 Vorrang der Rückgewinnung von Metallen [VersatzV]). Folgende Grenzwertkonzentrationen wurden für Metalle in Abfällen festgelegt (in g/kg): Zink ≥ 100 , Blei ≥ 100 , Kupfer ≥ 10 , Zinn ≥ 15 , Chrom ≥ 150 , Nickel ≥ 25 , Eisen ≥ 500 . Die angegebenen Konzentrationen beziehen sich auf den Feststoffgehalt des jeweiligen Abfalls. Schadstoffhaltige Abfälle dürfen nur in trockenen Salzgesteinsformationen eingebracht werden, die über einen Langzeitsicherheitsnachweis verfügen.

Daneben gibt es noch weitere Einschränkungen wie z.B. das Eluatverhalten.

Somit entfällt der Versatz von sortenreinem Konusglas mit einem Bleigehalt von teilweise > 200 g/kg. Schirmgläser hingegen erfüllen die Vorgaben. Nach Angaben eines Betreibers erfüllen auch Mischglasfraktionen (2/3 Schirmglas, 1/3 Konusglas) diese Voraussetzungen.

Die Verwendung ganzer Bildröhren (inkl. Leuchtschicht) ist nach Aussage von Bergwerksbetreibern auch möglich. Dagegen stehen jedoch die gesetzlichen Vorgaben bezüglich der Mindestbehandlung von Bildröhren (Entfernung der Leuchtschicht).

Input

Abhängig vom Bergwerksbetreiber werden folgende Abfälle als Versatzmaterial angenommen:

- gereinigtes Schirmglas
- aufbereitetes Mischglas
- Bruchglas
- belüftete Bildröhren

Prozess

Die Scherben bzw. Bildröhren werden zerkleinert, mit anderen Stoffen bzw. Abfällen (z.B. Schlacke aus Müllverbrennungsanlagen) vermischt und anschließend untertage befördert (z.B. über Bänder) und dort in Hohlräume verfüllt.

Output

Durch den Einsatz von Abfällen als Versatzmaterial werden Hohlräume in Bergwerken verfüllt, um Explosionen und Brände zu verhindern, die Standsicherheit des Gebirges zu erhöhen und Setzungen an der Oberfläche zu vermeiden.

Diese Art der Verwertung wird in Deutschland durchgeführt und für gereinigtes Schirmglas als Verwertungsweg mit 2. Priorität empfohlen. "Der Einsatz von Abfällen als Bergversatzmaterial ist in Deutschland eine zugelassene Form der Verwertung von Abfällen nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (§ 4 Abs. 3), wenn es um bauphysikalisch geeignete Abfälle (vor allem Druckfestigkeit) handelt, die nachweislich zu bergbautechnischen oder –sicherheitlichen Zwecken eingesetzt werden."¹²

Inwieweit andere europäische Länder (Kapazitäten bestehen z.B. in Polen oder der Slowakei) EOL-Bildröhrenglas als Versatzmaterial einsetzen ist nicht bekannt.

Nach Aussagen von Anlagenbetreibern als auch von Glasherstellern ist ein Auslaugen von Blei nur sehr begrenzt möglich, da das im Konusglas enthaltene Blei nur oberflächlich im leicht sauren Medium ausgelöst wird. Sobald keine neuen Bedingungen entstehen wie z.B. mechanische Bewegung der Gläser ist ein weiteres Auslaugen unwahrscheinlich. Um Auslaugungen zu vermeiden sind EOL-Bildröhrengläser deshalb nur in trockenen Salzbergwerken als Versatzmaterial einsetzbar.

4.2.4 Einsatz in der Baustoffindustrie

Der Einsatz von EOL-Bildröhrenglas in der Baustoffindustrie ist in Österreich aufgrund der Vorgaben in der AbfallbehandlungspflichtigenVO nicht möglich.

In Deutschland wurde der Einsatz von gereinigtem Schirmglas in Bauprodukten mit dem Verweis auf die Notwendigkeit von Einzelfallprüfungen als Verwertungsweg mit 2. Priorität empfohlen. Bei der Einzelfallprüfung sind dabei v.a. die im Glas enthaltenen Stoffe Barium und Antimon

¹² Quelle: <http://www.bmu.de/abfallwirtschaft/doc/3213.php>

zu beachten. Außerdem müssen die "Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen" (LAGA Richtlinie) sowie die "Technischen Lieferbedingungen für Recycling-Baustoffe in Tragschichten ohne Bindemittel" [LAGA 31] berücksichtigt werden.

Inwieweit in anderen Ländern EOL-Bildröhrengläser in der Baustoffindustrie eingesetzt werden, ist nicht bekannt.

4.2.5 Verwendung in der keramische Industrie (Ziegel / Fliesen)

Technisch ist die Verwendung von gereinigtem EOL-Bildröhrenglas in der keramischen Industrie aufgrund der Zusammensetzung der Gläser möglich (z.B. Ersatz von Feldspat). Dabei ist jedoch zu beachten, dass Schwermetalle in andere Produktkreisläufe eingebracht werden, in denen üblicherweise keine oder nur sehr geringe Mengen an Schwermetallen vorhanden sind. Vor allem am Ende der Produktlebenszeit können daraus Probleme bei der Verwertung bzw. Entsorgung resultieren wie z.B. Grenzwerte für Deponien werden nicht eingehalten oder Auslaugung der Schwermetall durch unsachgemäße Entsorgung.

EOL-Bildröhrengläser werden z.B. in den Niederlanden zur Herstellung keramischer Produkte verwendet. Inwieweit in anderen europäischen Ländern EOL-Bildröhrenglas in der keramischen Industrie eingesetzt wird und welche Mengen, konnte nicht ermittelt werden.

4.2.6 Verwendung im Straßenunterbau

Eine Verwendung der Bildröhrengläser im Straßenbau ist äußerst problematisch. Da gerade in diesem Bereich die Bedingungen geben sind, die ein Auslaugen der in den Gläsern enthaltenen Schwermetalle (Blei, Barium) fördern (z.B. große Oberflächen durch Mahlen der Gläser, mechanische Belastung und saure Medien).

Wie viele der in Europa anfallenden EOL-Bildröhrengläser als Straßenunterbaumaterial Anwendung finden, ist nicht abschätzbar. Derzeit wird z.B. in Belgien und Holland diese Verwendungsmöglichkeit genutzt.

4.2.7 Deponie

In vielen Ländern werden Bildröhrengläser nach wie vor auf Deponien entsorgt. Mit der Entscheidung 2003/33/EG wurden Kriterien und Verfahren für die Annahme von Abfällen auf Abfalldeponien festgelegt, die eine Ablagerung v.a. der bleihaltigen Konusgläser ohne Vorbehand-

lung nicht zulässt. Im Zusammenhang mit der Beseitigung von Bildröhren ist vor allem darauf zu achten, dass die Eluatwerte der in den Gläsern enthaltenen Schwermetalle (Pb, Ba) nicht überschritten werden.

4.2.8 Sonstige

Neben den bereits beschriebenen Verwertungs- bzw. Entsorgungswegen werden EOL-Gläser auch in anderen Bereichen noch eingesetzt wie z.B. zur Herstellung von Isolatoren (Niederlande), in der Schaumglasproduktion oder als Schlackebildner in Abfallverbrennungsanlagen (Schweden). Welche Mengen dabei zum Einsatz kommen konnte nicht ermittelt werden. Meist werden jedoch nur geringe Mengen eingesetzt.

Der Einsatz von EOL-Bildröhrenglas in der Behälter- und Flachglasherstellung ist aufgrund der Zusammensetzung und der enthaltenen Schwermetallgehalte nur sehr bedingt oder gar nicht möglich und wird deshalb derzeit auch z.B. von Verbandsseite abgelehnt (vgl. Tabelle 2-2). Bei Verwendung des gereinigten Frontglases als Sekundärrohstoff könnten die Schwermetalle Barium und Strontium in das System Behälterglas eingetragen werden. Diese Schwermetalle werden nicht absichtlich dem Behälterglas als Rohstoff zugesetzt und sind somit typischerweise nicht oder nur in sehr geringen Mengen enthalten. Ein weiterer Gesichtspunkt ist, dass die durch die Verpackungs-Richtlinie vorgegebenen Grenzwerte für Blei in der Behälterglasindustrie nicht eingehalten werden können (Summenkonzentration für Blei, Cadmium, Quecksilber und Chrom VI < 100 Gewichts-ppm, [VerpackungsRL]).

4.3 Zukünftige Verwertungsmöglichkeiten und deren Realisierbarkeit

4.3.1 Einsatz in Sekundärkupferhütte mit integrierter Zinn-Blei-Gewinnung

In einer belgischen Sekundärkupferhütte mit integrierter Zinn-Bleigewinnung wurden Versuche gefahren, um festzustellen, ob der Einsatz von "gestrippten" Bildröhren in der Sekundärkupferherstellung möglich ist und inwieweit die neben den Bildröhrenglas noch enthaltenen Teile (z.B. Elektronenquelle, Lautsprecher) zurückgewonnen werden oder als Substitut für Rohstoffe (z.B. Fe, Al als Reduktionsmittel) eingesetzt werden können. "Gestrippt" bedeutet hierbei, dass von dem kompletten Bildschirmgerät nur das Gehäuse und die äußeren Kabel entfernt werden. Die restlichen Bestandteile wie z.B. Lautsprecher, Implosionsband, Elektronenquelle werden in dem vorgesehenen Prozess mit eingeschmolzen, um so die in diesen Teilen enthaltenen Wertstoffe zurückzugewinnen. Diese Behandlung steht im Widerspruch zu Annex II der WEEE Richtlinie,

in dem als Mindestbehandlung die Separierung der Bildröhre und die Absaugung des Leucht-pulvers festgelegt wurden.

In den von den belgischen Behörden genehmigten Versuchen wurden Prozess- und Outputparameter bei der Verwendung des maximal möglichen Anteils an "gestrippten" Bildröhren mit Chargen ohne Bildröhren verglichen. Den Versuchen vorausgegangen ist eine Ökoeffizienzstudie der Universität Delft [QWERTY 2004].

Input

Als Input werden ganze, belüftete Bildröhren ohne Gehäuse (Plastik/Holz) und Kabel aber inklusive aller sonstiger Bestandteile, die nach Entfernung des Gehäuses noch vorhanden sind (z.B. Lautsprecher, Leiterplatten, ..) verwendet. Computer-Monitore sind in Bezug auf die Rückgewinnung von Wertstoffen höher zu bewerten als Fernsehgeräte, da bei Monitoren mehr Zusatzmaterialien vorhanden sind.

Prozess

Während des Schmelzprozesses (entspricht im Wesentlichen dem Prozess in Kap. 4.1.2) werden die in den Bildröhren enthaltenen Stoffe entweder als Rohstoffsubstitut eingesetzt oder als Rohstoffe zurückgewonnen. Das Bildröhrenglas wird als Schlackebildner eingesetzt, Aluminium und Eisen werden als Reduktionsmittel für die Oxidation von Kupfer und anderen Edelmetallen bzw. Wertmetallen (z.B. Sn, Ni, Zn, etc.) verwendet. Das im Glas enthaltene Blei wird ebenfalls bis zu 96% zurückgewonnen.

Output

Die beim Einsatz von gestrippten Bildröhren entstehende Schlacke wurde untersucht und das Auslaugverhalten mit Schlacken ohne CRTs verglichen. Dabei konnten keine wesentlichen Änderungen, die auf die Zugabe von CRT zurückzuführen sind festgestellt werden. Im abgeschiedenen Filterstaub und "Sorbalit" (Abgasreinigung durch Einsprühen von Aktivkohle und Kalk) wurden erhöhte Konzentrationen and Cd, Cu, Pb, Hg und Dioxinen gefunden.

Die entstehende Schlacke wird im Wegebau eingesetzt. Nach den erfolgreichen Versuchen wurde von den belgischen Behörden bei der EU Kommission beantragt, diese Art der Behandlung zuzulassen. Die belgischen Behörden habe das Verfahren als Recycling genehmigt.

4.3.2 Weitere Wege

Es werden und wurden verschiedene weitere Wege angedacht, die anfallenden Mengen an EOL-Bildröhrenglas einer Verwertung zuzuführen, z.B. Einsatz von EOL-Bildröhrenglas als

Dämmaterial. Allerdings konnten hierfür noch keine genaueren Informationen ermittelt werden. Meist handelt es sich jedoch um Nischenprodukte, bei denen nur geringe Mengen an EOL-Bildröhrenglas eingesetzt werden kann. Zudem hängt die weitere Entwicklungsarbeit auch davon ab, welche Verfahren als Verwertung anerkannt werden. Auch die weitere Preisentwicklung der EOL-Bildröhrengläser spielt eine Rolle.

In Großbritannien werden derzeit verschiedene Einsatzmöglichkeiten von bleifreiem Schirmglas in der keramischen Industrie untersucht [WRAP 2004]. Als am aussichtsreichsten wurde dabei der Einsatz von Schirmglas als Rohstoff bei der Herstellung von Ziegeln und Fliesen bzw. als Flussmittel bei der Herstellung von Ziegeln angesehen. Es müssen jedoch noch weitere Versuche gefahren werden.

Es gibt derzeit Bestrebungen, das durch ein spezielles Aufbereitungsverfahren (vgl. Kap. 3.2) hergestellte Schirmglas als Rohstoff in der Hohlglasindustrie einzusetzen. Nach Aussage der Aufbereiter eignet sich hierfür jedoch nur absolut bleifreies Glas. Ungefähr 10% der auf dem Markt befindlichen Fernsehgeräte haben Frontgläser, bei denen Blei in geringen Mengen (max. 3%, vgl. Tabelle 2-2) enthalten ist. Diese Gläser dürfen nicht verwendet werden, da sonst die Grenzwerte der Verpackungsrichtlinie [VerpackungsRL] nicht eingehalten werden können.

Bildröhrengläser haben typischerweise nicht die gleiche Zusammensetzung wie Hohlgläser (vgl. Tabelle 2-2). Barium und Strontium kommt bei Hohlgläsern normalerweise nicht zum Einsatz. Barium wird teilweise als Substitut für Blei in speziellen Gläsern (Bleigläser) eingesetzt, da es wie Blei den Brechungsindex erhöht. Viele Hohlglashersteller haben jedoch einen internen Grenzwert für Barium, der bereits jetzt durch verbotene Zumischung von Bildröhrenglas in die aufbereiteten Altglasscherben, erreicht wird. Durch eine erhöhte Konzentration von Schwermetallen ändert sich die spezifische Dichte und somit die Verarbeitung des Glases.

In Österreich ist diese Art der Verwertung gegenwärtig aufgrund der gesetzlichen Vorgaben in der Abfallpflichtenverordnung nicht möglich, da eine stoffliche Verwertung von barium- und strontiumhaltigem Glas aus Bildröhren nur in solchen Fällen zulässig ist, in denen Barium und Strontium auf Grund technischer Erfordernisse dem neuen Produkt zugesetzt werden müssen.

Im Hinblick auf mögliche Verwertungsmöglichkeiten für das bleihaltige Konusglas werden u.a. Möglichkeiten angedacht, die die Eigenschaften von Blei als Abschirmung radioaktiver Strahlung berücksichtigen, wie z.B: Produktion von Kokillen zur sicheren Verwahrung schwach radioaktiver Abfälle, Isoliermaterial für radioaktive Materialien bzw. Abschirmung natürlicher radioaktiver Erdstrahlung durch Aufschüttung mit Konusglas (1 m entspricht ungefähr 2 cm Blei).

5 Ökonomisch-ökologischer Vergleich der Verfahren

Nachfolgend werden die derzeit wichtigsten Verwertungs- und Entsorgungswege einem ökonomisch-ökologischen Vergleich unterzogen und bewertet.

5.1 Annahmekriterien und Qualitätsanforderungen innerhalb der Technologieketten

Die Annahmekriterien und Qualitätsanforderungen an die aufbereiteten EOL-Gläser hängen wesentlich von dem vorgesehenen Verwertungsweg ab. Die höchsten Anforderungen werden dabei an EOL-Bildröhrengläser gestellt, die als Sekundärrohstoff bei der Herstellung von neuen Bildröhren wieder verwendet werden (vgl. Kap. 4.2.1 und 4.2.2). Die hierfür erforderlichen Qualitäten und Aufbereitungsschritte gehen dabei weit über die gesetzlich vorgeschriebenen Mindestbehandlungsschritte hinaus.

Für den Einsatz in anderen Technologien wie z.B. in NE-Hütten oder als Bergversatz sind die gesetzlichen Mindestbehandlungsanforderungen (z.B. Entfernung der Leuchtschicht) meist ausreichend. Ein höherer Aufbereitungsgrad (Trennung der Bildröhren) reduziert z.T. jedoch die Annahmekosten.

5.2 Vorbehandlungs- und Übernahmekosten innerhalb der Technologieketten

Ob für die Abnahme der aufbereiteten EOL-Gläser Erlöse erzielt werden oder aber bezahlt werden muss, ist anhängig von der Verwertung bzw. Entsorgung. Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die derzeitige Kostenstruktur:

Verwertungsweg	Glasfraktion/Qualität	Erlöse (+) / Kosten ¹³
Rohstoff in der Bildröhrenproduktion	Sortenreines Konusglas (entsprechend den Vorgaben der Hersteller)	+ 10 bis + 100 €/t (Tendenz sinkend)
	Sortenreines Schirmglas (entsprechend den Vorgaben der Hersteller)	+ 10 bis + 100 €/t (Tendenz sinkend)

¹³ ohne Transportkosten

Verwertungsweg	Glasfraktion/Qualität	Erlöse (+) / Kosten ¹³
Einsatz in Bleihütte	sortenreines Konusglas, gereinigt	24 €/t
	Mischglas, ungereinigt	bis 74 €/t
Einsatz in Sekundärkupferhütten	alle Glasfraktionen	40-110 €/t
Bergversatz	Schirmglas, Mischglas	50-100 €/t

Tabelle 5-1: Übersicht über die Kostenstruktur für die Abnahme von EOL-Gläsern

Für die anderen Verwertungs- bzw. Entsorgungswege konnten keine Kosten ermittelt werden. Die Annahmehkosten für Bildschirmgeräte bei den Behandlungsanlagen in Österreich liegen derzeit zwischen 80-200 €/t.

Die erzielten Erlöse für EOL-Gläser, die als Sekundärrohstoffe bei der Bildröhrenproduktion eingesetzt werden, hängen von der Qualität der Scherben ab. Ein Großteil der in Österreich behandelten EOL-Bildröhrengläser –getrennt in Front- und Konusglas und ohne Leuchtschicht – werden nach Deutschland exportiert und dort entsprechend den Vorgaben der Glasproduzenten weiter aufbereitet.

Nach Angaben von Aufbereitern ist in Zukunft mit sinkenden Erlösen für Gläser, die als Rohstoff bei der Produktion von Bildröhren eingesetzt werden zu rechnen. Lagen die Annahmehkosten bereits getrennter Glasfraktionen zur weiteren Aufbereitung entsprechend der Vorgaben der Hersteller bisher bei ca. 30 €/t, so ist bereits jetzt mit Preisen zwischen 20-25 €/t zu rechnen. Die Tendenz geht weiter nach unten (± 0 €/t).

Den hohen Aufbereitungs- und Reinigungskosten, für die sortenreine Trennung von Konus- und Schirmglas zum Wiedereinsatz als Sekundärrohstoff stehen Erlöse in Höhe von maximal 80-100 €/t gegenüber (Transportkosten sind vom Aufbereiter zu tragen).

Bei steigenden Transportkosten (z.B. aufgrund längerer Weg) und sinkenden Erlösen ist es für viele Unternehmen schwierig, die Kosten, die durch die hochwertige Behandlung entstehen, abzudecken. Falls Verfahren, die nur sehr geringe Anforderungen an die Behandlung von EOL-Bildröhrengläser stellen, als Verwertung anerkannt werden, so ist davon auszugehen, dass viele Behandler dazu übergehen, die teuren Behandlungsschritte aufgeben und der Großteil der Gläser andere Wege geht.

5.3 Substitutionseffekte ("was wird ersetzt"), genutzte Eigenschaften/Inhaltsstoffe von Bildröhrenglas und ökologische Bewertung von alternativen Technologien

Bildröhrengläser bestehen zu einem hohen Prozentsatz aus Silikaten. Daneben enthalten Bildröhrengläser Zusatzstoffe wie z.B. die Schwermetalle Blei, Barium, Strontium, um produkt- bzw. produktionsspezifische Anforderungen erfüllen zu können. Diese spezifische Mischung ist nur bei der Produktion von neuem Bildröhrenglas 1:1 als Substitut zu verwenden. Neben der Substitution von Primärrohstoffen kann durch den Einsatz von EOL-Bildröhrenglas zusätzlich der Energieverbrauch bei der Glasschmelze reduziert werden (~2% pro 5% EOL-Scherben). Wichtig ist jedoch, dass eine saubere Trennung der Gläser vorgenommen wird und so der Eintrag von Blei in das Schirmglas verhindert bzw. minimiert wird.

Beim Einsatz von EOL-Bildröhrengläsern in Bleihütten werden zum einen die enthaltenen Silikate als Schlackebildner verwendet, zum anderen kann ein Teil des im Glas enthaltenen Bleis zurückgewonnen werden. Schirmglas kann nur als Schlackebildner Quarzsand substituieren. Die im Schirmglas enthaltenen Schwermetalle wie Barium oder Strontium werden in die entstehende Eisensilikatschlacke eingebunden und anschließend deponiert.

Bei Sekundärkupferhütten werden EOL-Bildschirmgläser ebenfalls als Schlackebildner eingesetzt. Durch den Einsatz von Bildröhrenglas werden im Wesentlichen nur die zur Schlackebildung benötigten Sande wie z.B. Quarzsand, Split oder reiner Quarz substituiert. Diese natürlichen Rohstoffe enthalten im Gegensatz zu Bildröhrengläsern aber keine Schwermetalle bzw. nur sehr geringe natürliche Konzentrationen an Schwermetallen. Abhängig vom Verarbeitungsprozess wird das im Konusglas enthaltene Blei teilweise zurückgewonnen und kann als Produkt bzw. Zwischenprodukt verkauft werden. Die in Sekundärkupferhütten entstehende Schlacke wird z.B. im Wasserwegebau eingesetzt.

Beim Einsatz der lediglich vom Gehäuse und den äußeren Kabeln befreiten Bildschirme werden die enthaltenen Stoffe auf unterschiedliche Weise verwertet bzw. zurückgewonnen. Das Bildröhrenglas wird als Schlackebildner eingesetzt und ersetzt somit Sand. Die Metalle Aluminium und Eisen, die u.a. als Beschichtung auf den Bildröhren aufgebracht sind, dienen als notwendige Reduktionsmittel für die Oxidation von Kupfer, Edelmetallen und anderen wertvollen Metallen (Zinn, Nickel, Zink, etc.). Daneben wird auch ein Großteil des im Bildröhrenglas enthaltenen Bleis zurückgewonnen (96%). Die nicht verwertbaren Metall und umweltrelevanten Stoffe (z.B. Cd oder Seltenerdmetall) werden in der Schlacke immobilisiert.

Ein Eintrag der in den Gläsern enthaltenen Schwermetalle in die Umwelt ist z.B. durch diffuse Emissionen während des Prozesses möglich. Ein Eintrag über die entstehende Schlacke ist

nach Angaben der Anlagenbetreiber nahezu ausgeschlossen, da die Schwermetalle fest in die Matrix eingebunden sind und somit die Eluatwerte sehr gering sind.

Hintergrund für den Einsatz von Abfällen im Bergversatz ist dass auf der einen Seite Abfälle (schadstofffrei oder schadstoffhaltig), für die es keine oberirdische Behandlungsmöglichkeiten gibt, kontrolliert abgelagert werden und zugleich sonst notwendiges Primärmaterial (wie z.B. Kies) ersetzt wird. Auf der anderen Seite werden aufgrund des relativ günstigen Preises und der geringen Annahmeanforderungen auch Abfälle entsorgt, für die es auf Verwertungsmöglichkeiten gibt, die aber kostenintensiver sind.

In Deutschland wurde der Bergversatz bereits als 2. Priorität Verwertung für gereinigtes Schirmglas von der LAGA empfohlen [LAGA 31] und es wird derzeit diskutiert, den Bergversatz auch als Verwertung für ganze Bildröhren zuzulassen.

Ein Einsatz von EOL-Bildröhrengläsern als Sekundärrohstoff in Produktbereichen, in denen normalerweise die im Bildröhrenglas enthaltenen Schwermetalle nicht vorkommen, bei denen die Gläser aber oft aus wirtschaftlichen Gründen (Erlöse für die Abnahme der Gläser) eingesetzt werden, kann nicht als stoffliche Verwertung angesehen werden. Die Deponierung dient lediglich der Beseitigung von EOL-Bildröhrengläsern.

5.4 Zusammenfassende Bewertung

Nachfolgende Tabelle fasst die Bewertungsergebnisse für die untersuchten Verwertungs- und Beseitigungswege für EOL-Bildröhrenglas nochmals zusammen:

Verfahren/ Einsatz	Input	Substitution	Output	Bewertung	
Schirmglas- produktion	sortenreines Schirmglas	Primärrohstoffe	Schirmglas	hochwertige stoffliche Verwertung (geschlossener Kreislauf)	++
Konusglas- produktion	sortenreines Ko- nuglas	Primärrohstoffe	Konusglas	hochwertige stoffliche Verwertung (geschlossener Kreislauf)	++
	Mischglas	Primärrohstoffe	Konusglas	stoffliche Verwertung	~
Bleihütte	Glasbruch, Mischglas	Schlackebildner (Quarzsand)	Schlacke (Deponie) Blei (Produkt, aber nur geringe Mengen)	Verwertung (Downcycling)	~
	sortenreines Konusglas	Schlackebildner (Quarzsand)	Schlacke (Deponie) Blei (Produkt, aber nur geringe Mengen)	Downcycling	~
	sortenreines Schirmglas	Schlackebildner (Quarzsand)	Schlacke (Deponie)	Downcycling	-
Sekundär- kupferhütte	alle Glasfraktionen	Schlackebildner (Quarzsand)	Schlacke (Produkt), die als für Strahlmittel oder im Wasserwegebau eingesetzt wird	Downcycling	~
Bergversatz	alle Glasfraktionen	andere Versatzma- terialien (z.B. Kies)	Stabilisierung von Bergwerken	Downcycling / Beseitigung#	-
Baustoff- industrie, keramische Industrie	gereinigtes Schirmglas	Primärrohstoffe (z.B. Feldspat)	Produkte	Downcycling	-
	Konusglas, Mischglas	Primärrohstoffe (z.B. Feldspat)	Produkte, die z.T. umweltrelevante Stoffe (Blei) enthalten, die ohne EOL- Bildröhrenglas nicht relevant sind	Downcycling	--
Straßenbau	alle Glasfraktionen	Primärrohstoffe	Straßenunterbau, bei dem die Gefahr der Auslaugung von Schwermetallen gegeben ist	Downcycling/ Beseitigung	--
Deponie	alle Glasfraktionen	/ (Beseitigung)	/	Beseitigung	--

Tabelle 5-2: Übersicht über die Bewertungsergebnisse der Verwertungs- und Entsorgungswege für EOL-Bildröhrenglas

Höchste Priorität bei der Verwertung von Bildröhrenglas hat gemäß den gesetzlichen Vorgaben der Wiedereinsatz des Glases bei der Bildröhrenproduktion. Neben den noch verbleibenden Kapazitäten in Europa werden zunehmend aufbereitete EOL-Gläser von Europa zu den relevanten Produktionsstätten in Asien bzw. Südamerika gebracht. Solange mit aufbereiten EOL-Gläsern Erlöse erzielt werden und die Abnehmer für die EOL-Bildröhrengläser bezahlen, kann zumindest davon ausgegangen werden, dass die Bildröhrengläser einer ordnungsgemäßen Verwertung als Rohstoff bei der Produktion neuer Gläser eingesetzt werden.

Die hohen Anforderungen an die Aufbereitung von EOL-Gläsern ergeben sich zum einen aus den Anforderungen für den Wiedereinsatz als Bildröhrenrohstoff und zum anderen aus den gesetzlichen Vorgaben. Werden Verfahren, die eine Aufbereitung der Gläser nicht mehr notwendig machen (wie z.B. bei der belgischen Sekundärkupferhütte oder beim Bergversatz) als Verwertung anerkannt, so ist damit zu rechnen, dass viele Unternehmen auf die kostenintensive Separierung und Aufbereitung der Gläser verzichten und stattdessen für die Abnahme der Bildröhren zahlen.

Für Gläser, die aufgrund ihrer Zusammensetzung (wie z.B. Bruchglas) nicht für die Bildröhrenproduktion geeignet sind, ist eine Verwertung in NE-Metallhütten anzustreben. Grundsätzlich sollte der Eintrag von Schwermetallen oder anderen gesundheits- oder umweltrelevanten Stoffe in andere Produktkreisläufe, in denen diese Metalle üblicherweise nicht oder nur in sehr geringen Mengen vorkommen, nicht stattfinden (z.B. keramische Industrie, Baustoffindustrie).

Besteht die Möglichkeit, dass die in den Gläsern enthaltenen gesundheits- und umweltrelevanten Stoffe in die Umwelt gelangen können, wie z.B. durch Auslaugung im Straßenbau oder auf Deponien, so sollte diese Art der "Entsorgung" nicht möglich sein.

In Deutschland wird derzeit diskutiert, ob der Verwendung von EOL-Bildröhrengläsern als Bergversatz als Recycling angesehen werden kann. Argumente dafür sind zum einen, dass die vorgegebenen Eluatwerte für Bergversatz eingehalten werden und zum anderen Bildröhrengläser andere Versatzmaterialien substituieren. Ein weiterer Grund ist die Kontrollierbarkeit des Verbleibs von Bildröhrenglas. Da in Europa immer mehr Bildröhrenglasproduktionen geschlossen werden, ist ein Recycling der Bildröhrengläser in der Bildröhrenproduktion bald nur noch in außereuropäischen Ländern möglich. Eine Kontrolle, wie die bei unsachgemäßer Behandlung umweltrelevanten EOL-Gläser eingesetzt werden, ist deshalb nur begrenzt möglich.

6 Überblick über verfügbare Kapazitäten und Empfehlungen

6.1 Übernehmer von Bildröhrenglas und deren Bedeutung (Österreich und Europa)

In Österreich werden derzeit etwa 1.500 t bis 2.000 t EOL-Bildröhrengläser in einer Sekundärbleihütte sowie einer Sekundärkupferhütte als Schlackebildner eingesetzt. Während die Kapazität der Bleihütte mit max. 1.500 t/a bereits ausgelastet ist, ist bei der Sekundärkupferhütte eine Ausweitung der Kapazität möglich.

Europaweit stehen derzeit nur noch sehr begrenzt Kapazitäten für den Einsatz von EOL-Bildröhrengläser als Sekundärrohstoff bei der Herstellung neuer Bildröhren zur Verfügung. In den ab 2006 noch verbleibenden Werken in Deutschland, Litauen und Polen werden derzeit etwa 10.000-15.000 t/a eingesetzt. Eine Steigerung der Kapazität ist jedoch angekündigt (Erweiterung der Schirmglasproduktion, Erhöhung des Anteils an EOL Glas).

Daneben wird derzeit verstärkt versucht, die in Europa gesammelten Erfahrungen beim Einsatz von aufbereiteten EOL-Gläsern in der Produktion neuer Bildröhrengläser, in den außereuropäischen Standorten zu nutzen. Ein Teil der aufbereiteten Gläser geht bereits in die außereuropäische Verwertung.

Die Kapazitäten in NE-Metallhütten hängen zum einen vom Preis der EOL-Gläser ab, zum anderen aber auch von der notwendigen Aufbereitung bzw. Genehmigung von Verfahren. So wurde von der belgischen Sekundärkupferhütte angegeben, dass für gestrippte Bildröhren Kapazitäten von jeweils 500-1.000 t/Monat zur Verfügung stehen.

Einige NE-Metallhütten übernehmen derzeit keine EOL-Gläser, da die damit verbundenen Aufwendungen (z.B. Beprobung) sehr hoch sind und die Preis für die Chargen zu niedrig. Steigen die Kosten für die Übernahme von EOL-Glas, so würden wahrscheinlich weitere Kapazitäten im NE-Metallhüttenbereich zur Verfügung stehen.

Welche Kapazitäten derzeit oder zukünftig in den Bereichen keramische Industrie und Bauindustrie zur Verfügung stehen werden, ist nicht bekannt.

Im Bergversatz stehen ausreichend Kapazitäten zur Verfügung.

6.2 (Wirtschaftliche) Entwicklungstendenzen

Experten gehen davon aus, dass die Bildröhrenproduktion in Europa in 2-3 Jahren eingestellt wird. Auch weltweit wird mit einem Rückgang der Produktion von Bildröhrengeräten gerechnet, da inzwischen die Preise für alternative Technologien (z.B. Flachbildschirme) deutlich gesunken sind und zugleich die Bildqualität deutlich zugenommen hat.

Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass in einigen Jahren zum einen die hochwertige Verwertung von EOL-Bildröhrengläsern als Sekundärrohstoff in der Bildröhrenproduktion in Europa ganz weg fällt. Zum anderen führen sinkende Absatzmärkte für Bildröhrengeräte zur Verringerung des Bedarfs an Sekundärrohstoffen aus der Aufbereitung von Altgeräten. Aufgrund des hohen Mengenaufkommens an EOL-Gläsern ist zudem mit ein weiterer Verfall des Preises für EOL-Gläser zu rechnen.

Für die zukünftigen Entsorgungswege werden die Kostenentwicklung bei der erforderlichen Behandlung und die Anerkennung bestimmter Verwertungswege (z.B. Bergversatz) als Recycling eine entscheidende Rolle spielen.

6.3 Empfehlungen im Hinblick auf die Erfüllung der vorgegebenen Quoten

Legt man die Daten aus der Datenerhebung bei der österreichischen Behandler von Bildröhren zugrunde, so werden von den derzeit aufbereiteten 3.600 – 3.900 t EOL-Bildröhrengläser ca. 70-80% als Sekundärrohstoffe bei der Bildröhrenproduktion wieder verwendet. Der Anteil der Gläser, die in NE-Metallhütten verwertet werden liegt im Bereich von 10-20%. Für die restlichen Mengen konnten keine konkreten Entsorgungswege ermittelt werden.

7 Literaturverzeichnis

[2000/532/EG]

Entscheidung der Kommission vom 3. Mai 2000 zur Ersetzung der Entscheidung 94/3/EG über ein Abfallverzeichnis gemäß Artikel 1 Buchstabe a) der Richtlinie 75/442/EWG des Rates über Abfälle und der Entscheidung 94/904/EG des Rates über ein Verzeichnis gefährlicher Abfälle im Sinne von Artikel 1 Absatz 4 der Richtlinie 91/689/EWG über gefährliche Abfälle, (2000/532/EG)

[2003/33/EG]

ENTSCHEIDUNG DES RATES vom 19. Dezember 2002 zur Festlegung von Kriterien und Verfahren für die Annahme von Abfällen auf Abfalldeponien gemäß Artikel 16 und Anhang II der Richtlinie 1999/31/EG

[Abfallbehandlungspflichtenverordnung]

Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Behandlungspflichten von Abfällen, BGBl II 459/2004

[Abfallverzeichnisverordnung]

Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über ein Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnisverordnung), BGBl. II Nr. 570/2003

[AWG 2004]

Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002), BGBl I Nr. 102/2002; AWG 2002 idF AWG-Novelle 2004

[BiPRO 2001]

Verwertungsmöglichkeiten ausgewählter Fraktionen aus der Demontage von Elektroaltgeräten – Fraktion: Bildröhrenglas, Endbericht, BiPRO im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Mai 2001

[EAG-VO]

Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von elektrischen und elektronischen Altgeräten (Elektroaltgeräteverordnung – EAG-VO), BGBl. II Nr. 121/2005

[EDIA 2004]

Newsletter of the European Display Industry Association, EDIA, Brussels, 2004, http://www.eeca.org/pdf/edia_newsletter_july_2004.pdf

[LAGA 31]

Technische Anforderungen zur Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten sowie zur Errichtung und zum Betrieb von Anlagen zur Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten, Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), Endfassung 24.03.04

[NÖAbfall 2002]

Sammlung und Verwertung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten in Niederösterreich, Jahresbericht 2002, NÖ Abfallwirtschaftsverein, St. Pölten, 2002

[QWERTY 2004]

QWERTY and Eco-Efficiency analysis on treatment of CRT containing appliances at Metallo-Chimique NV, The eco-efficiency of treating CRT glass fractions versus stripped appliances in a secondary copper-tin-lead-smelter, Final Report, TU Delft, Delft, October 14, 2004

[Roadmap 2003]

Display-Märkte im Umbruch – Neuorientierungen für Umweltschutzstrategien, Entwurf; Siegfried Berhendt, Lorenz Erdmann, im Auftrag des Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Berlin 2003

[RoHS-RL]

Richtlinie 2002/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten

[Schott 2005]

<http://www.schott.com/crt/english/products/crt/market.html>

[UBA 2002]

Demontagebetriebe für Elektro- und Elektronikaltgeräte In Österreich, Christian Rolland, Berichte BE-200, Umweltbundesamt, Wien, Jänner 2002

[UBA DE 2004]

Verwertung von Altglas, Umweltdaten Deutschland Online, UBA Berlin, Sept. 2004

[VerpackungsRL]

Richtlinie 94/62/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Dezember 1994 über Verpackungen und Verpackungsabfälle (ABl. L 365 vom 31.12.1994, S. 10)

[VersatzV]

Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage, Datum: 24. Juli 2002, Fundstelle: BGBl I 2002, 2833

[WEEE-RL]

Richtlinie 2002/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte

[WRAP 2004]

Materials recovery from waste cathode ray tubes (CRTs), Project code: GLA15-006, ICER (Industry Council for Electronic Equipment Recycling), Herausgeber: The Waste & Resources Action Programme (WRAP), ISBN: 1-84405-077-7, März 2004

8 Liste Expertengespräche

Mit Experten folgender Unternehmen wurden bisher Gespräche geführt:

- AB Ekranas, Panevezys, Litauen
- AVE Timelkam, Timelkam
- BASAR Handels Ges.m.b.H., Steyr
- Bayerische Flaschen-Glashüttenwerke Wiegand & Söhne, Steinbach am Wald
- BMG Metall und Recycling GmbH; Arnoldstein
- Boliden Mineral AB, Skelleftehamn, Schweden
- eds-r GmbH, Nürnberg
- ENBAK Entsorgungsbetrieb GmbH, Himberg
- ESR Elektro- und Elektronik-Schrott-Recycling GmbH, Zams
- FEEI, Wien
- Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart
- Immark, Regensdorf, Schweiz
- MA 48, Wien
- Metallo-Chimique NV, Beerse, Belgien
- Montanwerke Brixlegg, Brixlegg
- Norddeutsche Affinerie AG, Hamburg
- Nordeg, Hamburg
- Philips GmbH, Deutschland
- Rumpold AG, Unterpremstätten
- Samsung Corning Deutschland GmbH, Tschernitz
- Saint-Gobain Oberland, Neuburg
- Schott Glas, Mainz
- SMK Salzburger Metall- und KabelverwertungsGmbH, Bürmoos
- STV Glass a.s., Valašské Meziříčí, Tschechien
- Thomson-Polkolor, Polen
- UBA Süd, Klagenfurt
- UEV - Umwelt, Entsorgung und Verwertung GmbH, Heilbronn
- Umicore Precious Metals Refining, Hoboken, Belgien
- Umweltforum Haushalt, Wien

- Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart
- Verbund-Umwelttechnik GmbH, St. Andrä