

1

BMU Umweltinnovationsprogramm

2

Abfallwirtschaft

3

Abschlußbericht

4

Aufbau einer großtechnischen Anlage
zur Zerlegung von Kathodenstrahlröhren.

von

5

Dipl. Ing. (FH) Bernhard Jehle

6

ZM-Elektronik Recycling GmbH

7

Geschäftsführer
Bernhard Jehle

8

Im Auftrag des
Umweltbundesamtes

9

November 2011

Berichts-Kennblatt

Berichtsnummer UBA 0441- /	2.	3.
4. Titel des Berichtes Aufbau einer großtechnischen Anlage zur Zerlegung von Kathodenstrahlröhren		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Jehle Bernhard	8. Abschlußdatum November 2010	
	9. Veröffentlichungsdatum November 2011	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) ZM- Elektronik Recycling GmbH Auf dem Langen Furt 17 35452 Heuchelheim	10. Vorh. Nr.	
	11. Seitenzahlen 19	
7. Fördernde Institution Umweltbundesamt, Woerlitzer Platz 1, 06844 Dessau-Rosslau	12. Literaturangaben	
	13. Tabellen und Diagramme 5	
	14. Abbildungen 9	
15. zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung Die Firma ZM-Elektronik Recycling GmbH hat in dem Projekt ein Konzept entwickelt, um Bildröhren aus dem Recycling von Bildschirmgeräten möglichst effizient zu bearbeiten. Ziel des Vorhabens war der Aufbau einer Anlage zur Trennung von Bildröhren in Schirm- und Trichtergläser auf Basis einer Lasertrenneinheit und der Aufbau von Verfahrenskomponenten zur weiteren Bearbeitung der Glasfraktionen, die bei der Trennung anfallen. Mit der Kombination dieser Verfahrensschritte ist es möglich, die anfallenden Glasfraktionen als Rohstoff für die Produktion von neuen Bildröhren nutzbar zu machen. In der Anwendung führt das Verfahren dazu, dass neben der eingesparten Energie auch Rohstoffe im Kreislauf geführt werden, was zur Umweltentlastung beiträgt.		
17. Schlagwörter Bildröhrenrecycling, CRT-Recycling		
18.	19.	20.

Report-Coversheet

UBA UBA 0441- /	2.	3.
4. Report Title Building of a large-scale plant for the decomposition of cathode ray tubes		
5. Author(s), Name(s), First Name(s) Jehle Bernhard		8. Report Date November 2010
		9. Publication Date November 2011
6. Performing Organisation (Name, Address) ZM- Elektronik Recycling GmbH Auf dem Langen Furt 17 35452 Heuchelheim		10. Report-No.
		11. No. of Pages 19
7. Promoting Institution Umweltbundesamt, Woerlitzer Platz 1, 06844 Dessau-Rosslau		12 No. of References
		13. No. of Tables, Diagr. 5
		14. No. of Figures 9
15. Supplementary Notes		
16. Abstract The company ZM Electronics Recycling GmbH has developed a concept in the project to treat cathode ray tubes from the recycling of TV units and monitors as efficiently as possible. The objective of this project was the construction of a plant for the separation of cathode ray tubes into panel glass and funnel glass on the basis of a laser cutting unit and the development of process components for further processing of the glass fractions resulting from the separation. With the combination of these steps, it is possible to make use of the resulting fractions of glass as a raw material for the production of new cathode ray tubes. In the application, the procedure to do this, that in addition to the energy saved also raw materials in the circuit are held which contributes to the environmental protection guides.		
17. Key Words CRT-Recycling		
18.	19.	20.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	5
Aufgabenstellung	6
Wiederverwertung	8
Ziel des Vorhabens	8
Bestehende Verwertungsverfahren	8
Trennverfahren	9
Reinigungsverfahren	9
Bewertung der Verfahren	10
Erwartete Umweltentlastung und Kosteneinsparung	10
Rohstoff- und Rohstoffkosten-Einsparungen	10
Energiekosten-Einsparungen	10
Realisiert Anlage	13
Beschreibung	14
Durchsatz und Produktqualität	17
Energieeinsatz	17
Darstellung der erzielten Ergebnisse	18
Zusätzliche Ergebnisse	18
Darstellung der aufgetretenen Probleme	19
Lösungen für die Hauptprobleme	19
Ausblick	20
Quellen- und Literaturangaben	21

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Aufbau einer Farbbildröhre</i>	7
<i>Abbildung 2: gereinigtes (links) und ungereinigtes, beschichtetes (rechts) Trichterglas</i>	9
<i>Abbildung 3: Bearbeitungs- und Aufbereitungslinie für Bildröhrengeräte mit Bildröhrenglas-Trennung mittels Lasertechnik</i>	13
<i>Abbildung 4: Prozessschema der realisierten Anlage zur Bildröhrenglas-Zerlegung und Aufbereitung</i>	13
<i>Abbildung 5: Plasma-Trenner für Spannband</i>	14
<i>Abbildung 6: Eingangsschleuse der Lasertrennanlage</i>	14
<i>Abbildung 7: Einmess-Station der Lasertrennanlage</i>	15
<i>Abbildung 8: Reinigungsrohr für Schirmglas</i>	16
<i>Abbildung 9: Der neue Standort im Industriegebiet Nord in Heuchelheim</i>	19

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verkaufte Fernseh-Neugeräte mit Bildröhrentechnik in Deutschland (ohne Monitoren) in 1990 bis 2010	6
Tabelle 2: Stoffliche Zusammensetzung einer aktuellen Leuchtschichtprobe	12
Tabelle 3: Energieeinsatz Trennung der Bildröhre	17
Tabelle 4: Energieeinsatz Glasreinigung	17
Tabelle 5: Darstellung der Kosten	18

Abschlussbericht:

BMU-Umweltinnovationsprogramm

Vorhaben: Aufbau einer großtechnischen Anlage zur Zerlegung von Kathodenstrahlröhren.

Aufgabenstellung:

Im Jahre 2000 wurden ca. 5,81 Millionen [1] CRT (Cathode Ray Tube = Kathodenstrahl-Röhre) oder Bildröhren-Farbfernsehgeräte in der Bundesrepublik Deutschland verkauft. Bei einer durchschnittlichen Gebrauchsdauer von ca. 10 Jahren [2] fielen diese Geräte im Jahr 2010 zur Entsorgung an. Dies entspricht bei einem mittleren Gewicht von 28 kg pro Fernsehgerät rund 162.680 Tonnen Altgeräten im Jahr 2010.

Da auch in den folgenden Jahren ähnliche Verkaufszahlen erzielt wurden und erst ab 2005 eine deutliche Reduzierung der verkauften Geräte einsetzte (siehe Tab. 1), ist auch für die Folgejahre mit einem Altgeräteaufkommen in vergleichbarer Größenordnung zu rechnen.

Farbfernsehgeräte – Gesamtmarkt Deutschland (1000 Stück.)								
1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010
5.050	5.490	5.810	4.060	2.730	1.435	639	150	34

Tabelle 1: Verkaufte Fernseh-Neugeräte mit Bildröhrentechnik in Deutschland (ohne Monitoren) in 1990 bis 2010 Quelle: ZVEI, Frankfurt

Die zum Recycling anfallende Menge an End-of-Life (EoL) Bildröhrengeräten kann sich aufgrund von Großereignissen, wie z.B. einer Fußballweltmeisterschaft, durchaus stark erhöhen. Die Verfügbarkeit moderner Displays mit LCD-, LED-, Plasma- und (ganz neu) 3D-Technologien zu attraktiven Preisen führt zu einem rapiden Austausch der alten CRT-Fernseher und Monitore in den Haushalten und damit zu einer Verkürzung der Gebrauchsdauer.

Die Altgeräte rücknahme wird im europäischen Umfeld durch eine Reihe von Verordnungen und Gesetzen geregelt.

Mit der Novellierung des Europäischen Abfallartenkataloges (EAK) sind ausgebaute Bildröhren seit 1998, komplette Fernsehgeräte und Monitore seit 2002 gefährliche Abfälle.

Die WEEE-Richtlinie (von engl.: Waste Electrical and Electronic Equipment; deutsch: (Elektro- und Elektronik-Altgeräte) ist die EG-Richtlinie 2002/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte. Ziel dieser Richtlinie ist das Vermeiden, Verringern sowie

umweltverträgliche Entsorgen der zunehmenden Mengen an Elektronikschrott durch eine erweiterte Herstellerverantwortung. Diese EU-Richtlinie ist im Januar 2003 in Kraft getreten. Bis 13. August 2005 sollten die EU-Mitgliedstaaten die Richtlinie in nationale Gesetze umgesetzt und ein nationales Rücknahmesystem aufgebaut haben. Ab Dezember 2006 sollen mindestens 4 kg Elektronikschrott pro Einwohner und Jahr gesammelt werden. In Deutschland trat am 24. März 2005 das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) in Kraft, das neben der WEEE-Richtlinie auch die EU- Direktive RoHS (Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten) in deutsches Recht umsetzte.

Mit der Einführung des ElektroG ist eine bundesweite Erfassung der Monitore und Fernsehgeräte gegeben. Lediglich die Qualität und der Erhaltungszustand der gesammelten und zur Aufbereitung angelieferten Geräte sind stark verbesserungsbedürftig.

Die WEEE-Richtlinie schreibt eine stoffliche Verwertungsquote von 65 % für die Kategorien der Unterhaltungselektronik und der Kommunikationstechnik vor. Unter diese Kategorien fallen Fernsehgeräte, Monitore und damit die darin enthaltenen Bildröhren (CRTs).

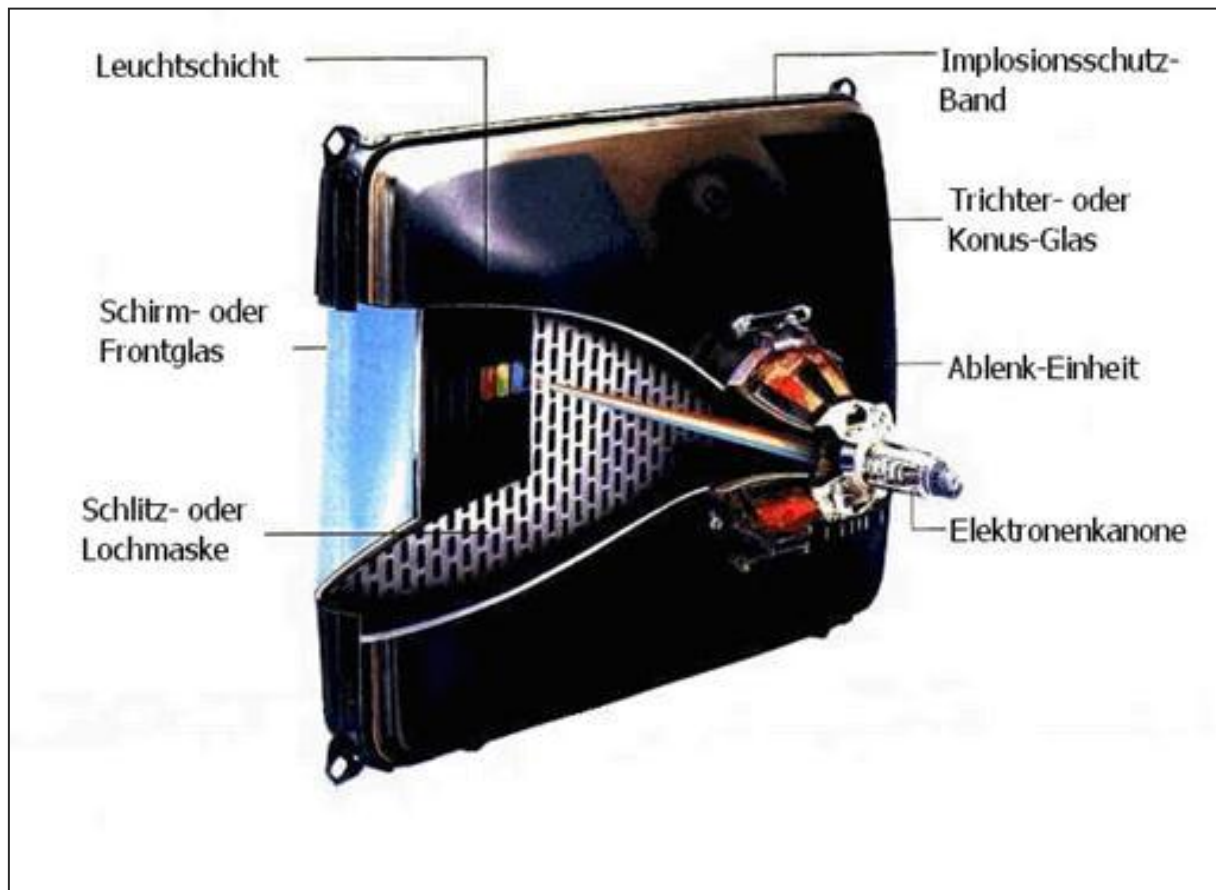


Abbildung 1: Aufbau einer Farbbildröhre

Wiederverwertung

Nach umfangreichen Erprobungen innerhalb der Verwertungsaktivitäten seitens des Glasherstellers Schott, Mainz, der bereits seit mehreren Jahren die Verwendung von EoL Fernsehglas in der Trichterglasschmelze im großtechnischen Maßstab betrieben hatte, ist seit dem Jahr 2002 auch der Wiedereinsatz getrennter Bildschirm-gläser im originären Stoffkreislauf, d.h. direkt in die Schirmglaswanne, realisiert. Im Jahr 2004 wurde die Fertigung von Bildröhrengläsern bei Schott eingestellt.

Aktuell werden Bildröhrengläser nur noch in Malaysia, Indien und China hergestellt.

Unabdingbare Voraussetzung für den rohstofflichen Einsatz von EoL Gläsern ist eine saubere Trennung in Schirm- und Trichterglas (Konusglas) sowie eine hohe Qualität und Reinheit der Glasfraktionen. Diese Anforderungen können nur Betriebe erfüllen, die über adäquate Trenn- und Aufbereitungstechniken verfügen.

Ziel des Vorhabens

Um die Anforderungen der WEEE-Richtlinie zu erfüllen und CRT-Glas in großem Umfang in den originären Stoffkreislauf zurückführen zu können, ist es zwingend notwendig, weitere Trennanlagen in Deutschland, aber auch im europäischen Ausland, in Betrieb zu nehmen. Diese Anlagen müssen sowohl von der technischen Seite ausgereift sein, als auch eine wirtschaftliche Betriebsweise möglich machen, um zu bestehenden Verfahren konkurrenzfähig zu sein.

Seit der Inbetriebnahme der ZME-Trennanlage 1995/1996 konnten bei der Bearbeitung von ca. 500.000 Bildröhren umfassende Erkenntnisse hinsichtlich des Trennprozesses und der Aufbereitung der resultierenden Glasfraktionen gewonnen werden. Diese Erfahrungen sollten bei der neuen Anlage umgesetzt werden.

Der Bau, die Inbetriebnahme und der erweiterte Probetrieb sind die Inhalte des Investitionsvorhabens.

Bestehende Verwertungsverfahren

Mischglasverfahren

Mehrere Anlagen sind in der Praxis im Einsatz, die Bildröhrenbruch produzieren. Die relativ günstigen Mischglasverfahren bedienen unterschiedliche Recyclingpfade.

Im schlechtesten Verwertungsfall werden die entstandenen Glasscherben mit allen festen Anhaftungen, den in den Gläsern enthaltenen Schwermetallen und allen sonstigen Glasbestandteilen in der Fläche deponiert (was auch als stoffliche Verwertung zählt, z.B. als Zuschlagstoff bei der Betonteilefertigung). Der Aufwand für die Vorbehandlung der Bildröhren ist bei diesen Verfahren sehr gering, so dass nach wie vor große Mengen an Bildröhrenglas so verwertet werden, was mit dem unwiederbringlichen Verlust von Rohstoffen, einer nicht unerheblichen ökologischen Belastung [3] und dem Verlust der Verbleibskontrolle dieser Abfälle einhergeht.

Nur in zwei bestehenden Anlagen werden Ergebnisse erzielt, die den unter ökologischen Gesichtspunkten hochwertigen Einsatz der entstehenden Glasfraktionen zulassen. Bei diesen aufwändigeren Verfahren werden die kompletten Röhren, oder auch Bruchglas, in mehreren Prozessschritten von den Metallen, Anhaftungen und Beschichtungen befreit. Nach weiteren Sortier- und Klassierschritten hat das Glasgemisch eine Qualität erreicht, die einen rohstofflichen Einsatz in der Schirm- und Trichterglasschmelze möglich macht.

Trennverfahren

Als Trennverfahren haben sich das Heißdrahtverfahren (Thermotrennverfahren) der Fa. Vicor GmbH, Berlin - ehemals Vicor - und die Trennung mit Diamantsägeblättern etabliert.

Das zum Zeitpunkt der Antragsstellung neuartige Trennverfahren mittels Lasertechnologie wurde auf Grund der zu erwartenden hohen Trennqualität und der Verarbeitungsgeschwindigkeit für das Projekt ausgewählt. Es handelt sich hierbei um die Exportvariante des Herstellers Proventia, Finnland.

Reinigungsverfahren

Für den Einsatz im „Closed-Loop-Prozess“ zur Herstellung neuer CRT-Gläser muss eine Entschichtung der getrennten Gläser stattfinden. Das Schirmglas ist innenseitig mit einer schwermetallhaltigen Leuchtschicht belegt, die z.B. per Hochdruckreinigung mittels Wasser entfernt werden kann. Diese Leuchtschicht muss vom Prozesswasser getrennt und als separate Fraktion der Entsorgung zugeführt werden. Nach dem Reinigungsvorgang muss das Schirmglas gemäß Spezifikation zerkleinert werden und kann dann in die Stoffströme des „Closed-Loop-Prozesses“ gelangen.

Auch die zweite Trennfraktion, das Trichterglas, ist beschichtet. Die Innenseite weist eine mit Wasserglas gebundene Eisenoxidschicht auf, die Außenseite ist mit Graphit belegt. Diese Beschichtungen müssen für den rohstofflichen Einsatz des Glases ebenfalls zwingend entfernt werden.

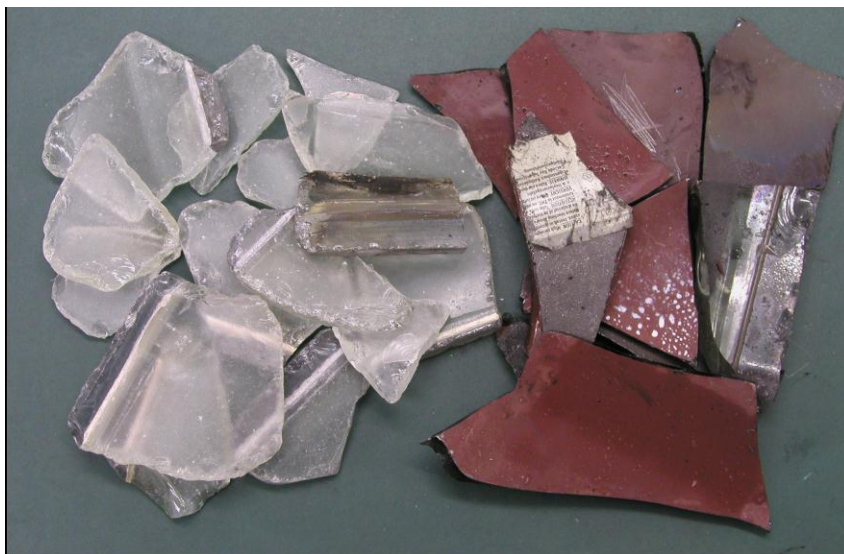


Abbildung 2: gereinigtes (links) und ungereinigtes, beschichtetes (rechts) Trichterglas

Anlagen zur Behandlung und Reinigung von Bildröhrengläsern sind im „normalen“ Maschinen- und Anlagenbau nicht als Standardlösungen erhältlich. Die im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Mischglasanlagen stellen im Kern Entschichtungsanlagen dar. Der Stoffstrom dieser Anlagen ist auf die Bearbeitung kompletter Bildröhren ausgerichtet.

Die Eigenentwicklung einer Reinigungsanlage war ebenfalls Gegenstand des Vorhabens und konnte durch ein horizontal angeordnetes, mit Schwingungen beaufschlagtes Reinigungsrohr zur Schirmglasreinigung und ein daraus weiter entwickeltes, vertikal angeordnetes Schwingrohr zur Reinigung der Trichterglasscherben umgesetzt werden.

Bewertung

Ein reines Mischglasverfahren erlaubt im besten Falle den Einsatz des Bildröhrenbruchs als mengenlimitierter Sekundärrohstoff zum Wiedereinschmelzen in der Schmelzwanne für Trichterglas. Hierbei sind nicht nur die Mischglas-Einsatzmengen limitiert, sondern ihre Verwendung reduziert letztlich die einsetzbaren Mengen an getrenntem EoL-Trichterglas erheblich.

Durch aufwändige Sortierverfahren, basierend auf Röntgentrenntechnologie, sind Mischglasanlagen in der Lage, getrennte Glasfraktionen herzustellen. Aufgrund der sehr hohen Investitionskosten ist dies nur in großen Anlagen möglich, die mindestens bundesweit tätig sind.

Nur Anlagen mit anspruchsvollen Trenn- und Aufbereitungsverfahren ermöglichen den herkunftsbezogenen Wiedereinsatz als Rohstoff. Bis zu 50% der Rohstoffe in der Trichterglasproduktion, in einigen Produktionsstätten sogar bis über 70%, können mit EoL-Trichterglas ersetzt werden.

Bei der Schirmglasproduktion sind derzeit, je nach Glaswerk, ca. 15-40% Rohstoff-Substitution mit Recycling-Schirmglas möglich.

Erwartete Umweltentlastung und Kosteneinsparung

► Rohstoff- und Rohstoffkosten-Einsparungen

Die in dem neu entwickelten Verfahren hergestellten getrennten und aufbereiteten Gläser können direkt als Rohstoffe im originären Stoffkreislauf zur Herstellung neuer Bildröhren-Glaskomponenten eingesetzt werden. Diese Gläser substituieren als vorgeschmolzene Stoffgemische die originären Rohstoffe, u.a. Siliziumoxid, Blei, Barium, Strontium etc. und sind preiswerter als die einzelnen Primärrohstoffe.

Je hochwertiger die Reinheit und Qualität der erzeugten Rohstoffe aus EoL-Gläsern ist, umso größer ist der einsetzbare prozentuale Anteil dieser (Sekundär-) Rohstoffe am gesamten Rohstoffeintrag in die Schmelzwanne. Sowohl in der Schirmglas- als auch in der Trichterglas-Produktion sind Anteile bis über 90% denkbar.

Berechnungen* des Glasherstellers Schott in Mainz ergaben, auf der Grundlage der eigenen Beschaffungsdaten, folgende Rohstoffkosten-Einsparungen bei Einsatz von aufbereitetem EoL-Glas anstelle originärer Rohstoffe:

Schirmglas	24 - 72 EUR / t
Trichterglas	110 – 150 EUR / t

Hierbei gilt: je höher der mögliche prozentuale Anteil der EoL-Scherben am gesamten Rohstoffeintrag in die Schmelzwanne ist, umso größer ist die Rohstoffkosten-Einsparung je produzierter Tonne neues Bildröhrenglas.

**Berechnungen auf der Basis der Preise von 2002, neuere Werte stehen leider nicht zur Verfügung.*

► Energiekosten-Einsparungen**

Darüber hinaus ist wieder verwendetes EoL-Bildröhrenglas mit einem geringeren Energieeintrag erschmelzbar und spart somit gegenüber den Gemengen aus reinen Primärrohstoffen zwischen 10 und 15% der einzusetzenden Heizenergie je Gewichtsequivalent. Auch hierzu wurden entsprechende Untersuchungen des Glasherstellers Schott durchgeführt. Die nachstehenden Kalkulationen basieren auf den Wannenkapazitäten bei Schott in Mainz, gelten aber grundsätzlich auch für andere Standorte und andere Beheizungssysteme.

a) Schirmglas, Wannenkapazität 140.000 t/a

30% EoL-Glas-Einsatz (42.000 t/a) Einsparung 14.578 EUR x 30 = 437.340EUR/a
 50% EoL-Glas-Einsatz (70.000 t/a) Einsparung 14.578 EUR x 50 = 728.900EUR/a
 Schirmglas-Energiekosteneinsparung 10,41 EUR/t EoL-Schirmglas

b) Trichterglas, Wannenkapazität 60.280 t/a

60% EoL-Glas-Einsatz (36.168 t/a) Einsparung 7.113 EUR x 60 = 426.780 EUR/a
 80% EoL-Glas-Einsatz (48.224 t/a) Einsparung 7.113 EUR x 80 = 569.040 EUR/a
 Trichterglas-Energiekosteneinsparung 11,80 EUR/t

**** Berechnungsgrundlagen:**

Gaspreis (2002): 173,55 EUR/1000 m³, O (Sauerstoff)-Preis (2002): 47,26 EUR/1000 m³

Schirmglas-Wannen: 1 % EoL-Glas-Einsatz anstelle Gemenge (originäre Rohstoffe) bedeutet einen Minderbedarf von 10m³/h Gas = 240 m³/d; bei 350 Produktionstagen pro Jahr entspricht dies einem Minderbedarf von 84.000 m³/a Gas bzw. einer Kosteneinsparung von 14.578,00 EUR/a

*Trichterglas-Wanne: 1 % EoL-Glas-Einsatz anstelle Gemenge (originäre Rohstoffe) bedeutet einen Minderbedarf von 3 m³/h Gas und 6,9 m³/h O₂ = 72,2 ; bei 350
 m³/d Gas und 165,6 m³/d O₂*

Produktionstagen pro Jahr entspricht dies einem Minderbedarf an Gas von 25.200 m³/a (Kosteneinsparung 4.373 EUR/a) und an O₂ von 57.960 m³/a (Kosteneinsparung 2.740 EUR/a), insgesamt also eine Kosteneinsparung von 7.113 EUR/a.

► Durch die hochwertige Trennung und Aufbereitung der EoL-CRT-Gläser werden die darin enthaltenen Rohstoffe erneut nutzbar gemacht. Dies vermindert die Ausbeutung der z.T. deutlich limitierten Rohstoffressourcen wie beispielsweise Blei, Barium, Strontium, aber auch Siliziumoxid und ermöglicht die Nutzung dieser Primärrohstoffe für andere Anwendungen.

► Aufgrund der hohen Produktqualität der getrennten und aufbereiteten EoL-Gläser können diese auch außerhalb des sogenannten „Closed-Loop-Recyclings“ als Rohstoffe für weitere Glasprodukte oder verwandte Materialien eingesetzt werden, bei denen spezifische Bestandteile oder Eigenschaften der EoL-Gläser gezielt genutzt werden können.

Ein markantes Beispiel ist hier der Einsatz der bleihaltigen Trichtergläser als Rohstoff zur Herstellung von strahlenabsorbierenden Schutzgläsern im Bereich der Nuklear- oder Röntgenmedizin. Ebenso können Schirmglas-Granulate auf Grund ihrer spezifischen abrasiven Eigenschaften als Strahlmittel in der Metall verarbeitenden Industrie Anwendung finden.

Weiterhin wurden EoL-Schirmgläser erfolgreich als Rohstoff zur Herstellung von Glasuren für keramische Produkte, aber auch als Zuschlagstoffe für die Herstellung von Keramik selbst erprobt.

Alle diese hochwertigen Einsatzmöglichkeiten erschließen sich dem EoL-Bildröhrenglas nur durch einen definierten, jederzeit kontrollierbaren Trenn- und Aufbereitungsprozess, der kontinuierlich größere Mengen der Glasfraktionen in gleichbleibender Produktqualität erzeugt, so wie er durch dieses Projekt bei ZME realisiert werden konnte.

► Durch die durchgängige, qualifizierte Behandlung der angelieferten Bildröhren-Geräte können auch alle anderen „Beistoffe“ wie Holz, Kunststoffe, Metalle sauber und weitgehend sortenrein erfasst und einer stofflichen oder energetischen Verwertung zugeführt werden.

- Die Komplettbearbeitung der Bildröhren an einem einzigen Standort erspart zusätzliche Transporte, beispielsweise von halb verarbeiteten Bildröhren zur Trennanlage oder von getrennten Schirm- und Trichtergläsern zur Scherbenreinigung, da Fraktionen entstehen, die direkt, ohne weitere externe Behandlungs- oder Verarbeitungsschritte, als Rohstoffe verwendet werden können.
- Die Bildröhren werden als gefährlicher Abfall angeliefert. Mit der qualitativ hochwertigen Aufbereitung der Röhren wird der als gefährlicher Abfall verbleibende Anteil (Beläge, Leuchtschicht, Feinstglasrückstände) wesentlich reduziert, als Konzentrat der Umwelt definiert entzogen und fachgerecht deponiert. Die Hauptfraktion, das getrennte, gereinigte Glas, wird unter transparenten Bedingungen als Rohstoff im Originalkreislauf belassen. Hierdurch wird die Menge des zu deponierenden gefährlichen Abfalls auf etwa 3 % des Eingangsvolumens reduziert; bei Mischglasanlagen wird dieser Anteil größer sein, da das schwieriger zu entschichtende Trichterglas gleichzeitig mit dem Schirmglas verarbeitet wird. Dies führt verfahrensbedingt zu einem größeren Feinstglasanteil.
Es ergibt sich durch die Verarbeitung in zwei Verfahrensschritten eine Senkung des Deponieraum-Bedarfes für den gefährlichen Abfall Bildröhrengeräte auf ebenfalls etwa 3 % und eine entsprechende Reduzierung der anfallenden Deponiekosten.
- Durch die besseren Vermarktungsmöglichkeiten der mit dem neuen Verfahren erzeugten Glasfraktionen werden diese Bildröhrengläser anderen, oftmals nicht umweltgerechten und regelwidrigen „Recyclingpfaden“ entzogen (Straßenbau, Zuschlagstoffe in der Bauindustrie, Behälterglas) [4] und ein unkontrollierter Schadstoffeintrag in die Umwelt verhindert .
- Die Leuchtschicht, die direkt nach der Trennung von Schirm und Trichter bei der trockenen Abreinigung als sehr reine Fraktion anfällt, kann mit ihren hohen Konzentrationen an Zink (ZnO), Yttrium (Y₂O₃) und Europium (Eu₂O₃) potentiell in eine Verwertung gegeben werden. Hierzu sind jedoch entsprechende weitergehende Untersuchungen erforderlich.

Leuchtschicht-Komponenten	Anteil in %
Al ₂ O ₃	3,96
CaO	0,268
ZnO	39,5
SiO ₂	12,5
Fe ₂ O ₃	0,167
SrO	1,12
SO ₃	10,2
Co ₃ O ₄	0,208
Y ₂ O ₃	23,2
K ₂ O	1,57
NiO	0,372
CdO	0,161
BaO	1,08
Eu ₂ O ₃	1,5
PbO	3,05

Tabelle 2: Stoffliche Zusammensetzung einer aktuellen Leuchtschichtprobe (gemessen mit RFA - Röntgenfluoreszenzanalyse)

Realisierte Anlage



Abbildung 3: Bearbeitungs- und Aufbereitungslinie für Bildröhrengeräte mit Bildröhrenglas-Trennung mittels Lasertechnik

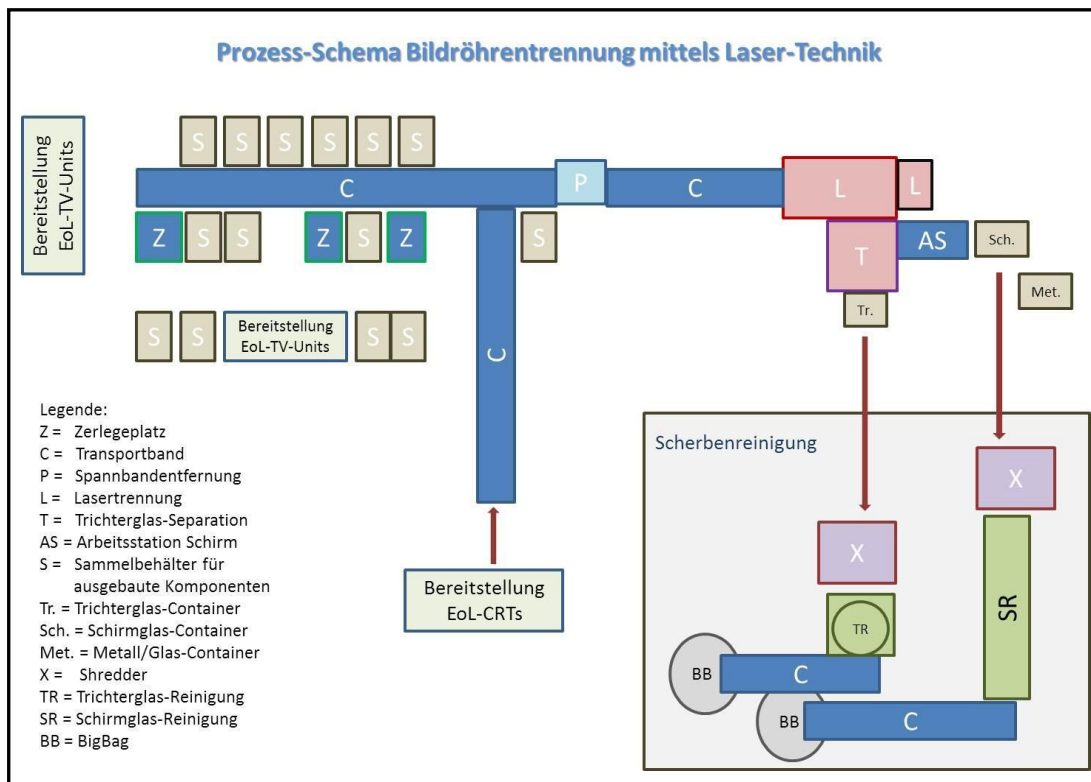


Abbildung 4: Prozessschema der realisierten Anlage zur Bildröhrenglas-Zerlegung und Aufbereitung

Beschreibung

1. Arbeitsstationen (**Z**) zur Zerlegung der angelieferten, kompletten Fernsehgeräte und Monitoren und zur Vorbereitung der CRT für die nachfolgende Trennung. Die Gehäuse und verschiedenen Komponenten (Platinen, Lautsprecher, Kabel etc.) werden auseinandergelöst, nach Komponenten und Werkstoffen sortiert und in die Sammelbehälter (**S**) eingebracht. Die CRT wird freigestellt und belüftet, die Kathode entfernt. Die Bildröhre wird auf dem Transportband (**C**) (Rollenbahn) platziert und zur Spannband-Entfernung verbracht. Das Spannband der CRT wird mittels Plasma-Trenner (**P**) geräusch- und staubarm aufgetrennt.



Abbildung 5: Plasma-Trenner für Spannband

Diese Technik dient als Ersatz für die üblicherweise eingesetzten Winkelschleifer, welche in hohem Maße Staub und Lärm emittieren. Das abgelöste Spannband wird in ein Werkzeug eingezogen und aufgewickelt.



Abbildung 6: Eingangsschleuse der Lasertrennanlage

2. Transport der CRT zur Trennanlage mittels Transportband (**C**).

3. Die Trennung von Schirm- und Trichterglas mittels Laser findet in einem gekapselten Raum (**L**) statt. Über eine Schleuse wird die CRT in die Zelle transportiert, die CRT wird eingemessen und positioniert.



Abbildung 7: Einmess-Station der Lasertrennanlage

4. Mit dem Laserstrahl werden die vier Seiten nacheinander bearbeitet. Der beim Schneiden entstehende Rauch wird abgezogen und gefiltert. Die geschnittene Bildröhre wird über die Ausgangsschleuse ausgetragen, gleichzeitig wird die nächste Bildröhre zugeführt.
4. Separierung Trichter- und Schirmglas (**T**). Durch Abkippen der CRT wird das Trichterglas abgeworfen. Das Trichterglas gelangt in einen Transportcontainer (**Tr.**) und wird der Trichterglas-Reinigungsstufe im Segment Scherbenreinigung zugeführt.
5. Das Schirmglas wird zur Arbeitsstation (**AS**) zur Entnahme der Schattenmaske und Entfernung der Pins weitergeleitet. Nach dem Ausbau der Schattenmaske und dem Entfernen der Pins wird die Leuchtschicht abgesaugt. Die Metallkomponenten werden in Containern (**Met.**) zur stofflichen Verwertung gesammelt. Die Leuchtschicht wird separat in speziellen Behältern gesammelt. Aktuelle Untersuchungen geben Anlass zur Hoffnung, dass die Leuchtschicht zukünftig nicht mehr deponiert werden muss.
Das Schirmglas wird in einem Transportcontainer (**Sch.**) gesammelt und der Schirmglas-Reinigungsstufe im Segment Scherbenreinigung zugeführt.

Die folgenden Einrichtungen sind für die beiden Produktlinien Schirm- und Trichterglas im Wesentlichen gleich aufgebaut.

6. Zerkleinerer (**X**). Die Glasteile werden auf Stücke kleiner 50 mm gebrochen. Durch die spezielle Brechertechnik entsteht nur sehr geringer Staubanfall.
7. Reinigungsrohr (**TR** bzw. **SR**), kontinuierlich bzw. diskontinuierlich arbeitendes Verfahren. Die Scherben werden durch Vibrationen (Schwingungen) des Rohres in Bewegung gesetzt und reiben aneinander. Die Beschichtung der Gläser wird dadurch entfernt.



Abbildung 8: Reinigungsrohr für Schirmglas

Das dabei entstehende Glas-Feinstaub-Gemisch wird in einem nachfolgenden Sieb mechanisch getrennt. Das abgeseibte Unterkorn wird zusammen mit dem Staub teilweise in das Reinigungsrohr zurückgegeben (Eigenbett-Verfahren). Durch Steuerung der Bewegungsrichtung (x,y,z) ist die Durchsatzleistung und die Qualität der Reinigung regelbar.

8. Eine Absauganlage erfasst den entstehenden Staub, der in einem hoch wirksamen Filter zurückgehalten wird.
9. Ein oberhalb der Transporteinrichtung angeordneter Magnetabscheider befreit den Glasstrom von evtl. noch vorhandenen Metallteilen.
10. Flachgurtförderer (**C**) transportieren die gereinigten Scherben ins jeweilige Ausgangslager bzw. zur Befüllstation (**BB**) für die Transport-Bigbags.

Durchsatz und Produktqualität

Eingang

Es sollen pro Jahr mindestens 100.000 Bildröhren (EoL-CRT) verarbeitet werden. Bei einem durchschnittlichen Stückgewicht von 28kg pro Bildröhre ergeben sich ca. 3.000 t/a Eingangsmaterial.

Leistung

Trennanlage und Schirmglasreinigung: durchschnittlich 60 Bildröhren pro Stunde; Trichterglas-Reinigungsanlage: mindestens 1 t/h. Damit ergibt sich eine realistische Kapazität bei einem mittleren Bildröhrengewicht von ca. 28 kg und einem einschichtigen Betrieb von ca. 4.000 t/a.

Produkte

Durch die genaue Trennung der Bildröhren und die hochwertige Aufarbeitung der Glasfraktionen sind sowohl das Schirmglas als auch das Trichterglas als Rohstoffe anerkannt und gehen ohne weitere Bearbeitung direkt zum Wiedereinschmelzen an die Bildröhrenglas-Hersteller.

Aus den 3000 t/a Bildröhren lassen sich ca. 1625 t/a Schirmglas und ca. 1025 t/a Trichterglas gewinnen.

Energieeinsatz

Stufe 1, Bildröhrentrennung

Maschine	Anschlussleistung [kW]
Plasmatrenner, Absaugung	4,00
Laser, Kühler+ Kompressor	50,00
Sauger Leuchtschicht	2,20
Absaugung Laseranlage	5,50
Anschlussleistung Stufe 1	61,70

Tabelle 3: Energieeinsatz Trennung der Bildröhre

Stufe 2, Glasreinigung

Maschine	Anschlussleistung [kW]
Brecher	44,00
Schüttelrohr mit Sieb	6,60
Schüttelturm mit Sieb	6,60
Förderbänder	5,00
Absaugung	11,00
Anschlussleistung Stufe 2	73,20

Tabelle 4: Energieeinsatz Glasreinigung

Gesamtanschlussleistung: 134,90 kW, tatsächlicher Verbrauch¹ ca. 70 %, 95 kWh

¹ bedingt durch Auswahl marktgängiger Antriebe, Einplanung von Leistungsreserven

Kosten pro Tonne aufbereitetes Altglas

Energie		<i>Menge</i>	<i>pro kWh</i>	<i>pro Tonne</i>
		95,00	0,17 EUR	15,68 EUR
Mitarbeiter		<i>Anzahl</i>	<i>pro Stunde</i>	<i>pro Tonne</i>
		2,25	14,52 EUR	36,30 EUR
Abschreibung	<i>Wert</i>	<i>7Jahre</i>	<i>pro Stunde</i>	<i>pro Tonne</i>
	500.000,00 EUR	71.428,57 EUR/a	33,82 EUR	33,82 EUR
Umlagen				<i>pro Tonne</i>
				19,20 EUR
Kosten / t				105,00 EUR

Tabelle 5: Darstellung der Kosten

Darstellung der erzielten Ergebnisse:

Die wesentlichen Ziele des Vorhabens wurden erreicht:

- ✓ Antragsstellung und Genehmigung nach dem BImSchG (Bundes-Immissionsschutz-Gesetz)
- ✓ Bau einer neuen Produktionshalle
- ✓ Konzept und Aufbau einer Plasmatrennvorrichtung für die Spannbänder
- ✓ Aufbau und Weiterentwicklung der Laser-Trennanlage
- ✓ Konzept und Aufbau einer Reinigungsanlage für Schirmglas
- ✓ Konzept und Aufbau einer Reinigungsanlage für Trichterglas
- ✓ Abnahme und Inbetriebnahme gemäß BImSchG

Zusätzliche Ergebnisse:

- ✓ Mit- und Fortentwicklung der Laser-Trennanlage vom Prototyp zur Produktionsanlage.
- ✓ Einbindung dieser Laser-Trennanlage in einen kontinuierlichen Aufbereitungsprozess vom Bildröhrengerät zu hochwertig getrennten Rohstoff-Fractionen.
- ✓ Realisierung einer Detektionsvorrichtung für Blei in den Schirmgläsern; die Detektion per Gleitfunkenpektrometer wurde in den Verarbeitungsprozess integriert; eine Messung per LIBS (Laser-induzierte Breakdown-Spektroskopie) konnte nicht integriert werden.
- ✓ Weiterentwicklung des horizontal angeordneten Schirmglas-Reinigungsrohres zu einer senkrecht stehenden Variante zur Reinigung von Trichterglas. Anmeldung zum Patent der neuartigen Vorrichtung.
- ✓ Registrierung der aufbereiteten Endprodukte gemäß EU-Chemikalien-Verordnung REACH.

Darstellung der aufgetretenen Probleme

Während der Projektlaufzeit sind drei Hauptprobleme aufgetreten:

1. **Die fehlende Praxistauglichkeit der Laser-Trennanlage:**

Die Trennanlage hat hinsichtlich Trennqualität und -quantität nicht den erwarteten

- und vom Anbieter garantierten(!) - Ergebnissen entsprochen. Es waren zeit- und kostenaufwändige Anpassungen und Änderungen der Anlage selbst erforderlich, die auch umfangreiche bauliche Änderungen der Peripherie notwendig machten.

2. **Die Standortfrage:**

Das ursprünglich forcierte Konzept zum Bau einer Produktionshalle, die auf dem Gelände des Landkreises Gießen steht, konnte auf Grund neuer Nutzungskonzepte des Geländes durch den Landkreis nicht realisiert werden. Ein neben dem avisierten Grundstück liegendes Gelände konnte - wegen erheblicher Probleme im Bauuntergrund - nicht bebaut werden.

3. **Auflagen in der Genehmigung, besonders Brandschutzauflagen:**

Die ursprüngliche Hallenplanung basierte auf einem Brandschutzkonzept, welches von der Baubehörde nicht akzeptiert wurde. Gefordert wurde ein Bauwerk nach der Industriebaurichtlinie, was zu einer wesentlichen Veränderung des Hallenkonzeptes führte.

Neben diesen Hauptproblemen traten noch zeitliche Verzögerungen bei der eigentlichen Baudurchführung auf.

Die Lösungen für die Hauptprobleme waren wie folgt:

1. Integration eines Fachunternehmens, des Laserzentrums Hannover, in den Lösungsprozess. Im Laufe der weiteren Entwicklung wurden die Entwicklungsarbeiten mit eigenen Mitarbeitern forciert und fertig gestellt. Der Hersteller der Anlage hatte sich ab der Übergabe der technischen Unterlagen praktisch nicht mehr am Lösungsprozess beteiligt.

2. Ein neuer Standort wurde im Industriegebiet Nord in Heuchelheim gefunden. Die Genehmigungsunterlagen mussten für den neuen Standort umgearbeitet werden.



Abbildung 9: Der neue Standort im Industriegebiet Nord in Heuchelheim

3. Die ursprünglich für das hölzerne Hallentragwerk geplante, kostengünstige Nagelbrettkonstruktion wurde aufgrund amtlicher Auflagen durch eine Tragkonstruktion basierend auf Leimholzbindern ersetzt. Dies war notwendig, um den geforderten Brandschutz für die Halle einzuhalten.

Alle aufgeführten Punkte führten zu einer erheblichen zeitlichen Verzögerung und einem wesentlichen Anstieg der Kosten.

Ausblick:

Die technische Machbarkeit der Online-Trennung von Bildröhren im Recyclingprozess von TV-Geräten und Monitoren wird im laufenden Betrieb der Anlage bewiesen. Die Übertragbarkeit der Verfahrenssystematik auf andere Standorte ist mit der entsprechenden Investition möglich.

Limitierend stellt sich der Bereich der Glasabsatzwege dar: Einer immer kleiner werdenden Gruppe von Produzenten von Bildröhrengläsern wird – auf Grund neuer gesetzlicher Bestimmungen in anderen Ländern - immer mehr EoL-CRT-Glas in sehr unterschiedlichen Qualitäten angeboten. Da die Anbieter geringer Glasqualitäten diesen Nachteil durch niedrige Preise „auszugleichen“ versuchen, führt dies zu einem starken Preisdruck beim (Sekundär-)Rohstoffverkauf.

Aufgrund der zeitlich endlichen Absatzmöglichkeit der EoL-CRT-Gläser im real geschlossenen Kreislauf ist die Entwicklung und Erschließung von anderen, sinnvollen und akzeptierten Produktströmen zwingend notwendig.

Mit der realisierten Produktionsanlage können - entstehungsnahe - getrennte, aufbereitete Gläser hoher Qualität hergestellt werden, die als Produkt auch in alternative Einsatzbereiche geliefert werden können. Dies ist ein wichtiges Kriterium für den zukünftigen Erfolg dieses Anlagenkonzeptes. Die mit diesem Anlagenkonzept erzielbare hohe Produktqualität ist wiederum eine wesentliche Grundlage für die Verfügbarkeit von ökonomisch und ökologisch attraktiven Absatzmöglichkeiten für das weiterhin im Recyclingmarkt angebotene EoL-CRT-Glas.

Quellen- und Literaturangaben

- [1] ZVEI, Frankfurt
- [2] **10-12 Jahre:** Gutierrez et al.: Lifetime of household appliances: empirical evidence of users behaviour, Waste Management and Research, Juli 2010.
10 Jahre: Method to measure the amount of WEEE generated, Report to Nordic council's subgroup on EEE waste, 2010
10 Jahre: Fraunhofer IZM and PE Europe (2007): EuP Preparatory Studies "Televisions" (Lot 5) Final Report on Task 5 und UNU et al. (2007): 2008 Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE).
8 Jahre: Schlupe, M. et al. (2009): Sustainable Innovation and Technology Transfer Industrial Sector Studies RECYCLING - FROM E-WASTE TO RESOURCES. July 2009.
- [3] Vortrag Dr.-Ing. Thomas Hünlich, SCHOTT Glas: End-of-Life-Fernsehglas, alternative Verbringungsverfahren und ihre Auswirkungen auf die Umwelt, 07./08. September 2000
Greulich, N., Hünlich, Th.: Elution von Bildröhrenglas zur Charakterisierung seines Deponieverhaltens, Glastechn. Ber. Glass Sci. Technol. 69 (1996) Nr. 8, S.N. 77 – N 81
Yilmaz, V.T.; Glasser, F.P.: Reaction of alkali-resistant glass fibers with cement. Pt. 1. Review, assessment, and microscopy., Glass Technol. 32 (1991) Nr. 3., S 91-98
Larms, A., et. al.; Mobilisierbarkeit von Schwermetallen und Arsen aus Schlacken, Gläsern und Gesteinen, Anwendung des pHstat-Verfahrens für Sonderfragestellungen bei Verwertungsvorhaben; Hrsg.; Niedersächs. Landesamt für Ökologie 1999
Goforth, D.E., Morse, L.R., Gulati, S.T.: Lead Extraction from CRT-Glasses Digest of technical papers/Society for Information Display SID 1994 No. 25, p. 905 – 908
Beurteilung von Glasreststoffen im Hinblick auf die Verwendung als Straßenbaustoff für Tragschichten ohne Bindemittel. Lehrstuhl für Straßen- und Eisenbahnwesen, Universität Karlsruhe, Gutachten Nr. 2/95, April 1995.
- [4] Vortrag Dr.-Ing. Thomas Hünlich, SCHOTT Glas: End-of-Life-Fernsehglas, alternative Verbringungsverfahren und ihre Auswirkungen auf die Umwelt, 07./08. September 2000
Greulich, N., Hünlich, Th.: Elution von Bildröhrenglas zur Charakterisierung seines Deponieverhaltens, Glastechn. Ber. Glass Sci. Technol. 69 (1996) Nr. 8, S.N. 77 – N 81
Yilmaz, V.T.; Glasser, F.P.: Reaction of alkali-resistant glass fibers with cement. Pt. 1. Review, assessment, and microscopy., Glass Technol. 32 (1991) Nr. 3., S 91-98
Larms, A., et. al.; Mobilisierbarkeit von Schwermetallen und Arsen aus Schlacken, Gläsern und Gesteinen, Anwendung des pHstat-Verfahrens für Sonderfragestellungen bei Verwertungsvorhaben; Hrsg.; Niedersächs. Landesamt für Ökologie 1999
Frerker, M.: Einsatzmöglichkeiten von Bildröhrenglas in der Behälterglasindustrie, Vortrag der Fachvereinigung Behälterglasindustrie e.V. anlässlich der 12. Sitzung des Arbeitskreises „Elektronik-Schrott“ am 24. Juni 1997 im Hannover
Goforth, D.E., Morse, L.R., Gulati, S.T.: Lead Extraction from CRT-Glasses Digest of technical papers/Society for Information Display SID 1994 No. 25, p. 905 – 908
Beurteilung von Glasreststoffen im Hinblick auf die Verwendung als Straßenbaustoff für Tragschichten ohne Bindemittel. Lehrstuhl für Straßen- und Eisenbahnwesen, Universität Karlsruhe, Gutachten Nr. 2/95, April 1995.