

Flachbildschirmaltgeräte

Anforderung an die Behandlung und
Status in Österreich



FLACHBILDSCHIRMALTGERÄTE

Anforderungen an die Behandlung und Status in Österreich

Maria Tesar
Andreas Öhlinger

REPORT
REP-0384

Wien 2012

Projektleitung

Maria Tesar

AutorInnen

Maria Tesar

Andreas Öhlinger

Lektorat

Brigitte Karigl, Annette Schiller

Satz/Layout

Elisabeth Riss

Umschlagphoto

© Umweltbundesamt

Dank

Dank gilt den Betreibern von Behandlungsanlagen und jenen Institutionen, welche durch ihre Kooperation und durch zur Verfügung gestellte Unterlagen zur Entstehung der vorliegenden Studie beitragen.

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Eigenvervielfältigung, gedruckt auf CO₂-neutralem 100 % Recyclingpapier

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2012

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-187-1

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG	5
1 EINLEITUNG	13
2 AUFBAU UND ZUSAMMENSETZUNG VON FLACHBILDSCHIRMEN	15
2.1 Aufbau und Funktionsweise von Flachbildschirmgeräten	15
2.2 Ausgewählte behandlungsrelevante Bauteile/Fraktionen	21
2.2.1 LCD-Paneel	21
2.2.2 Hintergrundbeleuchtung	23
2.2.3 Plasma-Paneel	24
2.2.4 Kunststoffe	25
2.2.5 Leiterplatten	26
2.3 Materialzusammensetzung	26
2.3.1 Hauptkomponenten	26
2.3.2 Quecksilber und Indium	28
3 SAMMLUNG UND BEHANDLUNG VON FLACHBILDSCHIRMGERÄTEN UND DEREN UMWELTAUSWIRKUNGEN	30
3.1 Sammlung und Transport	30
3.2 Behandlung	32
3.2.1 Manuelle Demontage	32
3.2.2 Mechanische Behandlung	37
4 MENGEN IN ÖSTERREICH	42
4.1 Flachbildschirmgeräte	42
4.2 Quecksilber	43
5 STANDARDS FÜR SAMMLUNG, TRANSPORT UND BEHANDLUNG VON FLACHBILDSCHIRMALTGERÄTEN	46
5.1 EU	46
5.1.1 WEEE-RL (2002/96/EG)	46
5.1.2 WEEELABEX Standards	47
5.2 Österreich	50
5.2.1 Elektroaltgeräteverordnung (EAG-VO)	50
5.2.2 Abfallbehandlungspflichten-VO	50
5.2.3 Deponieverordnung	52
5.2.4 Grenzwertverordnung	53
5.3 Deutschland	53
5.3.1 LAGA-Merkblatt 31 (Anforderungen zur Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten)	53
5.3.2 Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft)	54

5.4	Schweiz	54
5.4.1	Technische Vorschriften zur Entsorgung von Elektro- und Elektronikaltgeräten von Swico Recycling und SENS	54
6	SCHLUSSFOLGERUNGEN	57
7	REFERENZEN	61
8	ABKÜRZUNGEN	64
9	ANNEX	65
9.1	Zuordnung von Gerätearten gemäß EAG-Geräteliste (BMLFUW, Stand Jänner 2011)	65
9.2	Zusammensetzung von LCD-Glas	66
9.1	Zusammensetzung von Plasma-Paneelen	67
9.2	Durch österreichische Anlagen übernommene und behandelte Mengen an Bildschirmgeräten	68
9.3	In Verkehr gesetzte und gesammelte Bildschirmgeräte in Österreich	69
9.3.1	In Verkehr gesetzte Flachbildschirmgeräte in der Schweiz	70

ZUSAMMENFASSUNG

In Europa wurde bei Bildschirmgeräten (TV-Geräte, PC-Monitore, Laptops etc.) die Technologie der Kathodenstrahlröhre mittlerweile von der Flachbildschirm-technologie abgelöst. In Österreich sind seit etwa einem Jahr in den angefallenen Bildschirmaltgeräten relevante Mengen an Flachbildschirmen enthalten. Für 2010 wird das Aufkommen auf rund 1.000 t bis 3.000 t – von insgesamt ca. 19.000 t Bildschirmaltgeräten – geschätzt. Gemäß Angaben österreichischer Anlagenbetreiber enthalten die derzeit anfallenden Flachbildschirmaltgeräte zum überwiegenden Teil (ca. 70 %) PC-Monitore, zu einem geringeren Teil (25–30 %) TV-Geräte, während Laptops kaum (maximal 5 %) beobachtet werden. Etwa ab dem Jahr 2015 ist mit einem deutlich steigenden Aufkommen an Flachbildschirmaltgeräten zu rechnen.

Bei Flachbildschirmen kann in verschiedene Technologien unterschieden werden. Am häufigsten kommen Geräte mit Flüssigkristallanzeigen (LCDs) zum Einsatz. Die derzeit anfallenden Altgeräte enthalten fast ausschließlich LCD-Anzeigen der ersten Generation mit quecksilberhaltigen Kaltkathodenfluoreszenzleuchten (CCFL) als Hintergrundbeleuchtung. In den LCD-Geräten, die derzeit auf den Markt kommen, werden bereits weitgehend Leuchtdioden (LED) als Hintergrundbeleuchtung eingesetzt.

Plasma-Anzeigen, welche ausschließlich für TV-Geräte verwendet werden, haben einen Marktanteil von nur wenigen Prozent. Geringe Mengen an Plasmageräten¹ finden sich auch bereits in den Altgeräten.

Mittlerweile kommen auch organische Leuchtdioden-Bildschirme (OLED), speziell für sehr dünne Anzeigen wie bei Laptops etc., zur Anwendung.

Flachbildschirmgeräte haben einen hohen Gehalt an Wertstoffen. LCD-PC-Monitore und TV-Geräte enthalten bis zur Hälfte Metalle (Eisen und Aluminium), etwa ein Drittel Kunststoffe, zum Teil hochwertige wie Acrylglas oder ABS, und bis zu 10 % Leiterplatten und andere hochwertige elektronische Komponenten. Die eigentliche Anzeige, das LCD-Paneel selbst, macht weniger als 10 % des Gerätegewichts aus. Plasmageräte unterscheiden sich von LCD-Geräten vor allem durch einen hohen Glasanteil (bis zu 40 %) und einen hohen Elektronikanteil. Außerdem enthalten sie nur wenige Prozent Kunststoffe. Eine in den Displays als Elektrode dienende Beschichtung enthält Indium-Zinnoxid (ITO). Dieses stellt ein wichtiges Technologiemetall dar, welches außer in Flachbildschirmen insbesondere in der Fotovoltaik benötigt wird. Der Gehalt an Indium in den derzeit anfallenden Altgeräten wird auf etwa 13 mg/kg geschätzt.

Gleichzeitig enthalten LCD-Geräte der ersten Generation leicht freisetzbares Quecksilber. In den Kaltkathodenfluoreszenzleuchten befinden sich je einige mg Quecksilber². Deren leicht freisetzbarer, elementar vorliegender Anteil ist abhängig vom Alter der Leuchten und kann mehr als die Hälfte des Hg-Gesamtgehalts betragen. Auch Plasmaanzeigen können in den Plasmazellen Hg enthalten. Seit 2010 ist aufgrund des Auslaufens einer entsprechenden

**Aufkommen
Flachbildschirm-
altgeräte**

**Flachbildschirm-
technologien**

**Zusammensetzung
und Eigenschaften**

Schadstoffe

¹ Genaue Mengenangaben liegen nicht vor

² ab 31.12.2011 gelten gemäß Recast der RoHS-Richtlinie (2011/65/EU) je nach Länge der Lampen gestaffelte Hg-Toleranzwerte (3,5 bis 13 mg pro Lampe)

RoHS-Ausnahme die In-Verkehr-Setzung Hg-haltiger Plasmaanzeigen allerdings nicht mehr zulässig. Der durchschnittliche Hg-Gehalt in derzeit anfallenden Flachbildschirmgeräten wird mit 4 mg/kg abgeschätzt.

Derzeit in Altgeräten enthaltenes LCD-Glas wurde noch größtenteils mit As/Sb geläutert und weist einen As-Gesamtgehalt von etwa 0,5 % auf. Bei Anwendungen, bei denen das Glas stark zerkleinert wird, wie beispielsweise bei der Produktion von Glasschaum, sind relevante Anteile des As eluierbar³.

Bestimmte Bauteile von Plasmaanzeigen bestehen aus PbO-haltigem Glas⁴. Mittlerweile dürfen solche Geräte allerdings nicht mehr auf den Markt gebracht werden.

Hg-Fracht im Vergleich

Die zukünftig jährlich in Flachbildschirmaltgeräten anfallende Quecksilberfracht wird mit etwa 40 kg in einer ähnlichen Größenordnung wie jene in Gasentladungslampen⁵ liegen. Im Vergleich zu Restmüll betragen die jährlichen Frachten etwa ein Zehntel, die Konzentration ist allerdings um das 10-fache höher.

Sammlung und Transport

Flachbildschirmgeräte werden in Österreich derzeit zumeist gemeinsam mit anderen Bildschirmgeräten in Gitterboxen oder auf Paletten mit Folienummwicklung, aber auch in loser Schüttung in Großcontainern gesammelt bzw. transportiert. Bei größeren Anfallstellen werden Flachbildschirmgeräte auch separat erfasst. Zum Teil werden Flachbildschirme bei kommunalen Sammelstellen gemeinsam mit anderen Elektro- und Elektronikaltgeräten gesammelt.

Durch unsachgemäßen Transport von LCD-Geräten kann es zum Brechen von CCFL-Kapillaren und zu einer Freisetzung von Quecksilber kommen. In Versuchen wurde durch absichtliches Fallenlassen von Flachbildschirmen eine Bruchrate von 20 % der Kapillaren ermittelt⁶. Angaben österreichischer Betreiber zufolge sind 2–50 % der angelieferten Geräte äußerlich beschädigt; zum Anteil der bei Anlieferung gebrochen vorliegenden Leuchten gibt es eine Schätzung von etwa 10 %. Im Vergleich zu TV-Geräten ist bei Monitoren aufgrund der Bauweise das Bruchrisiko geringer.

Behandlungsoptionen

Für die Behandlung von Flachbildschirmen existieren im Wesentlichen zwei Optionen:

- Bei der manuellen Demontage werden die Geräte in diverse Wert- und Schadstofffraktionen zerlegt. Die entnommene Hg-haltige Hintergrundbeleuchtung wird anschließend zwecks Abscheidung des enthaltenen Quecksilbers in Behandlungsanlagen für Gasentladungslampen behandelt.
- Alternativ können Flachbildschirme mechanisch/maschinell behandelt werden. Die Behandlung erfolgt in geschlossenen, unter Unterdruck betriebenen Zerkleinerungsanlagen mit Kontrolle der gasförmigen Emissionen und anschließender automatischer Materialsortierung. Die Ausschleusung des Quecksilbers erfolgt durch das Ausbringen von Feinfraktionen sowie durch Absaugung der Luft (zum Teil wird der Materialstrom zusätzlich wärmebehandelt) und Abscheidung mittels Aktivkohlefilter. In einer Anlage wird ein nasser Prozess eingesetzt, wobei Hg anschließend aus dem Prozesswasser abgetrennt wird.

³ IUTA (2011)

⁴ Gemäß BAUDIN (2006) etwa 1,5 % des Glases eines Plasmageräts

⁵ ca. 80 kg/a

⁶ European Electronics Recycling Association (EERA)

In der Praxis werden die beiden Optionen auch kombiniert. Kabel und Standfüße der Geräte werden meist vor einer mechanischen Behandlung entfernt. Bei der Demontage fallen teilweise Kunststoff/Metallverbunde an, welche in Shredderanlagen weiter getrennt werden.

Der wesentliche Beweggrund für die Entwicklung mechanischer Verfahren ist die im Vergleich zu Demontage mit etwa 500 kg/h deutlich höhere Durchsatzleistung. An einem Zerlegearbeitsplatz werden ca. 3–5 Geräte – also weniger als ein Zehntel – pro Stunde verarbeitet.

Nicht alle der 15 österreichischen Anlagen, welche Bildschirmgeräte behandeln, haben sich schon für eine Behandlungsoption für die übernommenen Flachbildschirmgeräte entschieden. In einigen Anlagen werden Flachbildschirme zumindest sporadisch bzw. versuchsweise manuell zerlegt. Manche Anlagen lagern die Geräte noch. Die Fa. STENA plant Flachbildschirme zur mechanischen Aufbereitung zur Fa. Griag nach Deutschland zu exportieren. Die Fa. Saubermacher plant Flachbildschirme in der im November 2011 in Betrieb genommenen mechanischen Aufbereitungsanlage für Lampen mit zu behandeln.

Insgesamt 6 Anlagen zur mechanisch/maschinellen Aufbereitung von Flachbildschirmen konnten in Europa identifiziert werden⁷. Es gibt Anlagen, die primär auf die Behandlung von Flachbildschirmen ausgelegt sind, andere setzen sowohl Gasentladungslampen als auch Flachbildschirme ein.

Sowohl Informationen aus Zerlegeversuchen als auch Angaben österreichischer Behandler weisen darauf hin, dass nach einer vollständigen manuellen Demontage mindestens ein Drittel der CCFL-Kapillaren zerbrochen vorliegt. Während im Bereich von Zerlegearbeitsplätzen mit Arbeitsplatzabsaugung die MAK-Werte für Hg leicht einhaltbar sind, wurden Lagerbereiche für Gebinde mit zerbrochenen Kapillaren als kritisch identifiziert⁸. Die österreichischen Demontageanlagen verfügen zum Teil über eine Arbeitsplatzabsaugung mit Staubabscheidung. Der Einsatz eines Aktivkohlefilters ist nur für eine Anlage bekannt. Eine Überwachung der Hg-Gehalte der Luft im Lagerbereich der Gebinde, in denen sich (kaputte) Kapillaren befinden, ist die Ausnahme.

Zum Verbleib von Quecksilber bei der mechanischen Behandlung von Flachbildschirmen liegen keine eindeutigen Informationen vor. Angaben zum Hg-Austrag über die Luft reichen von rund 50 % bis zu 70 %. Der Großteil des nicht über die Luft ausgetragenen, sondern im Materialstrom verbliebenen Quecksilbers wird in Feinfraktionen angereichert. Die Hg-Gehalte in den erzielten Wertstofffraktionen betragen maximal 0,5 mg/kg.

Hg-reiche Fraktionen fallen bei der Behandlung von Flachbildschirmen entweder in Form von ausgebauten intakten und gebrochenen CCFL-Kapillaren⁹ oder – bei einer mechanischen Behandlung – in Form von Feinfraktionen¹⁰ und/oder Konzentraten aus der Abwasserbehandlung an. Des Weiteren fällt Hg-beladene Aktivkohle an. Die CCFL-Kapillaren werden zwecks Erfassung des leicht freisetzbaren Hg in Behandlungsanlagen für Gasentladungslampen eingebracht. Hg-angereicherte Feinfraktionen können entweder durch thermische Verfahren

Behandlungsanlagen

Quecksilber/ Demontage

Quecksilber/ mechanische Behandlung

Entsorgung von Hg-Fraktionen

⁷ In der Schweiz, Belgien, Deutschland, Frankreich und Österreich

⁸ EMPA (2011)

⁹ Hg-Gehalt von einigen Hundert mg/kg

¹⁰ Angaben zum Hg-Gehalt reichen von maximal 30 mg/kg bis zu 200 bis 500 mg/kg.

(Verbrennungsanlage für gefährliche Abfälle, Vakuumdestillation) behandelt oder – unter Einhaltung der Grenzwerte der Deponieverordnung – deponiert werden. Relevant ist dabei neben Quecksilbergesamt- und -Eluat-Gehalt jedenfalls auch der Organik-Gehalt.

Entsorgung von LCDs

Flüssigkristallanzeigen fallen bei der Demontage als Gesamtes an. Nach einer mechanischen Behandlung liegen sie als zerkleinerte Fraktion mit einem gewissen Verunreinigungsanteil (Metalle, Kunststoffe) vor. Beides wird derzeit primär in Hinblick auf eine zukünftige Rückgewinnung von Indium zwischengelagert oder verbrannt. Eine Deponierung von LCDs ist aufgrund des hohen Organikgehalts von ca. 15 % unzulässig.

Die Rückgewinnung von Indium aus LCDs rechnet sich derzeit aufgrund der geringen Gehalte und der aktuell zu niedrigen Preise für Indium noch nicht und findet in Europa daher nicht statt. Verschiedene Forschungsprojekte zur Optimierung der Rückgewinnung werden sowohl von Verwertern als auch von Universitäten durchgeführt. Großtechnische Anwendungen werden allerdings erst in 2–3 Jahren erwartet. Derzeit in Entwicklung befindliche Ansätze zur Rückgewinnung von Indium basieren im Wesentlichen entweder auf direkten hydrometallurgischen Verfahren oder auf einer vorgeschalteten Aufkonzentrierung von Indiumzinnoxid/Indium-tin-oxide (ITO) durch eine thermische und/oder mechanische Behandlung der LCDs.

Behandlungs- Standards

Die Vorgaben an eine umweltverträgliche Behandlung von EAG – gemäß Abfallbehandlungspflichtenverordnung – umfassen grundsätzlich die Entfernung von bestimmten Stoffen, Zubereitungen und Bauteilen¹¹ so, dass eine Kontamination anderer Bauteile und der Umwelt ausgeschlossen wird, und deren anschließende ordnungsgemäße Behandlung (§ 6). Weiters definiert die Verordnung unzulässige Behandlungen für bestimmte Bauteile. Gemäß § 13 (1) ist unbeschadet der Bestimmungen des § 12 Abs. 1 das Zerkleinern, wie z. B. 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.

Standards konkret für die Behandlung von Flachbildschirmgeräten, welche über allgemeine Anforderungen der WEEE-Richtlinie, wie die Entnahme von LCDs oder Hg-haltigen Bauteilen und zu erreichende Verwertungsquoten¹², hinausgehen, befinden sich derzeit in Ausarbeitung. Vorschläge und Entwürfe für Standards/Richtlinien wurden bereits z. B. von Rücknahmesystemen erarbeitet, wie z. B. der „WEELABEX Treatment“ Standard des WEEEFORUMS¹³ oder Vorschläge zur Anpassung der technischen Richtlinien der Schweizer Systeme SWICO und SENS.

Die Kernelemente der genannten Vorschläge betreffen das Vermeiden und die Überwachung von Hg-Emissionen. Der sorgfältige Umgang mit Hg-haltiger Hintergrundbeleuchtung und die Lagerung von Hg-haltigen Abfällen sind im Detail ausgeführt. Die mechanische Verarbeitung von Flachbildschirmen soll ohne

¹¹ bei Flachbildschirmgeräten prinzipiell relevant: Hg-haltige Bauteile, LCDs, Leiterplatten, Kondensatoren und Kunststoffe mit bromierten Flammschutzmitteln

¹² WEEE-Recast Status 2012: Verwertung: 80 %, Wiederverwendung und Recycling: 70 % ab 3 Jahre nach Inkrafttreten der neuen Richtlinie

¹³ Europäische Vereinigung von EAG-Rücknahmesystemen

vorherige Entnahme der Hg-haltigen Hintergrundbeleuchtung nur dann zulässig sein, wenn eine ausreichende Hg-Abscheidung gewährleistet ist. Um dies nachzuweisen werden 2 Ansätze vorgeschlagen:

1. Hg-Grenzwerte für die zu verwertenden Materialströme;
2. eine Abscheiderate für Quecksilber in % bezogen auf den Input. Eine Begrenzung der Hg-Konzentrationen/frachten in der Abluft wird nicht vorgeschlagen. Spezifische Anforderungen betreffend Behandlung von Plasmasgeräten sind nicht enthalten.

Um eine umweltgerechte Behandlung von Flachbildschirmen sicherzustellen, sollten sowohl für die Demontage als auch für eine mechanische Behandlung Anforderungen definiert werden:

Anforderungen an die Behandlung

Um sicherzustellen, dass bei der Behandlung von Flachbildschirmen die Hg-Verluste in Wertstoffe und/oder in die Luft minimiert werden, sollte die allgemeine Forderung nach einer Minimierung von Emissionen bei der Behandlung von Hg-haltigen Bauteilen gemäß § 7 (2) und § 12 (1) Abfallbehandlungspflichten-VO konkretisiert werden, beispielsweise wie nachfolgend angeführt:

Quecksilberentfrachtung

- Bei der manuellen Demontage von LCD-Modulen ist eine **Arbeitsplatzabsaugung** mit entsprechender **Hg-Abscheidung** aus der abgesaugten Luft, erforderlich. Die Ausstattung der Arbeitsplätze muss gewährleisten, dass Hg-Emissionen aus dem Kapillarenbruch gefasst werden und dass der Kapillarenbruch direkt und unmittelbar aus dem Arbeitsbereich **in Hg-dichte Gebinde** eingebracht werden kann.
- Mechanische Aufbereitungsverfahren sind **gekapselt** auszuführen, unter Unterdruck zu betreiben und die **Hg-Konzentrationen und/oder Frachten** in der Abluft sollten **begrenzt** werden.
Ein Grenzwert in der Größenordnung von 0,02 bis 0,05 mg/Nm³ (vgl. Luftreinhalteverordnung Schweiz, TA-Luft,) würde grob geschätzt einem Verlust von maximal 4–10 % des eingebrachten Hg entsprechen.
- Der Hg-Gehalt in den erhaltenen Wertstofffraktionen sollte mit **maximal 0,5 mg/kg** begrenzt werden. Der Grenzwert sollte bei mechanischen Aufbereitungsverfahren im Materialstrom **unmittelbar nach dem Austritt** aus einer gekapselten Anlage eingehalten werden.

Eine Übernahme des Hg-Grenzwerts von 5 mg/kg für Wertstoff-Fraktionen aus der Behandlung von Lampen (wie in der Schweiz auch für Flachbildschirme vorgeschlagen) wäre nicht zielführend, da dieser bei einem Hg-Gehalt des Flachbildschirm-Inputs von 4 bis 8 mg/kg ohne nennenswerte Hg-Abreicherung erreicht werden könnte. Ein Grenzwert von 0,5 mg/kg würde einer Abreicherung um zumindest den Faktor 10 entsprechen. Der RoHS-Toleranzwert für den Hg-Gehalt in Werkstoffen in Elektro- und Elektronikgeräten beträgt 1.000 mg/kg.

Eine regelmäßige Überprüfung sollte sicherstellen, dass in Hinblick auf die temperaturabhängig veränderte Flüchtigkeit von Hg das Material ganzjährig ausreichend entfrachtet wird.

- Anlagen, welche sowohl zur Behandlung von Lampen als auch von Flachbildschirmen eingesetzt werden, sollten die beiden Abfallarten in **getrennten Chargen verarbeiten**.

Durch die um mindestens eine Größenordnung höheren Hg-Gehalte in Gasentladungslampen¹⁴ könnte es sonst zur Verschleppung von Quecksilber in Fraktionen aus den ursprünglich weniger belasteten Flachbildschirmen kommen.

Lagerung Hg-angereicherter Fraktionen

- Analog zu § 4 (4) Abfallbehandlungspflichtenverordnung, wonach gebrochene Lampen und quecksilberhaltige Fraktionen aus der Behandlung von Lampen in quecksilberdampfdicht verschlossenen Gebinden mit ausreichendem Schutz zur Verhinderung von Hg- und Staubemissionen zu lagern und zu transportieren sind, sollte dies auch für Hg-haltige Fraktionen aus der Behandlung von Flachbildschirmen angeführt werden.
- Die Lagerbehälter von Hg-reichen Fraktionen (Feinfraktionen aus der mechanischen Behandlung, gebrochene CCFL-Kapillaren) sollten **nicht der Hitze ausgesetzt** sein.

Einschränkung der Verwendung von LCD-Glas

LCD-Glas sollte – solange eine Reduktion des As-Gehalts nicht nachgewiesen ist – von bestimmten Verwendungen ausgeschlossen werden um As-Emissionen in die Umwelt zu vermeiden.

- Analog zu § 13 (3) Abfallbehandlungspflichtenverordnung, wonach die Verwendung von bleihaltigen Glasfraktionen aus der Behandlung von EAG als Schleifmittel oder in der Baustoffindustrie zur Herstellung von Baustoffen und als Bauzuschlagstoff oder in der keramischen Industrie oder bei der Schaumglasherstellung unzulässig ist, sollte das Verwenden von As-haltigen bzw. LCD-Glasfraktionen für diese Anwendungen verboten werden.

Sammlung und Transport von Flachbildschirmgeräten

Flachbildschirmgeräte und Bildröhrengeräte werden unterschiedlichen Behandlungsverfahren zugeführt und müssen vor der Behandlung meist separiert werden. Sammlung und Transport von Flachbildschirmgeräten gemeinsam mit anderen Gerätearten führt zu einem erhöhten Beschädigungsrisiko. Vorteilhaft wäre daher:

- Die separate Sammlung von Flachbildschirmgeräten (inklusive Laptops) und Röhrengeräten vorzusehen.
- Die Sammlung von (Flach)bildschirmgeräten in loser Schüttung zu verhindern.

Verwertungsquoten

Zum Teil sind die mit den derzeit verfügbaren, mechanischen Behandlungsverfahren tatsächlich erreichbaren Verwertungsquoten nicht genau bekannt. Die bis längstens 3 Jahre nach Inkrafttreten der neuen WEEE-RL gültige Verwertungsquote von 75 % scheint knapp erreichbar. Um die zukünftig geforderte Quote von 80 % erreichen zu können, sind entweder Verwertungsverfahren für die LCD-Anzeigen (ca. 8–9 % des Gesamtgewichts) erforderlich bzw. muss der Anteil der zu beseitigenden Hg-angereicherten Fraktionen reduziert werden.

Bei der Behandlung von Plasmageräten muss, um die geforderte Quote zu erreichen, aufgrund des hohen Glasanteils auch Glas der Plasmaanzeige stofflich verwertet werden.

¹⁴ ca. 90 mg/kg

Die in der Abfallbehandlungspflichtenverordnung geforderte Schadstoffentfrachtung umfasst auch die Entnahme von Elektrolytkondensatoren > 2,5 cm und von Leiterplatten > 10 cm², so, dass Kontaminationen ausgeschlossen sind.

offene Fragen

Zu Verbleib und Verhalten der in Leiterplatten enthaltenen Schadstoffe bei den tatsächlich angewandten Aufbereitungs-/Verwertungsverfahren (mechanische Aufbereitung, Verbrennung, Einsatz in Sekundärmetallhütten) liegen nur wenige Informationen vor. Diese wären erforderlich, um bewerten zu können, inwieweit es durch das gemeinsame Shreddern der Leiterplatten – sofern sie keine Kondensatoren der genannten Größe enthalten – mit dem Rest der Flachbildschirmgeräte im Vergleich zu einer vorgeschalteten Entnahme der Leiterplatten aus Umweltsicht zu relevanten Nachteilen kommt.

In Hinblick auf Emissionen in die Luft kann – aufgrund der gekapselten Ausführung der Anlagen zur mechanischen Behandlung von Flachbildschirmen – zumindest im Vergleich mit einer mechanischen Aufbereitung von ausgebauten Leiterplatten davon ausgegangen werden, dass kein wesentlicher Nachteil entsteht.

1 EINLEITUNG

In Europa wurde bei Bildschirmgeräten (TV-Geräte, PC-Monitore, Laptops etc.) die Technologie der Kathodenstrahlröhre mittlerweile von der Flachbildschirmtechnologie abgelöst. Von 2003 bis 2007 haben sich die weltweiten Verkaufszahlen von Flachbildschirmen von ca. 85 Mio. auf 230 Mio. Stück nahezu verdreifacht. Seit etwa einem Jahr sind bereits relevante Mengen an Flachbildschirmen in den in Österreich angefallenen Bildschirmaltgeräten enthalten. Etwa ab dem Jahr 2015 ist mit deutlich steigenden Mengen zu rechnen.

Flachbildschirmgeräte zählen aufgrund des hohen Anteils an Elektronik, hochwertigen Kunststoffen und Metallen zu den relativ wertstoffreichen Elektro- und Elektronikaltgeräten (EAG). Das in Flüssigkristallanzeigen enthaltene Indium ist ein wichtiges Technologiemetall, welches außer in Flachbildschirmen insbesondere in der Fotovoltaik benötigt wird. Flachbildschirme enthalten aber auch leicht freisetzbare Schadstoffe. Insbesondere werden bei Flüssigkristallanzeigen der ersten Generation quecksilberhaltige Kaltkathodenfluoreszenzlampen (CCFL) als Hintergrundbeleuchtung eingesetzt.

Begleitend zur Entwicklung von Aufbereitungsverfahren sollten daher auch Anforderungen an eine umweltverträgliche Behandlung definiert werden. In Österreich ist die Behandlung von EAG in der Abfallbehandlungspflichtenverordnung¹⁵ geregelt. Diese enthält Bestimmungen, die auch bei der Behandlung von Flachbildschirmen zu berücksichtigen sind. Allerdings sind bisher keine Vorgaben enthalten, welche die spezifischen Eigenschaften dieser Geräte und der Behandlungsoptionen berücksichtigen. Für die vorliegende Studie wurden daher die relevanten Grundlagen erhoben und darauf basierend Vorschläge für Anforderungen an eine umweltgerechte Behandlung von Flachbildschirmgeräten ausgearbeitet.

Die **Ziele** der vorliegenden Studie sind:

- Grundlagen zu Aufbau und Zusammensetzung von Flachbildschirmen bzw. Eigenschaften von Komponenten darzustellen;
- Behandlungsoptionen für Flachbildschirmgeräte und bestimmte Bauteile sowie deren Umweltauswirkungen zu diskutieren;
- einen Überblick über bereits existierende oder in Entwicklung befindliche Standards betreffend Sammlung und Behandlung von Flachbildschirmgeräten zu geben;
- die derzeitige Situation (Sammlung, Behandlung, Mengen) betreffend Flachbildschirme in Österreich darzustellen;
- und auf Basis der zuvor genannten Informationen Anforderungen an die umweltgerechte Sammlung und Behandlung von Flachbildschirmen abzuleiten.

Hintergrund und Motivation

Ziele

¹⁵ BGBl. II Nr. 459/2004, idF. Nr. 363/2006

Informationsquellen

Als Informationsquellen für die Erstellung der Studie dienten:

- Studien/Veröffentlichungen,
- Befragung der Betreiber von österreichischen Behandlungsanlagen (Sommer 2011) und Anlagenbesuche;
- Kontakte zu:
 - Betreibern von mechanischen Aufbereitungsanlagen in Deutschland und der Schweiz,
 - Technische Sachverständige und Forscher, welche Aufbereitungs- bzw. Zerlege-Versuche durchgeführt haben,
 - Anlagenbauern,
 - WEEE-Forum.

2 AUFBAU UND ZUSAMMENSETZUNG VON FLACHBILDSCHIRMEN

Bei den für PC-Monitore, TV-Geräte und Laptops etc. verwendeten Flachbildschirmtechnologien handelt es sich im Wesentlichen um selbstleuchtende und nicht-selbstleuchtende Direktansichtanzeigen¹⁶.

Arten von Flachbildschirmen

Zu letzteren gehören die Flüssigkristallanzeigen (LCDs), welche am häufigsten eingesetzt werden. Während in der ersten Generation von LCD-Bildschirmen quecksilberhaltige Kaltkathodenfluoreszenzleuchten (CCFL) als Hintergrundbeleuchtung eingesetzt wurden, werden in vielen neueren Geräten, wie insbesondere in Laptops, Leuchtdioden (LED) verwendet. Plasmabildschirme werden nur für TV-Geräte eingesetzt und machen einen Marktanteil von nur wenigen Prozent aus.

Bei selbstleuchtenden Anzeigen ist die Lichtquelle in der Anzeige integriert. Darunter fallen organische Leuchtdioden-Bildschirme (OLED), welche seit kurzem für besonders dünne Anzeigen zum Einsatz kommen.

Da die derzeit anfallenden Altgeräte primär LCDs mit Kaltkathodenfluoreszenzleuchten enthalten, welche aufgrund des enthaltenen Quecksilbers auch von besonderer Umweltrelevanz sind, wird im Folgenden vorwiegend darauf eingegangen.

2.1 Aufbau und Funktionsweise von Flachbildschirmgeräten

Flachbildschirmgeräte bestehen im Wesentlichen aus (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2):

Hauptkomponenten von Flachbildschirmen

- einem Standfuß oder einer Halterung (Kunststoff, Fe),
- dem äußeren Gehäuse (Kunststoffrahmen und Rückwand) und einem inneren Gehäuse/Rahmen (Al, Fe, Kunststoff),
- Kabeln (externe und interne),
- elektronischen Komponenten (Platinen, Netzteil),
- einer Schutzscheibe und
- dem LCD- oder Plasma-Modul.

¹⁶ EMPA (2011)

Flachbildschirme – Aufbau und Zusammensetzung von Flachbildschirmen



Abbildung 1: Gehäuse, Platinen, Standfuß, Schutzscheibe (Quelle: Umweltbundesamt).



Abbildung 2: Beispiele für LCD-Module (Quelle: EMPA 2011, Umweltbundesamt).

LCD-Module Die Hauptkomponenten der **LCD-Module** sind:

- die Hintergrundbeleuchtung

Wie bereits erwähnt, wurden bisher v. a. Kaltkathodenfluoreszenzleuchten (CCFL) eingesetzt, bei neueren Geräten Leuchtdioden (LED). Die CCFL-Kapillaren sind bei PC-Monitoren paarweise oben und unten am Display oder auch rund um das Display angebracht und in Aluminiumschienen verankert. Laptops weisen meist je eine Kapillare oben und unten am Display auf. Bei TV-Geräten sind sie horizontal im Abstand von etwa 3 cm flächig über den ganzen Bildschirm abgebracht. (vgl. Abbildung 4)

- ein Folien-Set

Wie aus Abbildung 5 ersichtlich, besteht das Folien-Set von Flachbildschirmen aus mehreren lose übereinanderliegenden Reflexions- und Diffusionsfolien aus Kunststoff. PC-Monitore enthalten üblicherweise eine ca. 0,5–1 cm starke Acrylglasplatte.

- die Flüssigkristallanzeige (LCD-Paneel)

Dieses besteht aus 2 Glasplatten zwischen denen sich eine Flüssigkristallschicht befindet. Innen sind die Glasplatten mit einer transparenten Elektrodschicht beschichtet, welche häufig aus Indiumzinnoxid besteht. Auf der rückwärtigen Glasplatte befinden sich weitere Leiterbahnen aus Metall (u. a. Ti, Al). Auf der vorderen Glasplatte sind Farbfilter aufgebracht. Auf den Außenseiten sind die Glasplatten jeweils mit Polarisationsfolien verklebt. (vgl. Abbildung 5, Abbildung 6 und Abbildung 7)

- elektronische Bauteile

Diese umfassen Leiterplatten und die Ansteuerungselemente, welche direkt an die Flüssigkristallanzeige anschließen (vgl. Abbildung 8).

- Rückwand und Rahmen

Das Modul wird durch Rückwand und Rahmen aus Metall (Al) und Kunststoff zusammengehalten (vgl. Abbildung 9).

Bilder werden in Flüssigkristalldisplays folgendermaßen erzeugt:

Im Hintergrund des Displays wird Licht ausgesendet. Dieses wird durch die an der Rückseite des Flüssigkristalldisplays angebrachte Polymer-Beschichtung polarisiert. Durch Anlegen einer Spannung bewirkt die innen an den beiden Glasplatten angebrachte Elektrodschicht, dass sich die Flüssigkristallmoleküle dazwischen in eine bestimmte Richtung ausrichten, womit die Durchlässigkeit für das polarisierte Licht gesteuert wird. An der Vorderseite des Displays passiert das Licht bei Farb-Displays einen Farbfilter und eine weitere Polarisationschicht. Diverse Folien hinter dem Display dienen einer gleichmäßigen Verteilung des Lichts über die Fläche (vergleiche Abbildung 6).

Funktionsprinzip Flüssigkristall- anzeige

Abbildung 3 gibt eine Übersicht über die Bestandteile eines LCD-Moduls.

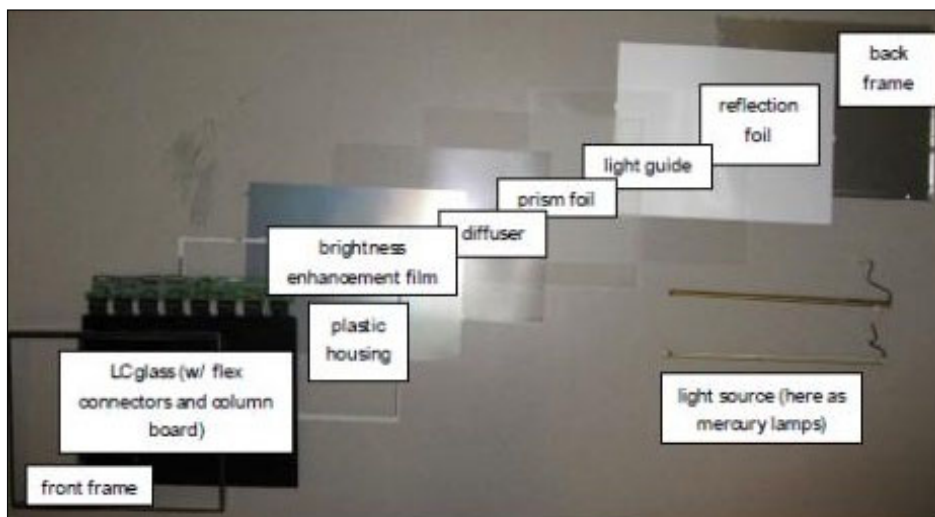


Abbildung 3: Bestandteile eines LCD-Moduls (Monitor) (Quelle: LEE & COOPER, 2008).

Flachbildschirme – Aufbau und Zusammensetzung von Flachbildschirmen

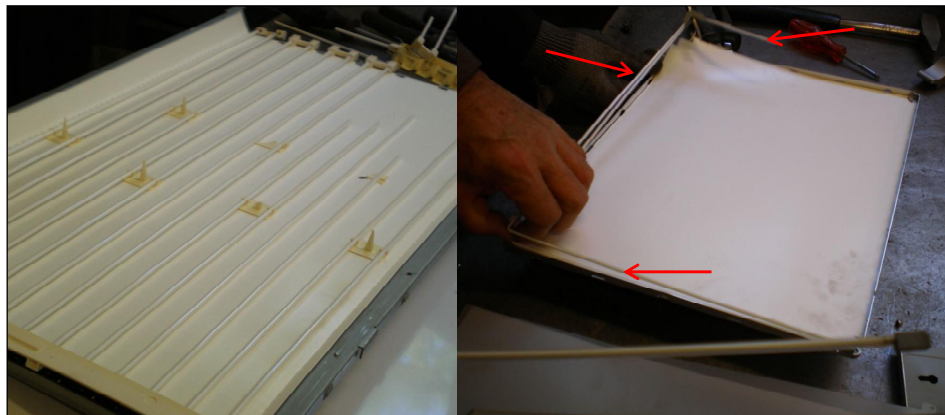


Abbildung 4: Hintergrundbeleuchtung von LCD-TV-Geräten und PC-Monitoren (Quelle: Umweltbundesamt).

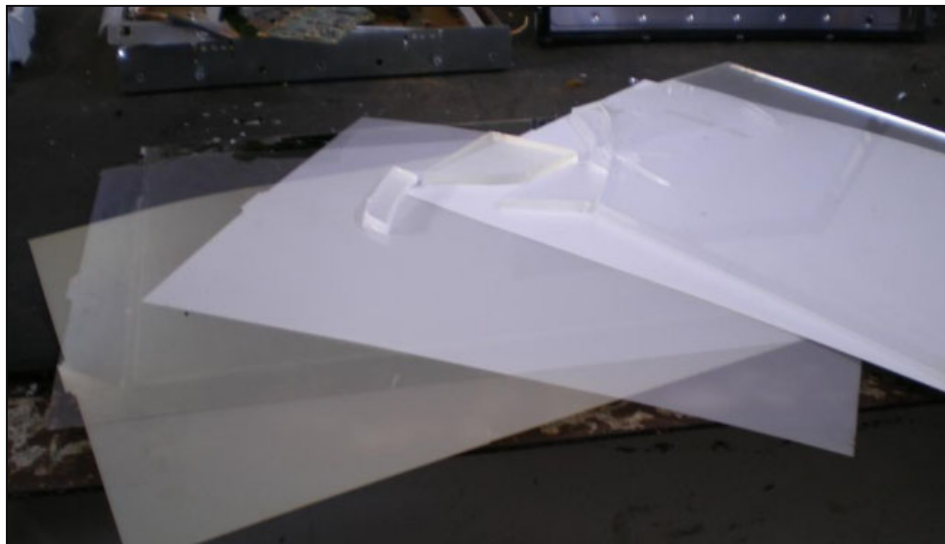


Abbildung 5: Verschiedene Filterfolien inkl. Acrylglasplatte aus PC-Monitor (Quelle: Umweltbundesamt).

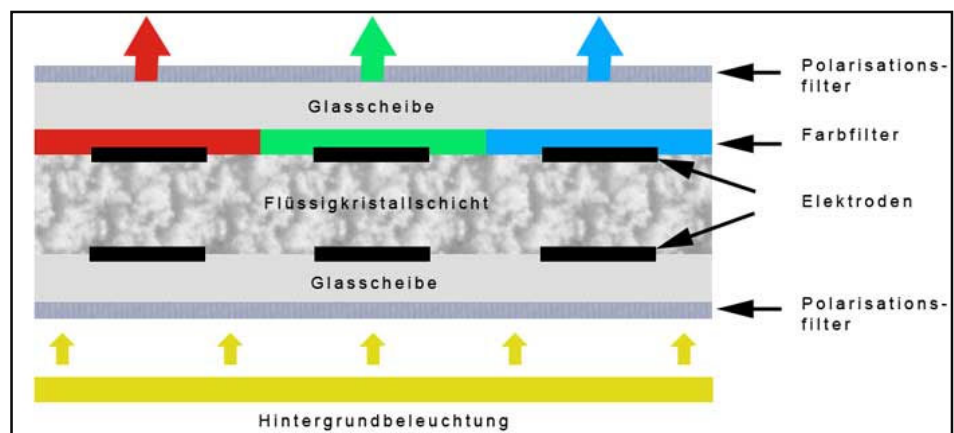


Abbildung 6: Aufbau von Flüssigkristallanzeigen (Quelle: Bild@CMB-Systeme 2008, www.cmb-systeme.de/content/LCD-Aufbau-und-Funktion.html)



Abbildung 7: Im Fass gelagerte Flüssigkristallanzeigen (Quelle: Umweltbundesamt).

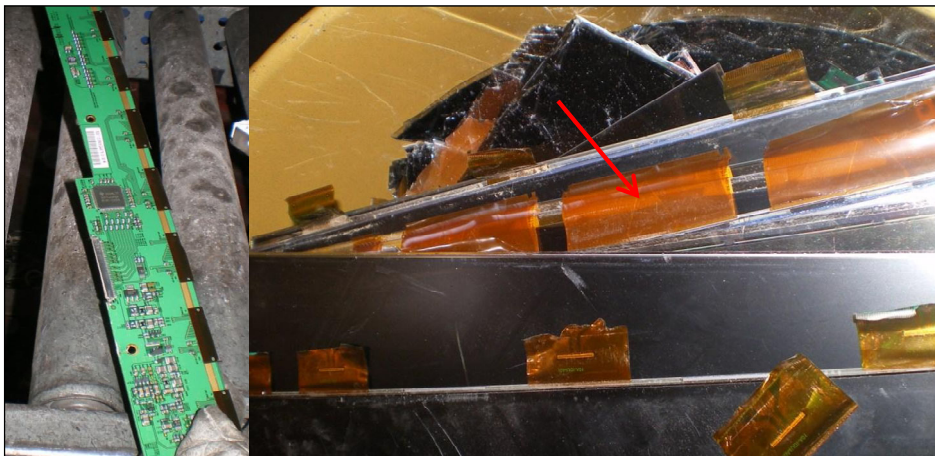


Abbildung 8: Leiterplatten und Ansteuerungselemente an den Displays (Quelle: Umweltbundesamt).

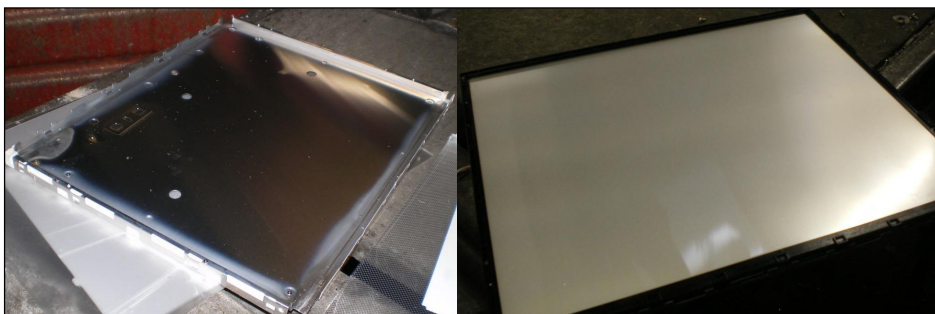


Abbildung 9: Rückwand und Rahmen eines LCD-Moduls (Quelle: Umweltbundesamt).

Ein Plasmadisplay (vgl. Abbildung 10 und Abbildung 11) besteht aus zwei Glasplatten zwischen denen sich winzige unter Unterdruck stehende Hohlräume, gefüllt mit Edelgasgemischen (Neon, Xenon, Helium), befinden. Auf der Innenseite der Glasplatten befinden sich in eine dielektrische Schicht eingebettete Elektroden. Zu den Hohlräumen hin sind diese durch eine Schutzschicht aus mgO getrennt. Durch Anlegen einer Spannung entsteht in den gasgefüllten Zellen ein Plasma; UV-Licht wird ausgesandt. Dieses regt die an den Zellwänden aufgetragenen Leuchtstoffe zur Aussendung von sichtbarem Licht an. Jeweils 3 Zellen (je eine mit rotem, blauem und grünem Leuchtstoff) ergeben einen Bildpixel.

Aufbau und Funktionsprinzip Plasma-Display

Flachbildschirme – Aufbau und Zusammensetzung von Flachbildschirmen

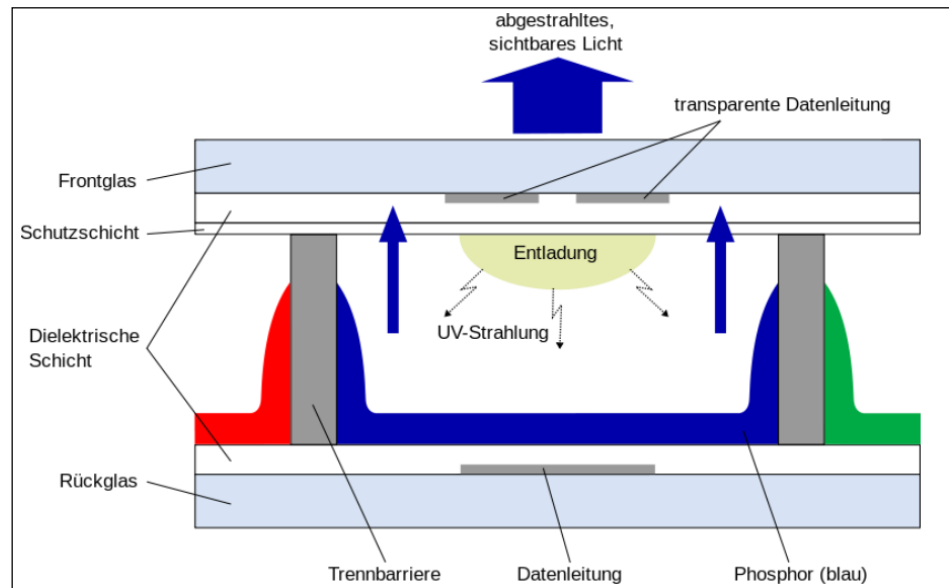


Abbildung 10: Funktion von Plasmaanzeigen (Quelle: Wikipedia, 2011)



Abbildung 11: Plasma-Paneel (Quelle: BAUDIN, 2006)

2.2 Ausgewählte behandlungsrelevante Bauteile/Fractionen

Im Folgenden sind Details zu umweltrelevanten Eigenschaften und zur Materialzusammensetzung von Bauteilen, die in Hinblick auf Schadstoffentfrachtung und Wertstoffgewinnung entscheidend sind, angeführt.

2.2.1 LCD-Paneel

Mit etwa 85 %¹⁷ entfällt der überwiegende Masseanteil des LCD-Paneels auf die beiden Glasplatten aus sogenanntem TFT¹⁸-Glas. Die Polarisationsfolien aus Polymerverbindungen, die außen an den Glasplatten aufgebracht sind, machen mit etwa 15 %¹⁹ den zweiten Hauptbestandteil der LCDs aus. Die Flüssigkristallschicht, Farbfilter, die Elektrodenschicht sowie die Leiterbahnen aus Metall (u. a. Ti, Al) machen einen sehr geringen Teil der Gesamtmasse aus (siehe unten).

Hauptkomponenten

In Hinblick auf eine mögliche Verwertung von LCD-Glas sind einerseits die Zusammensetzung des Glases, andererseits Verunreinigungen aus Anhaftungen relevant.

LCD-Glas

Bei LCD-Glas handelt es sich um Borosilikatglas. Analysen von LCD-Glas aus Altgeräten ergaben, dass ein überwiegender Teil des enthaltenen LCD-Glases As/Sb haltig ist (IUTA 2011). In einer repräsentativen Mischung von LCD-Glas aus Monitoren und TV-Geräten wurde ein durchschnittlicher Gesamtgehalt von 0,5 % As gemessen (vgl. Anhang Kapitel 9.2). Initiativen zum freiwilligen Verzicht auf die Läuterung mit As durch die Industrie wie z. B. *Green Electronics* dürften sich demnach in den derzeit anfallenden Altgeräten noch nicht widerspiegeln.

Folgende Optionen der stofflichen Verwertung einer möglichen Glas-Restfraktion bei einer künftigen Aufbereitung der LCDs werden von IUTA (2011) ausgeschlossen:

Glasverwertung

- Eine Zumischung von LCD-Glas zu Behälter- oder Flachglas ist aufgrund der verarbeitungstechnischen Eigenschaften von Borosilikatglas problematisch
- Aufgrund der genannten metallischen Verunreinigungen erscheint der Einsatz für die Herstellung von optischen Gläsern wegen unerwünschter Trübung oder Färbung kaum möglich.
- Für Anwendungen, bei denen das Glas aufgemahlen wird, wie zum Beispiel die Produktion von Glasschaum, ist LCD-Glas aufgrund der hohen Eluierbarkeit von Schwermetallen (As, Sb) nicht geeignet.

Die Polymerbeschichtungen bestehen aus mehreren Schichten, die gemäß Literaturangaben jedenfalls 2 Celluloseacetatschichten mit einer Schicht aus Polyvinylalkohol (jodhaltig) enthalten. Sowohl Herstellerangaben als auch Untersuchungen an geschredderten Displays weisen darauf hin, dass noch weitere Polymere enthalten sind. Eine Trennung einzelner Polymere für die stoffliche Verwertung erscheint daher schwierig²⁰.

Polymerbeschichtungen

¹⁷ UNTHA, 2011: 83 %, KIM et al., 2009: 87 %

¹⁸ TFT...thin film transistor

¹⁹ UNTHA, 2011: 17 %, KIM et al. 2009: 13 %

²⁰ UNTHA, 2011; LEE & COOPER, 2008

**Flüssigkristall-
schicht**

In LCD verwendete Flüssigkristalle sind persistente organische Verbindungen, die sowohl Eigenschaften von Flüssigkeiten als auch von Festkörpern aufweisen. Gemäß KIM et al. (2009) handelt es sich um Mischungen aus 10 bis 25 Flüssigkristallkomponenten, wobei mehrere Tausend Mischungen am Markt sind, welche unterschiedliche physikalische und optischen Eigenschaften aufweisen. Gemäß EMPA (2011) bestehen sie aus Phenylcyclohexan und Biphenylen. Viele enthalten auch fluorierte Bestandteile. Flüssigkristalle sind schwerlöslich und weisen einen niederen Dampfdruck auf.

Betreffend Umweltrelevanz der Flüssigkristalle wird üblicherweise auf die Untersuchungen eines der drei Hersteller von Flüssigkristallen verwiesen (MERCK 2004). Kommerzielle Flüssigkristallmischungen sind demnach nicht akut toxisch, nicht mutagen in Bakterien und Säugerzellen, nicht schädlich für aquatische Organismen und stehen nicht im Verdacht krebserzeugend zu sein. Die in kommerziellen Flüssigkristallmischungen verwendeten Flüssigkristalle werden in der Wassergefährdungsklasse Zwei eingestuft und sind nicht leicht biologisch abbaubar (LAGA-MERKBLATT 31).

Die Angaben zum Gehalt der Flüssigkristallschicht an Displays schwanken zwischen 0,06 % (AEA 2006) und 0,1 % (KIM et al. 2009).

Die Rückgewinnung der in den LCDs enthaltenen Flüssigkristalle wird in der Literatur aufgrund der komplexen Mischung und der technologischen Weiterentwicklung als kaum machbar beschrieben.

Elektrode – ITO

Die in LCDs verwendete transparente Elektrodenschicht besteht meist aus Indiumzinnoxid. Die Verbindung bildet sich aus 90 % In_2O_3 und 10 % SnO_2 , was einen Massenanteil von 78 % Indium im ITO ergibt (ANGERER et al. 2009). Zum Indium-Gehalt in Flüssigkristallanzeigen liegen unterschiedliche Angaben vor. In Versuchen zur Aufkonzentrierung von Indium aus LCDs wurde ein durchschnittlicher Gehalt von 0,017 % (0,012 % bis 0,021 %) in einem repräsentativen Gemisch aus Altgerätedisplays gemessen (IUTA 2011). Gemäß LI et al. (2009) beträgt der Indium Gehalt von LCDs 0,01 %. EMPA (2011) gehen auf Basis unterschiedlicher Literaturstellen von 234 mg In pro m^2 LCD und 117 mg In pro m^2 Plasmadisplay aus.

**Indium-
rückgewinnung**

Die Rückgewinnung von Indium aus LCDs rechnet sich derzeit aufgrund der geringen Gehalte bzw. Mengen und der aktuell zu niedrigen Preise für Indium noch nicht und findet in Europa daher nicht im industriellen Maßstab statt. Verschiedene Forschungsprojekte zur Optimierung der Rückgewinnung werden sowohl von Verwertern als auch von Universitäten durchgeführt²¹. Großtechnische Anwendungen werden allerdings erst in 2–3 Jahren erwartet.

Eine Literaturübersicht über die derzeit in Entwicklung befindlichen Ansätze zur Rückgewinnung von Indium findet sich z. B. in IUTA (2011). Im Wesentlichen basiert diese entweder auf direkten hydrometallurgischen Verfahren oder auf einer vorgeschalteten Aufkonzentrierung von Indiumzinnoxid durch eine thermische und/oder mechanische Behandlung der LCDs.

²¹ Z. B. Fa. STENA und Universität Chalmers, Montanuniversität Leoben, IUTA

Die Deponierung von LCDs ist aufgrund des hohen Organikgehalts von ca. 15 % grundsätzlich unzulässig. Sie werden derzeit entweder der Verbrennung zugeführt oder in Hinblick auf eine mögliche künftige Rückgewinnung von Indium zwischengelagert.

Behandlungsoptionen LCDs

2.2.2 Hintergrundbeleuchtung

Das in den CCFL-Kapillaren enthaltene Quecksilber wird im Betrieb der Lampe durch den Strom ionisiert und gibt UV Licht ab. Dieses wird durch das ebenfalls enthaltene Leuchtstaubpulver in sichtbares Licht umgewandelt.

Kaltkathodenfluoreszenzleuchten (CCFL)

Die Angaben zum Hg-Gehalt je Kapillare bewegen sich zwischen 2,5²² bis 10 mg/Stück²³. Kaltkathodenfluoreszenzleuchten für spezielle Anwendungen sind gemäß Recast der RoHS-Richtlinie (2011/65/EU) bis 31.12.2011 vom Verbot der Verwendung von Quecksilber in Elektrogeräten ausgenommen. Ab dann gelten je nach Länge der Lampen gestaffelte Toleranzwerte. Kurze Lampen (< 50 cm) dürfen max. 3,5 mg, mittlere (50–150 cm) 5 mg und lange Lampen (>150 cm) maximal 13 mg Hg enthalten.

Relevant für den Hg-Gehalt in Flachbildschirmgeräten ist die Anzahl der enthaltenen Röhrchen. Aus den Ergebnissen von relativ aktuell (2010) an Altgeräten durchgeführten Versuchszerlegungen in Deutschland (IUTA 2011) und Österreich (SALHOFER et al. 2012) kann eine durchschnittliche Anzahl von 3,2 Kapillaren je PC-Monitor und von 15,8 Kapillaren je TV-Gerät²⁴ bei der beobachteten Verteilung von Bildschirmdiagonalen abgeleitet werden. Für Laptops kann von 1 bis 2 Kapillaren pro Gerät ausgegangen werden.

Mit zunehmender Betriebszeit amalgamiert das zuvor elementar vorliegende Quecksilber an der Innenseite der Kapillaren bzw. am Leuchtstaub. Zum Anteil des in Altgeräten bereits amalgamiert vorliegenden – und daher bei Bruch weniger leicht freisetzbaren Anteils an Hg – liegen widersprüchliche Indizien, aber keine gesicherten Ergebnisse vor. Die Schweizer EMPA²⁵ geht von einem Anteil des leicht gasförmig freisetzbaren Hg von 50 bis 80 % aus, während die Betreiber der Anlage 1 davon ausgehen, dass der Großteil des Quecksilbers in gebundener Form an Leuchtstaub, Glas und Metallen vorliegt. Einer aktuellen Untersuchung der IUTA zufolge liegt bei Kapillaren aus Monitoren tendenziell weniger als die Hälfte des Quecksilbers leicht freisetzbar vor, während es bei Kapillaren aus TV-Geräten umgekehrt ist. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass Monitore zum Zeitpunkt ihrer Entsorgung eine vergleichsweise längere Betriebszeit aufweisen²⁶.

²² FLOYD (2002)

²³ KingCounty Solid Waste (2008); in EMPA (2011)

²⁴ Zugrunde liegt die durchschnittliche Anzahl an Kapillaren bei bestimmten Bildschirmgrößen und deren Verteilung in der Stichprobe

²⁵ EMPA (2011), vergleiche auch Kapitel 3.2.2

²⁶ SCHIEMANN (2011)

Behandlungsoptionen Nach der Behandlung liegen entweder intakte und gebrochene CCFL-Kapillaren mit einem Hg-Gehalt von einigen Hundert mg/kg vor oder Hg-angereicherte Feinfraktionen. Die Angaben zum Hg-Gehalt letzterer liegen je nach Anlage zwischen einigen und 30 mg/kg bzw. zwischen 200 und 500 mg/kg.

Erstere werden in Behandlungsanlagen für Gasentladungslampen eingebracht. Dabei wird der gasförmig freisetzbare Teil des Quecksilbers über die Luft ausgetragen und mittels Aktivkohle erfasst. Betreffend am Material gebundenes Hg kommt es durch diese Behandlung zu keiner weiteren Aufkonzentrierung.

Feinfraktionen aus der mechanischen Behandlung werden derzeit untertage und auf Deponien für gefährliche Abfälle deponiert.

2.2.3 Plasma-Paneel

Hauptkomponenten Der bei weitem überwiegende Masseanteil (99 %) des Plasma-Paneels entfällt auf Glas. Der Rest sind diverse Bestandteile/Beschichtungen wie Elektroden, die sogenannte Black Matrix (Carbon, Cr-Oxid), mgO-Beschichtung, flexible Ansteuerungselemente und Leuchtmittel. In Tabelle 18 im Annex sind Details zu den Anteilen bzw. Gehalten dargestellt.

Glas Bestimmte Elemente von Plasma-Paneelen, insbesondere Trennbarrieren und dielektrische Beschichtung, bestehen aus PbO-haltigem Glas. Aus Angaben von BAUDIN (2006) geht hervor, dass der Anteil von PbO-haltigem Glas am Glas der Paneele etwa 2,3 %, am Gesamtglas der Geräte etwa 1,5 % beträgt.

Mittlerweile besteht die RoHS-Ausnahme vom Pb-Verbot für Bleioxid in bestimmten Strukturelementen von Plasmadisplays (PDP), wie der dielektrischen Schicht von Vorder- und Rückglas, der Bus-Elektrode, dem Black Stripe, der Adresselektrode, der Trenn-Barriere, nicht mehr.

Elektrode – ITO In Plasmapaneeelen wird nur für die auf der Frontglasscheibe aufgebrachte Elektrodenschicht Indiumzinnoxid verwendet (da nur diese transparent sein muss). Der Indium-Gehalt eines Plasma-Paneels wird von BAUDIN (2006) mit 12 mg/kg angegeben.

Quecksilber im Plasmagas Bis 2010 konnten quecksilberhaltige Plasmadisplays auf den Markt gebracht werden. Die RoHS-Ausnahme für die Beschränkung von Quecksilber in Plasmadisplays (Toleranzwert: 30 mg/Display) ist seither ausgelaufen. Bei bestimmten Bautypen ist Quecksilber in den Plasma-Zellen zwischen den beiden Glasplatten enthalten. Gemäß LASSEN et al (2008) beträgt der Hg-Gehalt 5–30 mg/Display.

Leuchtstoffe Im Inneren der Plasmazellen befinden sich u. a. Selten-Erd-Metalle enthaltende Leuchtstoffe. Beispiele für die entweder Blau, Grün oder Rot erzeugenden Leuchtstoffe sind: $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ (Blau), $\text{Zn}_2\text{SiO}_4:\text{Mn}^{2+}$ (Grün) oder $(\text{Y,Gd})\text{BO}_3:\text{Eu}^{3+}$, $\text{Y}(\text{V,P})\text{O}_4:\text{Eu}^{3+}$ oder $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Eu}^{3+}$ (Rot). Informationen zu Anteil und Häufigkeit der in den anfallenden Altgeräten tatsächlich enthaltenen Leuchtstoffe konnten nicht identifiziert werden.

2.2.4 Kunststoffe

Zur Verteilung der in Flachbildschirmgeräten enthaltenen Kunststoffe sind z. B. Informationen aus einer im Jahr 2010 an Altgeräten durchgeführten Versuchszерlegung²⁷ verfügbar (SALHOFER et al. 2012). Der Anteil an flammenschutzmittelhaltigen Kunststoffen liegt im Bereich von 1,7 % (Monitore) und 8,6 % (TV-Geräte) bezogen auf die gesamten Kunststoffe. Kunststoffe aus PC-Monitoren setzen sich aus deutlich mehr Acrylglas (PMMA) und PC/ABS im Vergleich zu Kunststoffen aus TV-Geräten zusammen. Bei ABS und PS ist es umgekehrt (vgl. Abbildung 12).

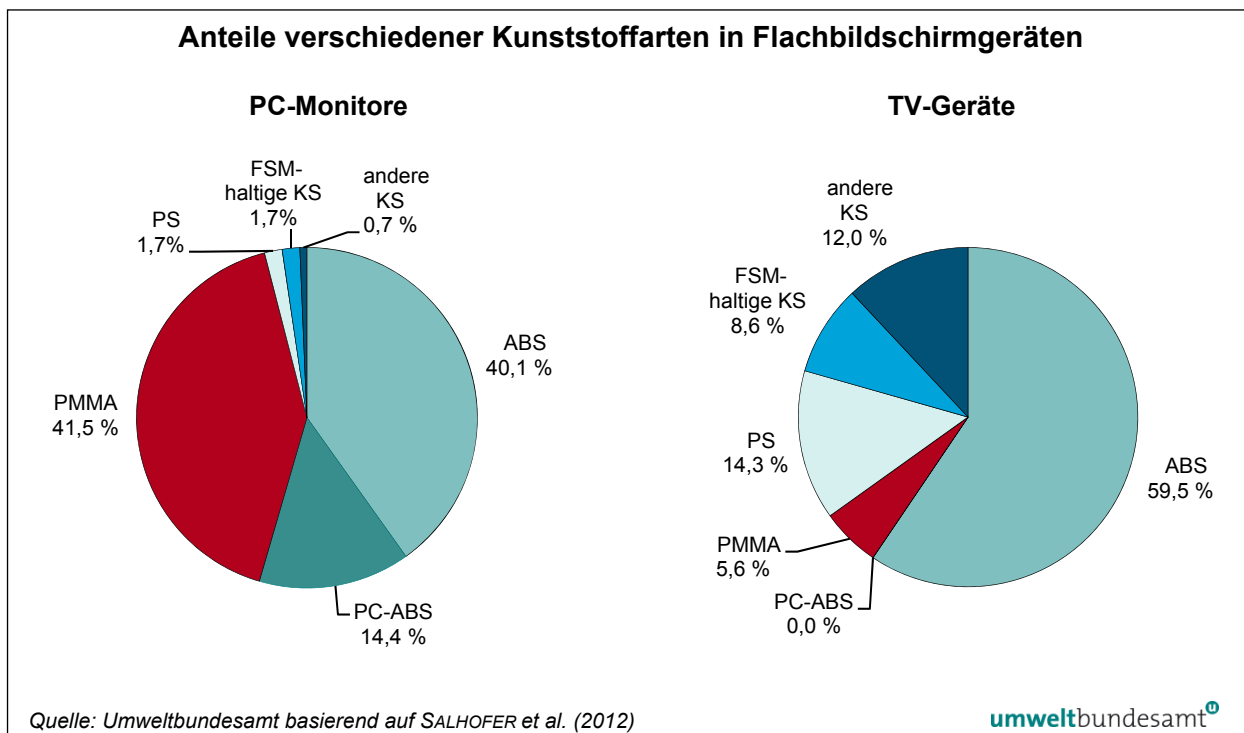


Abbildung 12: Anteile verschiedener Kunststoffarten in Flachbildschirmgeräten.

Durch das WEEE-Forum wurde eine Untersuchung zu den Gehalten der RoHS-Schadstoffe in Kunststofffraktionen aus der EAG-Behandlung durchgeführt (WÄGER et al. 2010). Für gemischte Kunststofffraktionen aus der manuellen Demontage von Flachbildschirmgeräten wurde festgestellt, dass die Gehalte an polybromierten Diphenylethern (Deca-, Penta- und Octa-BDE) und der polybromierten Biphenyl (Deca BB) um mindestens eine Größenordnung unter dem RoHS-Grenzwert²⁸ lagen. Dasselbe gilt für Pb, Hg und Cd²⁸. Lediglich für Cr wurden teilweise höhere Werte, allerdings auch nicht über dem RoHS-Toleranzwert²⁸, ermittelt. Die Hg-Gehalte lagen bei 0,04 bis 0,11 mg/kg.

²⁷ Zerlegeversuche an ca. 90 LCD-Geräten (PC-Monitore und TV-Geräte) aus der Händler-Rücknahme

²⁸ RoHS-Grenzwerte für polybromierte Biphenyle, polybromierte Diphenylether, Pb, Hg und CrVI: 1.000 mg/kg; für Cd: 100 mg/kg

Behandlungsoptionen

In Bezug auf die Verwertung können 3 wesentliche Kunststoffgruppen unterschieden werden:

- Sowohl bei der Demontage ausgebaute Acrylglas-Platten als auch gebrochen vorliegendes Acrylglas aus der mechanischen Behandlung werden dem Recycling zugeführt²⁹.
- Bei der Demontage anfallende Gehäusekunststoffe werden derzeit gemeinsam mit Gehäusekunststoffen aus Bildröhrengeräten erfasst und vermarktet.
- Die anteilmäßig zwar unbedeutenden Reflektor- und Diffusorfolien fallen bei der Demontage relativ sauber an. Allerdings werden sie derzeit nicht getrennt erfasst und dem Recycling zugeführt, sondern via Mischfraktionen in Shredderanlagen entsorgt. Bei der mechanischen Behandlung fallen die Folien gemischt an und werden der Verbrennung (Ersatzbrennstoffproduktion) zugeführt.

2.2.5 Leiterplatten

Flachbildschirme enthalten sowohl Platinen/Leiterplatten mit hohen als auch solche mit geringen Edelmetallgehalten (Netzteile). In Hinblick auf die Behandlung ist insbesondere das Vorhandensein von Batterien/Akkus und Elektrolytkondensatoren von Bedeutung. In LCD-TV-Geräten sind Kondensatoren mit einer Größe von > 2,5 cm üblicherweise enthalten³⁰. In Monitoren und Laptops sind selten Kondensatoren dieser Größe enthalten.

Kondensatoren

Zu den Eigenschaften der in Flachbildschirmen verwendeten Kondensatoren bzw. zum enthaltenen Elektrolyt sind keine Untersuchungen bekannt. Allerdings wurden Elektrolytkondensatoren aus Elektrokleingeräten untersucht. Dabei wurden unter anderem auch Substanzgruppen mit umweltgefährdenden sowie reproduktionstoxischen und krebserregenden Eigenschaften gefunden (EMPA 2008).

Kondensatoren fallen bei der Demontage an und werden gemeinsam mit Kondensatoren aus anderen Abfällen entweder in Verbrennungsanlagen für gefährliche Abfälle eingebracht oder mechanisch aufbereitet. Quantitative Informationen dazu sind nicht bekannt.

2.3 Materialzusammensetzung

2.3.1 Hauptkomponenten

Hauptkomponenten LCD-Geräte

Aus mehreren aktuelleren Zerlegeversuchen an LCD-Altgeräten in Österreich (SALHOFER et al. 2012), Deutschland (IUTA 2011) und der Schweiz (EMPA 2011) sind Daten zu den Gewichtsanteilen der Hauptkomponenten bzw. Materialien von PC-Monitoren, TV-Geräten und Laptops verfügbar (Tabelle 1). Zusätzlich sind die Bandbreiten der Durchschnittsgewichte für Monitore, TV-Geräte und Laptops, welche zerlegt wurden, angeführt.

²⁹ Österreichische Abnehmer sind die Fa. Kruschitz oder Zentrplast

³⁰ SCHIEMANN (2011); eigene Anlagenbesuche

Monitore und TV-Geräte unterscheiden sich hinsichtlich Materialzusammensetzung v. a. dadurch, dass letztere insgesamt höhere Fe/Stahl- und Glas-Anteile aufweisen und vergleichsweise geringere Anteile an Aluminium und Kunststoffen. Bei Laptops ist naturgemäß der Anteil an Leiterplatten höher. Hinzu kommt der Akku, der – sofern enthalten – einen wesentlichen Anteil am Gesamtgewicht ausmacht.

Während für TV-Geräte und Monitore die Angaben aus den unterschiedlichen Versuchen weitgehend im selben Bereich liegen, fällt auf, dass es bei den Laptops größere Unterschiede zwischen den Untersuchungen gibt.

Tabelle 1: Wertebereiche der Anteile der Hauptkomponenten in LCD-Altgeräten (in %) (Quellen: EMPA 2011, SALHOFER et al. 2012, IUTA 2011).

Komponente /Material	PC-Monitore	TV-Geräte	Laptops
	%	%	%
Metalle	39–47	44–54	15,2–35
Fe/Stahl	41–44	49–54	11,3
Al	3,3–5,2	0,6–3	3,9
Glas	0	0–14	0
Kunststoffe	29,9–36,5	18,5–30,1	14,5–37,4
Kabel	1,1–3,3	0,9–2,2	0,8–1
Leiterplatten	7,4–8,5	6,1–11	6,5–15,6
LCD-Anzeigen	7,4–9,5	6–8,2	7,8–18,5
Hintergrundbeleuchtung	0,3–1	1–1,1	1
Akkus	0	0	7,8–18,5
„Abfall“	0–3	0–4	0–3
Gerätegewicht (kg)	4,3–5,7	13,4–15,1	2,5–2,7

Tabelle 2 zeigt die Aufteilung des Gesamtgewichts eines Plasma-TV-Geräts auf die Hauptkomponenten eines Plasma-TV-Geräts anhand von Daten, die aus der Zerlegung eines 42-Zoll-Geräts gewonnen wurden (BAUDIN 2006). Plasma-Bildschirmgeräte haben im Vergleich zu LCD-Geräten einen deutlich höheren Glasanteil (insgesamt über 40 %) und mit etwa 4 % einen deutlich geringeren Kunststoffanteil. Insgesamt sind sie schwerer als LCD-TV-Geräte vergleichbarer Größe.

Hauptkomponenten Plasma-Geräte

Tabelle 2: Anteile der Hauptkomponenten eines 42" Plasma-TV-Geräts (in %) (Quelle: BAUDIN 2006).

Komponente/Material	Anteil
	%
Metalle (Gehäuse)	33,3
Fe/Stahl	11,4
Al	26,5
Glas (Frontglas)	15,2
Kunststoffe (Gehäuse)	3,7
Kabel	0,9
Elektronik/ Leiterplatten	18,6
Plasma-Anzeige (v. a. Glas)	28,1
Anderes	0,2
Gerätegewicht (kg)	32,5

2.3.2 Quecksilber und Indium

Im Folgenden wurden die Gehalte von Quecksilber und Indium für die derzeit anfallenden Flachbildschirm-Altgeräte abgeschätzt³¹.

Quecksilbergehalt

Der Hg-Gehalt in Flachbildschirmgeräten wurde auf Basis der in Kapitel 2.2.2 angeführten Informationen zum Gehalt in den Kapillaren von LCD-Schirmen und der Verteilung von Bildschirmgrößen in den Altgeräten abgeschätzt. In Anlehnung an die neuen RoHS-Toleranzwerte wurde ein Hg-Gehalt von 5 mg/Kapillare für TV-Geräte bzw. von 3,5 mg für Monitore und Laptops angenommen. Die Anzahl der Kapillaren wurde nach Ergebnissen aus den oben erwähnten Versuchen³² abgeschätzt (3,2 Stk. pro Monitor, 15,8 Stk. pro TV-Gerät und 1,5 Stk. in Laptops). Bei mittleren Gerätegewichten von 5 kg (Monitor), 15 kg (TV) und 2,7 kg (Laptop) ergeben sich die in Tabelle 3 dargestellten Hg-Gehalte in den einzelnen Gerätearten. Unter Zugrundelegung einer stückmäßigen Verteilung von 70 % Monitoren, 25 % TV-Geräte, 5 % Laptops (Schätzungen zur aktuellen Zusammensetzung der Altgeräte durch österreichische Behandler), resultiert ein Hg-Gehalt im Flachbildschirmgeräte-Mix von knapp 4 mg/kg. Vergleichsweise geben TAVERNA et al. (2010) den Gehalt von Hg in im Wiener Restmüll vorgefundenen Flachbildschirmen mit 4,1 mg/kg an.

Indiumgehalt

Als Basis für die Abschätzung des in den Flachbildschirmen enthaltenen Indiums wurden der in LCDs aus Altgeräten analysierte Gehalt von 170 mg/kg (vgl. Kapitel 2.2.1) und die Anteile der Displays an den Gesamtgeräten gemäß der oben erwähnten Versuchszерlegungen verwendet. Unter Zugrundelegung einer stückmäßigen Verteilung von 70 % Monitoren, 25 % TV-Geräte, 5 % Laptops

³¹ Aufgrund des geringen Anteils der Plasma-Geräte und der unsicheren Datenlage betreffend deren Hg-Gehalt wurden diese hier nicht berücksichtigt. Ein höherer Anteil an Plasmageräten im Gerätemix führt sowohl bei Hg als auch bei Indium zu geringeren Gehalten bezogen auf das Gewicht der Altgeräte.

³² SALHOFER et al. 2012, IUTA 2011

(Schätzungen zur aktuellen Zusammensetzung der Altgeräte durch österreichische Behandler) resultiert ein In-Gehalt im Flachbildschirmgeräte-Mix von ca. 13,4 mg/kg (Tabelle 3).

Tabelle 3: Abschätzung Quecksilber- und Indiumgehalte in Flachbildschirmaltgeräten (in mg/kg) (Quellen: Umweltbundesamt auf Basis: EMPA 2011, SALHOFER et al. 2012, IUTA 2011).

	PC-Monitore	TV-Geräte	Laptops	Mix
Hg (mg/kg)	2,3	5,3	1,9	3,8
In (mg/kg)	14,2	12,4	22,4	13,4

3 SAMMLUNG UND BEHANDLUNG VON FLACHBILDSCHIRMGERÄTEN UND DEREN UMWELTAUSWIRKUNGEN

In den folgenden beiden Kapiteln werden Informationen zu Sammlung, Transport und Behandlung von Flachbildschirmgeräten (v. a. Ergebnisse aus Versuchen sowie Auskünfte österreichischer Behandler) zusammengestellt.

3.1 Sammlung und Transport

Sammlung und Transport in Österreich

Flachbildschirmgeräte werden derzeit zumeist gemeinsam mit anderen Bildschirmgeräten in Gitterboxen oder auf Paletten mit Folienumwicklung, aber auch in loser Schüttung in Großcontainern gesammelt bzw. zu Behandlern transportiert³³. Bei größeren Anfallstellen werden Flachbildschirmgeräte auch separat erfasst. Die Sammlung von Laptops gemeinsam mit Bildschirmgeräten, anstatt gemeinsam mit Elektrokleingeräten, ist österreichweit noch nicht durchgängig umgesetzt^{34,35}. Zum Teil werden Flachbildschirme bei kommunalen Sammelstellen auch als EAG-Gemisch (Kleingeräte, Bildschirmgeräte, Großgeräte) gesammelt, was zu einer höheren Beschädigungsrate der Flachbildschirmgeräte führen kann.

Quecksilberfreisetzung

Durch Beschädigungen der LCD-Geräte beim Transport kann es zum Austritt von Quecksilber aus der Hintergrundbeleuchtung kommen. Im Vergleich zu TV-Geräten ist bei Monitoren aufgrund der Bauweise das Bruchrisiko geringer (vgl. Kapitel 2.1). Abbildung 13 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen der äußeren Beschädigung (links) und der Zerstörung der CCFL-Kapillaren (rechts) eines TV-Geräts. Bei Monitoren bedeutet eine äußere Beschädigung des Displays nicht unbedingt, dass auch Kapillaren gebrochen sind³⁶.

³³ Die Liste der verwendeten Behältnisse umfasst laut Auskünften von Anlagenbetreibern: Gitterboxen, Gitterwägen, Stapelbehälter 800l und 1600l, Paletten, Palloxe, Kunststoffcontainer, Stahlcontainer von 2 bis 40 m³.

³⁴ Beispiele aus Tirol, Vorarlberg und NÖ

³⁵ Vgl. EAG-Geräteliste des BMLFUW (Stand Jänner 2011)

³⁶ KRUKENBERG (2010), EMPA (2011), Angaben österreichischer Anlagenbetreiber



Abbildung 13: Beschädigt angeliefertes Display, äußere Beschädigung (links) und Effekt auf Hintergrundbeleuchtung (rechts) (Quelle: Umweltbundesamt).

Durch die European Electronics Recycling Association (EERA) wurden Versuche zur Quecksilberfreisetzung aus LCD-Displays bei unsachgemäßem Handling durchgeführt. Durch Abwerfen von LCD-Geräten aus ca. 3 m Höhe in einen Stahl-Container gingen 20 % der in den Geräten enthaltenen CCFL-Kapillaren zu Bruch. Es wurde die Hg-Konzentration in einem luftdicht verschlossenen Container über mehrere Tage beobachtet. Erhöhte Hg-Konzentrationen wurden über mehrere Stunden beobachtet. Nach etwa 1,5 Stunden wurde mit $10 \mu\text{g Hg/m}^3$ (vergleiche MAK-Wert: $50 \mu\text{g/m}^3$) der höchste Wert gemessen. Temperaturerhöhung in diesem Zeitraum führte zu einem Anstieg der Hg-Konzentration in der Luft (KRUKENBERG 2010). Die insgesamt freigesetzte Hg-Fracht ist allerdings nicht bekannt.

Im Rahmen eines Batchversuches durch die Schweizer EMPA wurden bei Anlieferung von 58 Flachbildschirmgeräten bei 3 Geräten eine oder mehrere defekte Hintergrundbeleuchtungen vorgefunden. Bezogen auf die enthaltenen CCFL-Kapillaren entsprach dies einer Bruchrate von 1 % (EMPA 2011).

Die Schätzungen österreichischer Anlagenbetreiber zum Zustand der Geräte bei Anlieferung schwanken zwischen „größtenteils intakt“ und einer sichtbaren Beschädigung bei bis zu 50 % der Geräte. Häufig wurde die Beschädigungsrate mit 2 bis 10 % geschätzt.

Erfahrungen aus Österreich

3.2 Behandlung

Anlagen in Österreich In Österreich werden in 15 Anlagen Bildschirmgeräte behandelt (siehe Anhang, Tabelle 17).

Vier dieser Anlagen (STENA, TSG Tiroler Schredder, VISP, BAN) gaben an, keine Behandlung von Flachbildschirmen durchzuführen. Diese 4 Anlagen übernahmen zusammen im Jahr 2010 37 % der Bildschirmgeräte.

Die Fa. STENA plant Flachbildschirme zur mechanischen Aufbereitung zur Fa. Griag zu exportieren. Die Fa. TSG lagert die Flachbildschirmgeräte derzeit ausschließlich. VISP und BAN entfernen Kabel und geben die Flachbildschirme an die Fa. Saubermacher weiter.

Die Fa. Saubermacher, welche bisher Flachbildschirme an den Standorten Unterpriamstetten und Wien zerlegt hat, plant die gesamte Behandlung von Flachbildschirmen in Wien durchzuführen. Es ist angedacht, Standfuß und Gehäuse manuell zu demontieren und die Geräte anschließend in der im November 2011 in Betrieb genommenen mechanischen Aufbereitungsanlage für Lampen zu behandeln.

In den übrigen Anlagen, welche zusammen im Jahr 2010 etwa 40 % der Bildschirmgeräte übernahmen, werden Flachbildschirme zumindest sporadisch bzw. versuchsweise manuell zerlegt.

Im Folgenden werden die manuelle Demontage und die mechanische Behandlung beschrieben. In der Praxis werden verschiedene Kombinationen der beiden Optionen ausgeführt. Kabel und Standfuß werden jedenfalls zumeist vor einer mechanischen Behandlung entfernt.

3.2.1 Manuelle Demontage

Demontage-Schritte Grob können bei **LCD-Monitoren und TV-Geräten** 3 Demontageschritte unterschieden werden:

1. Entfernung von Kabel, Standfuß und Gehäuse,
2. Freilegen des LCD-Moduls durch Entfernen von inneren Metall- und Kunststoffteilen und elektronischen Bauteilen,
3. Zerlegung des LCD-Moduls: Demontage von Rückwand und Rahmen des Moduls, Entnahme von Filterfolien bzw. -platten, Entnahme der CCFL-Kapillaren aus den Verankerungen, Entfernung der Leiterplatten, Freilegung des Flüssigkristalldisplays.

Bei **Laptops** umfasst die manuelle Behandlung:

1. Entnahme der Akkus,
2. Trennung von Displayeinheit und Tastatureinheit,
3. Freilegen des LCD-Moduls durch Entfernen des Kunststoffgehäuses,
4. Zerlegung des LCD-Moduls.

Außerdem wird die Tastatureinheit in Leiterplatten, Laufwerke, Gehäuse etc. zerlegt.

Die Demontage der Flachbildschirme erfolgt üblicherweise an denselben Arbeitsplätzen, an denen auch die Bildröhrengeräte zerlegt werden. Außer bei einer Anlage (E.R.S.) werden Flachbildschirmgeräte getrennt von den Röhrengeräten chargenweise zerlegt.

Demontage in Österreich

Laut Angaben der SMK sind bei einem Teil der Geräte, die Module nicht immer mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand von anderen Bauteilen (z. B. Platinen) zu trennen. Daher werden sie der mechanisch/automatischen Zerkleinerung und Sortierung (in Fe, Al, Cu inkl. Edelmetalle und Restfraktion (Kunststoffe und Glas)) zugeführt. Alle anderen Anlagen gaben an, zumindest die ersten beiden Demontageschritte – also die Freilegung des LCD-Moduls – durchzuführen. Drei Anlagen (Loacker, Wildauer, Bazar) führen keine Zerlegung des LCD-Moduls mehr durch.

Von den Anlagen, welche bereits LCD-Module zerlegten, werden die Geräte meist komplett in einem Arbeitsschritt demontiert. Bei der Fa. AVE werden einzelne Demontageschritte räumlich und zeitlich getrennt durchgeführt.

Zum Zeitbedarf für die Demontage von Flachbildschirmgeräten liegen Literaturangaben aus diversen Versuchsaufarbeitungen vor (siehe Tabelle 4). Die Zerlegung von LCD-TV-Geräten ist zeitaufwändiger als die von Monitoren und Laptops. Plasmageräte zu demontieren dauert am längsten. Bei der Interpretation dieser Angaben muss allerdings beachtet werden, dass sich die Rahmenbedingungen – wie Demontagetiefe oder der Zeitdruck des Personals etc. – dieser Versuche von jenen eines Routinebetriebs unterscheiden können. Geräte aus der kommunalen Sammlung erfordern aufgrund der stark variierenden Bauweisen meist mehr Zeit, als Chargen gleichartiger Geräte wie z. B. aus der Garantierücknahme oder aus Monitor-Austauschaktionen großer Firmen.

Demontagedauer

Tabelle 4: Demontagedauer (in Minuten/Gerät) (Quellen: siehe Tabelle).

LCD-Monitor	LCD-TV	Laptop	Plasma-TV	Flachbildschirm-Mix	Quelle
9	12	9	35		WRAP, 2010
18	24				SALHOFER, 2012
				15	EMPA, 2011

Laut Angaben der österreichischen Behandler beträgt die Demontagedauer ca. 15 bis 20 min/Stück. Als Extremwerte wurden 30 min/Stück angegeben.

Erfahrungen aus Österreich

Aus Versuchsaufarbeitungen sind Angaben zum Anteil gebrochener CCFL-Kapillaren von LCD-Geräten verfügbar (Tabelle 5). WRAP (2010) weist darauf hin, dass für die angegebenen Werte keine Unterscheidung getroffen werden kann, ob die Zerstörung bereits beim Transport oder erst beim Öffnen der Geräte erfolgt ist. Weiters wird angegeben, dass beim Demontieren der Kapillaren selbst eine vernachlässigbare Anzahl brach. Dies steht allerdings im Gegensatz zu den Beobachtungen von EMPA (2011), wonach der größere Anteil der Kapillaren bei der Demontage zerbrach.

Kapillarenbruch

Tabelle 5: Anteil nach der Demontage gebrochen vorliegender CCFL-Kapillaren (in %) (Quellen: s. Tabelle).

LCD-Monitor	LCD-TV	Laptop	Flachbildschirm-Mix	Quelle
22,6	14,5	35,3	17	WRAP, 2010
<5	20			EMPA, 2011

Erfahrungen in Österreich

Die Angaben von österreichischen Anlagenbetreibern zum Anteil gebrochener Kapillaren nach der Demontage bewegen sich zwischen einem Drittel und „dem Großteil“. Nach den Schätzungen der Fa. AVE verteilt sich das Zerbrechen zu ähnlichen Teilen auf 1) Transport und Gehäuse-Demontage, 2) die Zerlegung des Moduls und 3) die Entnahme der Kapillaren aus der Verankerung.

Quecksilberfreisetzung

Die Schweizer EMPA führte Messungen zur Hg-Konzentration in der Luft bei der Demontage von Flachbildschirmen durch (EMPA 2011). Die Versuchszerlegung fand an Arbeitsplätzen mit einer aktiven Absaugung (Abbildung 14) statt. Dabei wurde beobachtet, dass – auch bei erhöhten Bruchraten – die Hg-Immissionen im Arbeitsbereich unter den MAK-Werten ($2\text{--}7\ \mu\text{g}/\text{m}^3$) lagen. An denjenigen Orten, wo zerbrochene Kapillaren in konzentrierter Form gelagert wurden, wurden allerdings die MAK-Werte regelmäßig überschritten. In einem Fass mit zerbrochenen Röhrchen wurden $1.000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen, direkt über dem Fass kurz nach Öffnen des Deckels $180\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Direkt aus zerbrochenen Kapillaren angesaugte Luft wies Konzentrationen von knapp $2.000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf. Angaben zur aus den Kapillaren insgesamt freigesetzten Quecksilberfracht liegen allerdings nicht vor.



Abbildung 14: Arbeitsplatzabsaugung am Demontagearbeitsplatz (Quelle: EMPA, 2011).

Im Zusammenhang mit der Entwicklung eines Zerlegetisches für Flachbildschirme wurden von der UNTHA Recyclingtechnik GmbH in Kooperation mit dem Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA) Versuche zum Hg-Austritt aus gebrochenen Kapillaren durchgeführt. Die Freisetzung unmittelbar nach dem Brechen hängt dabei weitgehend von der Länge der Kapillare ab. Laut HESSLER (2011) wurden in der austretenden Luft bei den kürzesten Kapilla-

ren (71 cm) etwa $700 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, aus den längsten (127 cm) fast $2.000 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ gemessen. Bei den kürzesten Lampen lagen die Werte nach etwa einer Viertelstunde wieder unter $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bei langen Kapillaren traten auch nach einer Stunde noch deutlich messbare Konzentrationen auf. Angaben zu den freigesetzten Hg-Mengen liegen nicht vor.

Laut Angaben der Fa. Saubermacher waren bei Messungen im Bereich der Zerlegearbeitsplätze die MAK-Werte nicht überschritten. Bei den meisten befragten Anlagen wurden noch keine Messungen der Quecksilberkonzentration in der Luft durchgeführt.

Wie bereits erwähnt, wurde von der Fa. UNTHA Recyclingtechnik GmbH in Kooperation mit dem Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA) eine Demontagerbank für LCD-Geräte bzw. -Module entwickelt. Diese wurde in Hinblick auf die Erfassung der bei der Demontage zu erwartende Quecksilberfreisetzung ausgestattet und dimensioniert. Es handelt sich bei dieser Kompaktanlage um einen, mit Ausnahme der Eingriffsöffnung geschlossenen Zerlegetisch. Die Arbeitsfläche verfügt über Öffnungen, durch welche zerbrochene Kapillaren in die dicht verbundenen Sammelgebilde eingebracht werden können. Die abgesaugte Luft ($250 \text{ m}^3/\text{h}$) wird einem schwefeldotierten Aktivkohlefilter zugeführt.

Erfahrungen aus Österreich

Arbeitsplatzabsaugung



Abbildung 15: Demontagetisch der Fa. UNTHA (Quelle: http://www.untha-recyclingtechnik.de/Eigene_Dateien/sonstiges/prospekt_lcd-d.pdf).

Fünf der Anlagen (AVE, Loacker, SMK, E.R.S. und Saubermacher) verfügen über eine Erfassung der Abluft über den Zerlegearbeitsplätzen. Die Reinigung der Abluft erfolgt mittels Staubfilter. Eine Anlage (SMK) verfügt zusätzlich über einen Aktivkohlefilter. Bei den Anlagenbesuchen konnte allerdings beobachtet werden, dass nicht alle Arbeitsschritte an den mit Absaugung ausgestatteten Arbeitsplätzen stattfinden.

Situation in Österreich

Fraktionen aus der Zerlegung

In Kapitel 2.3 wurden bereits die Anteile einzelner Hauptkomponenten/Materialien verschiedener Flachbildschirmgeräte dargestellt. Im Routinebetrieb findet allerdings meist keine komplette manuelle Auftrennung der Materialien statt. Insbesondere fallen diverse Kunststoff/Metallverbunde an, welche dann in Shredderanlagen weiter aufgetrennt werden (z. B. Standfüße). In Tabelle 6 sind jene Fraktionen angeführt, die laut Betreiberinformationen in der Praxis anfallen³⁷, sowie Informationen zu deren weiterer Behandlung. Die Mengen der Fraktionen aus der Demontage von Flachbildschirmen werden mit einer Ausnahme von den Behandlern nicht separat erfasst.

Tabelle 6: Fraktionen, die bei der Demontage in der Praxis anfallen (Quelle: Befragung Anlagenbetreiber, 2011).

Fraktion	Weitere Behandlung
Gehäusekunststoffe	Meist gemeinsam mit Gehäusekunststoff aus Röhrengeräten erfasst, teilweise Trennung in hell/dunkel
Acrylglasplatten	Kunststoff-Recycling
Weitere Kunststofffolien	Restmüll, Beigabe zu Kunststoff/Metall-Fraktion zur Behandlung in Shredderanlagen
Kunststoff/Metall-Mix	Shredderanlagen
Fe/Stahl	Stahlwerk
Al	Al-Hütte
Kabel	Gemisch aus externen und anderen Kabeln, mechanische Aufbereitung
Leiterplatten und div. Elektronik	Trennung in hoch- und niederqualitative, mechanische Aufbereitung, Hütten
Stecker	Mechanische Aufbereitung, Hütten
Kondensatoren	Verbrennungsanlage für gefährliche Abfälle, mechanische Aufbereitung
LCD-Module	k. A., Zwischenlagerung
LCDs mit Hintergrundbeleuchtung	Verbrennungsanlage für gefährliche Abfälle,
LCDs ohne Hintergrundbeleuchtung	Lagerung
Hintergrundbeleuchtung (CCFL-Kapillaren)	Lampenbehandlung, Lagerung

Lagerung Fraktionen

Die Lagerung der hinsichtlich Quecksilberemissionen besonders relevanten CCFL-Kapillaren erfolgt sowohl in geschlossenen Metall- und Kunststofffässern, als auch in offenen Gebinden. Insbesondere zur Zwischenlagerung nach der Entnahme an den Arbeitsplätzen werden meist offene Boxen – auch für gebrochene Röhrcen – verwendet³⁸.

³⁷ Nicht alle Fraktionen fallen in allen Anlagen an

³⁸ Gemäß § 7 (2) der Abfallbehandlungspflichtenverordnung ist bei der Behandlung quecksilberhaltiger Bauteile ein Auftreten diffuser Quecksilberemissionen durch geeignete Maßnahmen zu vermeiden.

3.2.2 Mechanische Behandlung

Zielsetzung der mechanischen Behandlung ist die Gewinnung verwertbarer Wertstofffraktionen bei höherem Durchsatz bzw. zu niedrigeren Kosten als mittels Demontage bei gleichzeitiger Abscheidung/Anreicherung des in LCD-Bildschirmen enthaltenen Quecksilbers.

Tabelle 7 gibt einen Überblick über Behandlungsanlagen zur mechanischen Behandlung von Flachbildschirmen in Europa.

Anlagen

Grundsätzlich ist zu unterscheiden in Anlagen, die speziell in Hinblick auf die Behandlung von Flachbildschirmen entwickelt wurden, wie z. B. die Anlage der Fa. Griag, und Anlagen zur Behandlung von Gasentladungslampen, in denen auch Flachbildschirme behandelt werden (können).

Im Rahmen der gegenständlichen Erhebung konnten für 3 Behandlungs-Anlagen nähere Informationen erhalten werden: zur Anlage der Fa. Griag in Deutschland, von der Fa. Saubermacher und zur Anlage der Fa. Sovag/Veolia in der Schweiz.

Die beiden letzteren setzen eine von der Fa. Air Mercury entwickelte Kompaktanlage, die sogenannte „Blubox“³⁹ ein. Die Anlage der Fa. Saubermacher in Wien ist seit Ende 2011 im Probetrieb. Die ersten Probeaufbereitungen von Flachbildschirmen sind für April/Mai 2012 geplant.

Tabelle 8: Anlagen zur mechanischen Behandlung von Flachbildschirmen in Europa.

Betreiber	Standort	Status	Input	Verfahren	Kapazität
Griag Glassrecycling AG http://www.griag.de	Werder (D)	in Probetrieb (seit 2010)	Flachbildschirme	trocken	3.000 t/a
Saubermacher AG http://saubermacher.at/web/at/	Wien (AT)	in Probetrieb (seit 2011)	Lampen, Flachbildschirme angedacht	trocken	1.500 t/a (insg. genehmigt, Lampen + FBS)
Sovag/Veolia www.veolia-es.ch/de/tatigkeiten/sonderabfalle/lampenrecycling/	Rubigen (CH)	in Betrieb (seit 2011)	Lampen, Flachbildschirme	trocken	10.000 t/a (insgesamt genehmigt; FBS geplant: 800 t/a)
Air Mercury AG 5708 Birrwil (CH) www.airmercury.com	bei Lyon (F)	in Betrieb	Lampen, Flachbildschirme	trocken	k.A.
Galloo N.V. (B) http://www.galloo.com/index_2008.html	Menen (B)	in Probetrieb	Flachbild- schirme	nass	k.A.
Apparec, Coolrec Group http://www.coolrec.com/	Tisselt (B)	in Betrieb	jedenfalls Flach- bildschirme	nass	k.A.

Des Weiteren wird durch Recupyl in Frankreich eine Versuchsanlage betrieben⁴⁰.

³⁹ <http://blubox.ch/blubox>

⁴⁰ <http://www.recupyl.com/107-flat-screen-display.html>

angewandte Verfahren	<p>Grundsätzlich kann in nasse und trockene Verfahren unterschieden werden. Zu den nassen Verfahren konnten im Rahmen der gegenständlichen Studie nur wenige Informationen erhoben werden.</p> <p>Die mechanische Behandlung erfolgt in geschlossenen, unter Unterdruck betriebenen Zerkleinerungsanlagen mit Kontrolle der gasförmigen Emissionen und einer anschließenden automatischer Materialsortierung.</p>
Durchsatz	<p>Die verfügbaren Angaben zum Durchsatz der mechanischen Verfahren liegen bei 0,5 t/h und 9,9 t/d.</p>
Input und Materialaufgabe	<p>Die Firmen Griag und Sovag behandeln ausschließlich LCD-Geräte. Es werden sowohl bereits freigelegte LCD-Module – wenn so angeliefert – als auch Flachbildschirmgeräte eingebracht. Kabel und Standfüße werden dabei meist vorher abmontiert. In den Anlagen der Firmen Galloo und Apparec werden auch Plas-mageräte eingesetzt.</p> <p>Die Materialaufgabe erfolgt manuell entweder über ein Förderband oder unmittelbar über einen Einwurfschacht.</p>
Aufschluss und Hg-Entfrachtung	<p>In einem ersten Schritt wird das Material geshreddert. Bei diesem Aufschluss wird ein Teil des in der Hintergrundbeleuchtung enthaltenen Quecksilbers gasförmig freigesetzt. Ein weiterer Teil findet sich als Anhaftung an ebenfalls freigewordenem Leuchtstaub sowie als Anhaftung an Bestandteilen der CCFL-Kapillaren (Glas, Elektrode). Anschließend wird durch Absieben das am Material anhaftende Hg in einer Feinfraktion angereichert. Der Anteil dieser Feinfraktion bezogen auf den Behandlungsinput beträgt zwischen < 10 und 13 %.</p> <p>Zur Vermeidung von direkten Quecksilberemissionen werden die Anlagen unter Unterdruck⁴¹ betrieben. Sie verfügen über Staub- und Quecksilberabscheidung mittels Zyklonen, Gewebefilter, HEPA-Filter und Aktivkohlefilter. Eine Anlage setzt zur Quecksilber-Abreicherung zusätzlich eine Wärmebehandlung des Materialstroms ein.</p> <p>Neben den genannten abgesiebten Feinfraktionen wird Hg weiters in Staub- oder sogenannten Leuchtmittelfractionen (v. a. mittels Zyklon), sowie in der Aktivkohle abgeschieden. Bei jener Anlage, welche Lampen und Flachbildschirme gemeinsam behandelt, handelt es sich bei der Leuchtmittelfraction um ein Gemisch, das aus beiden Abfallarten stammt.</p> <p>Zum Verhalten und Verbleib von Quecksilber in (trockenen) mechanischen Verfahren liegen Informationen aus Aufbereitungsversuchen vor.</p> <p>Von der Schweizer EMPA wurden grundlegende Untersuchungen zum Verhalten von Quecksilber bei der mechanischen Behandlung von Flachbildschirmen durchgeführt und publiziert (EMPA 2011). Bei einer Versuchsaufarbeitung in einem Granulator – ohne Kontrolle der Emissionen in die Luft – wurden folgende Erkenntnisse gewonnen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Nur etwa 24 bis 35 % des geschätzten Quecksilberinputs finden sich in Materialfraktionen wieder (der Rest ist emittiert oder hat sich in der Anlage abgelagert). ● Der überwiegende Anteil (> 90 %) des Hg in den Materialfraktionen wird in Feinfraktionen aufkonzentriert.

⁴¹ Absaugung ständig (max. 2.000 bis max. 5.000 m³/h)

- Die erhaltenen Metall- und Kunststofffraktionen wiesen Hg-Gehalte zwischen 0,14 und 0,9 mg/kg auf.
- Höhere Temperatur (getestet wurde bei 8°C bzw. 17°C) führte zu höheren Hg-Emissionen aus der Anlage.

Im Rahmen eines Batchversuchs mit Neugeräten eines bestimmten Herstellers wurde für eine der Anlagen ermittelt, dass > 80 % des insgesamt eingebrachten Quecksilbers aus dem Material ausgeschleust werden; etwa die Hälfte davon in einer Feinfraktion.

Dass bei trockenen Verfahren max. 40 % des Hg-Inputs mit Feinfraktionen ausgeschleust werden, wird auch im Routinebetrieb bestätigt.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die Ermittlung einer Quecksilber-Abscheide-Rate bezogen auf den Input nicht exakt möglich ist, da man betreffend Hg-Gehalt in der Hintergrundbeleuchtung, also im Behandlungsinput, auf Schätzungen angewiesen ist.

Das zerkleinerte Materialgemisch wird im Anschluss automatisch sortiert. Die Verfahren unterscheiden sich dabei dadurch, dass die Sortierung entweder innerhalb des gekapselten Anlagenteils stattfindet (Blubox) oder sich die wesentlichen Trennaggregate außerhalb befinden (Griag).

Materialsortierung

Ein weiterer Unterschied liegt in der Tiefe der Materialtrennung. Bei der Blubox, wo Magnetscheidung, verschiedene Siebschritte und NE-Scheidung zum Einsatz kommen, werden mit Ausnahme einer Fe-Fraktion keine direkt in Recyclinganlagen einsetzbaren Wertstofffraktionen erzielt, sondern Material-Gemische, die an weitere Aufbereitungsanlagen übergeben werden (müssen).

Die Materialsortierung der Anlage der Fa. Griag umfasst Magnetscheidung, Wirbelstromscheidung zur Trennung von Kunststoff- und NE-haltigen Fraktionen, Metalldetektion und Sortierung, mit der beispielsweise Leiterplatten oder Acrylglas (PMMA) angereichert werden. Weiters wird eine manuelle Nachsortierung durchgeführt. Theoretisch können mit den vorhandenen Trennaggregaten neben Fe-Fractionen auch Kunststoff- und NE-Fractionen für den direkten Einsatz in Kunststoffrecyclinganlagen oder NE-Hütten erzielt werden. In der Praxis richtet sich die tatsächliche Trenntiefe nach Auslastung und Marktpreisen für die erhaltenen Fraktionen.

Von 2 Anlagen sind Angaben zur Verteilung der erhaltenen Materialfraktionen, sowie zu Einsatz bzw. Verbleib verfügbar.

Materialfraktionen

Bei den in Tabelle 9 dargestellten Fraktionen handelt es sich um Ergebnisse aus einem Batchversuch mit Neugeräten eines bestimmten Herstellers.

Tabelle 9: Ausbeute an Materialfraktionen (in %) und Einsatz/Verbleib (Quelle: Betreiberangaben).

Fraktionen	Ausbeute (%)	Einsatz/Verbleib
Fe-Fraktion	30	Stahlwerk
NE-Fraktion (v. a. Al)	8,5	Al-Hütte
Leiterplatten (inkl. Stecker, Anschlüsse)		NE-Hütte
Kunststoff transparent (Acrylglas)	18	Kunststoffrecycling direkt
Mischkunststoff (Restmetallgehalt)	18	Kunststoffaufbereiter zur Trennung in ABS, PC-ABS (Recycling) und Entfernung Restmetalle
Kunststofffolien	2,5	Ersatzbrennstoff-herstellung
LCD-Fraktion (Restgehalte an Metallen, Kunststoffen)	9,33	Deponierung, mittlerweile Zwischenlagerung
Hg-haltige Feinfraktion (< 10 mm, Mischfraktion aus Leuchtstaub, Glas, Kunststoff, Metalle)	13,5	Deponie für gefährliche Abfälle
Staub (Hg-reich)	0,13	Deponie für gefährliche Abfälle
Beladene Aktivkohle		Untertagedeponie

Von einer zweiten Anlage wurden folgende Informationen (siehe Tabelle 10) zu den Materialfraktionen und deren Einsatz/Verbleib angegeben. Eine genaue Information zur tatsächlich – nach nachfolgender Aufbereitung der Wertstoff-Mischfraktion – erreichten Verwertungsquote ist (noch) nicht verfügbar.

Tabelle 10: Ausbeute an Materialfraktionen (in %) und Einsatz/Verbleib (Quelle: Betreiberangaben).

Fraktionen	Ausbeute (%)	Einsatz/Verbleib
Fe-Metall	k.A.	Recycling
KS-NE-Fraktion Mischfraktion	k.A.	“recyclingfähig”
Leuchtstoffpulver ⁴²	k.A.	Untertagedeponie
andere (die abgesiebte Feinfraktion)	k.A.	Hg-Verarbeiter (Hg-Destillation)

Hg- und Organikgehalt in den Fraktionen

Der Grenzwert für den Hg-Gehalt in den unterschiedlichen verwertbaren Materialströmen, welchen die einzelnen Anlagen einhalten müssen, schwankt zwischen 2 und 10 mg/kg.

Von einer Anlage sind nähere Angaben zu den Hg-Gehalten in den Wertstofffraktionen verfügbar. Mit Ausnahme einer NE-Fraktion (fallweise > 0,5 mg/kg) weisen alle Wertstofffraktionen Gehalte von jedenfalls < 0,5 mg/kg auf.

Die Angaben zu Hg-Gehalten in den abgesiebteten Feinfraktionen reichen von einigen mg/kg bis 30 mg/kg bis zu 20 bis 40 mg/kg. Die Angaben zum Glühverlust dieser Fraktion liegen bei ca. 10 %.

Zum Hg-Gehalt in Staub aus Zyklon- und Gewebefiltern liegen Angaben von 200–500 mg/kg vor. Dabei handelt es sich allerdings um Fraktionen, die sowohl aus Flachbildschirmen als auch aus Lampen stammen.

⁴² Im Zyklon abgeschieden, stammt aus Lampen- und Bildschirmbehandlung.

Das Monitoring des Hg-Gehalts in den erzielten Wertstofffraktionen sowie in der Hg-angereicherten Feinfraktion wird entweder durch monatliche Probenahme mit unmittelbarer Analyse oder durch wöchentliche Probenahme und Analyse von Monatsmischproben durchgeführt.

Hg-Monitoring Fraktionen

Zur Erfassung und Lagerung der Hg-angereicherten Feinfraktion sind neben direkt an das gekapselte Aggregat angeschlossenen Deckelfässern aus Stahl mit Füllstandsanzeige, auch Bigbags, die im gekapselten Bereich befüllt werden, im Einsatz.

Handling der Hg- haltigen Feinfraktion

Soweit Angaben vorliegen beträgt der Grenzwert für die Hg-Konzentration in der Abluft der Anlagen $0,02^{43}$ oder $0,05^{44}$ mg/Nm^3 bzw. für die Hg-Fracht: $0,25^{44}$ oder $1 \text{ g}/\text{h}^{43}$.

Quecksilber in der Abluft

Von einer Anlage liegen Angaben zu den gemessenen Werten in der Abluft vor: $5\text{--}10 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Die Eigenüberwachung des Hg-Gehalts in der Luft erfolgt bei den betrachteten Anlagen entweder unter Verwendung von Handmessgeräten⁴⁵ arbeitstäglich oder mittels stationärem Messgerät⁴⁶ und online Aufzeichnung. Messpunkte befinden sich jedenfalls im Bereich der gekapselten Anlage bei der Materialaufgabe und beim Materialaustrag, nach dem Aktivkohlefilter und an diversen Stellen im Mitarbeiterbereich. Bei einem Betrieb wird auch innerhalb des gekapselten Anlagenteils gemessen.

Monitoring Hg- Gehalt Luft

Für den Hg-Gehalt in der gereinigten Abluft ist in größeren Abständen (mind. 1 Jahr) die Messung durch eine zertifizierte Prüfstelle vorgesehen.

⁴³ Vergleiche auch Luftreinhalteverordnung Schweiz

⁴⁴ TA-Luft

⁴⁵ z. B. Jerome J 405

⁴⁶ z. B. VM 3000

4 MENGEN IN ÖSTERREICH

4.1 Flachbildschirmgeräte

in Verkehrsetzung 2010 wurden in Österreich gemäß EAK (2011) ca. 19.500 t Bildschirmgeräte in Verkehr gesetzt. Da der Technologiewechsel von CRT- zu Flachbildschirmtechnologien als weitgehend abgeschlossen betrachtet werden kann, kann davon ausgegangen werden, dass diese Menge der In-Verkehrsetzung von Flachbildschirmgeräten entspricht.

Altgeräteaufkommen Im Jahr 2010 wurden insgesamt rund 19.000 t Bildschirmaltgeräte gesammelt (EAK 2011)⁴⁷. Von den österreichischen EAG-Behandlern wird der Anteil der Flachbildschirmgeräte auf 1 bis 7 % geschätzt. Die Fa. Loacker hat 2011 mittels Gerätezahlungen einen Anteil von 3,4 Gew.% ermittelt⁴⁸. Unter der Annahme eines durchschnittlichen Anteils der Flachbildschirmgeräte von 5 Gew.% kann bei einer Sammelmenge von 19.000 t Bildschirmaltgeräten eine Sammelmenge von knapp 1.000 t im Jahr 2010 abgeschätzt werden. SALHOFER et al. (2012) prognostizierten auf Basis von In-Verkehr-Setzungsmengen von Flachbildschirmgeräten in den Jahren 2005 bis 2008⁴⁹ ein Altgeräteaufkommen von bereits 2.500 t/a für die Jahre 2009/10.

Zusammensetzung der Flachbildschirm-Altgeräte Nach Schätzungen österreichischer EAG-Behandler sind Laptops nur geringfügig in den übernommenen Flachbildschirmgeräten enthalten⁵⁰. Diese Beobachtung steht im Gegensatz zu der bereits erwähnten Prognose, wonach derzeit mindestens ein Viertel der Geräte Laptops wären, sowie zu Informationen über in der Schweiz entsorgte Mengen an Flachbildschirmgeräten. Im Jahr 2009 beispielsweise entfielen dort etwa 20 Gew.% auf Laptops (EMPA 2011). Gründe für die vergleichsweise geringen, durch österreichische Anlagen übernommenen Mengen, könnten einerseits sein, dass relevante Mengen Laptops mit Elektrokleingeräten mit-gesammelt werden, andererseits, dass sie in stärkerem Ausmaß legal oder illegal wiederverwendet und/oder exportiert werden. Die Angaben der österreichischen Anlagenbetreiber zum Anteil von PC-Monitoren schwanken zwischen 60–70 % und „hauptsächlich“. Somit würden max. 25–30 % auf TV-Geräte entfallen. Plasma-TV-Geräte sind lediglich vereinzelt in der Sammelware enthalten. Bei den übernommenen LCD-Geräten handelt es sich bisher ausschließlich um solche mit CCFL-Hintergrundbeleuchtung; LED-Hintergrundbeleuchtung wurde noch nicht beobachtet.

zukünftige Entwicklung Bis etwa zum Jahr 2014 wurde ein jährliches Aufkommen an Flachbildschirm-Altgeräten von ca. 3.000 t prognostiziert⁵¹. Ab dann wird ein kontinuierlich steigendes Aufkommen erwartet – bis zum Jahr 2018 auf etwa 13.000 t/a – bevor sich die Mengen wieder einpendeln. Bei Annahme einer durchschnittlichen Lebensdauer der Geräte von 10 Jahren und da derzeit Geräte mit CCFL als Hin-

⁴⁷ die Sammelmassen der Sammel- und Behandlungskategorie Bildschirmgeräte für 2007 bis 2010 sind im Anhang, Kapitel 9.3 angeführt

⁴⁸ LOACKER, 2011: Stichprobe 258 t Bildschirmgeräte (ohne Laptops, da in Vorarlberg mit Kleingeräten gesammelt)

⁴⁹ 2005: 740.000 Stk, 2006: 860.000 Stk, 2007: 1.180.000 Stk., 2008: 1.540.000 Stk.

⁵⁰ max. 15 %

⁵¹ SALHOFER et al. (2012)

tergrundbeleuchtung von solchen mit LED-Hintergrundbeleuchtung abgelöst werden (CAMAROTO 2009), werden aber zu diesem Zeitpunkt bereits nicht mehr ausschließlich Hg-haltige Geräte anfallen.

4.2 Quecksilber

In diesem Kapitel werden die Quecksilberfrachten von Flachbildschirmgeräten und deren Verteilung bei der Behandlung dargestellt und denen der zweiten Hg-reichen EAG-Kategorie, den Lampen, gegenübergestellt.

Auf Basis eines mit ca. 4 mg/kg abgeschätzten durchschnittlichen Hg-Gehalts in Flachbildschirmen (vgl. Kapitel 2.3.2) und einer Annahme für die derzeitige Altgerätemenge von 1.000 bis 3.000 t/a (vgl. Kapitel 4.1), ergibt sich eine derzeitige Quecksilberfracht von 4–12 kg/a. Auf Basis der prognostizierten Altgerätemengen und der durchschnittlichen Gerätelebensdauer, sowie im Vergleich mit Prognosen für die Schweiz⁵², wird eine maximale jährliche Hg-Fracht von 40 kg etwa 2016/17 angenommen.

Diese liegt in einer ähnlichen Größenordnung wie jene der Gasentladungslampen. Im Jahr 2010 wurden gemäß EAK (2011) in Österreich 780 t Lampen getrennt gesammelt. Der Hg-Gehalt sowohl von stabförmigen Gasentladungslampen als auch von Kompaktleuchtstofflampen (Energiesparlampen) wird in der Literatur mit etwa 90 bis 100 mg/kg angegeben (TAVERNA et al. 2010, HUG et al., 2010). Daraus ergibt sich eine jährliche Hg-Fracht von etwa 80 kg.

Im Vergleich zu Restmüll betragen die jährlichen Frachten etwa ein Zehntel, die Konzentration ist allerdings um das 10-fache höher⁵³.

In Hinblick auf die Anforderungen an die Behandlung von Flachbildschirmen sind im Folgenden Abschätzungen zur Verteilung von Hg durch unterschiedliche Behandlungsoptionen auf den Behandlungsausput dargestellt. Als Basis für Hg-Frachtabschätzungen wurde die oben erwähnte jährliche Maximalfracht (40 kg/a) in Flachbildschirmen herangezogen. Zum Vergleich ist die Verteilung des Quecksilbers auf die Outputs aus der Behandlung von Gasentladungslampen dargestellt.

Für die Behandlung von Flachbildschirmen werden 3 Szenarien betrachtet:

- Demontage ohne Abluft-Erfassung

Es wurde angenommen, dass nach einer vollständigen manuellen Demontage⁵⁴ 50 % der CCFL-Kapillaren gebrochen vorliegen, dass die Hälfte des enthaltenen Quecksilbers gasförmig oder in Form von Leuchtpulververlusten entweicht und dass weder bei der Demontage selbst noch im Lagerbereich des Lampenbruchs eine Absaugung mit Hg-Abscheidung erfolgt.

Hg-Fracht Flachbildschirme

Verteilung bei der Behandlung

Behandlung Flachbildschirme

⁵² Maximalfracht: 36 kg (EMPA 2011)

⁵³ Hg-Gehalt im Restmüll gem. TAVERNA et al. (2011): 0,4 mg/kg, Quecksilberfracht bei einem Aufkommen von 1,4 Mio t: ca. 560 kg/a

⁵⁴ Inklusiv 5 % Bruch beim Transport

- **Demontage mit Ablufferfassung**

Betreffend Hg-Freisetzung durch Bruch der Hintergrundbeleuchtung wurden dieselben Annahmen wie im ersten Szenario getroffen. Es wurde angenommen, dass durch Absaugung der Luft bei der Zerlegung und aus dem Lagerbereich 80 % der Hg-Emissionen in einem Aktivkohlefilter erfasst werden.

Für beide Demontageszenarien wurde angenommen, dass die demontierten CCFL-Kapillaren einer Lampenbehandlung, wie weiter unten beschrieben, zugeführt werden.

- **Mechanische Behandlung**

Für die Behandlung in einer mechanischen Anlage wurde angenommen, dass 60 % des eingebrachten Quecksilbers bei der Behandlung gasförmig entweichen und zu 90 % mittels Aktivkohlefilter erfasst werden. Weiters wurde angenommen, dass bei Einhaltung eines Hg-Grenzwerts von 0,5 mg/kg in Wertstofffraktionen mindestens 30 % des in die Behandlung eingebrachten Quecksilbers in der Feinfraktion vorliegen. Die mit den erzielten Wertstofffraktionen maximal ausgetragene Hg-Menge würde somit 10 % des Quecksilberinputs in die Anlage ausmachen.

Für alle 3 Szenarien wird anhand verfügbarer Informationen zum Bruch von CCFL-Kapillaren beim Transport angenommen, dass 2,5 % des enthaltenen Quecksilbers bereits dort gasförmig oder in Form von Leuchtpulververlusten entweichen.

**Behandlung
Gasentladungslampen**

Für die Abschätzung der Verteilung des Quecksilbers bei der Lampenbehandlung wurden Erkenntnisse aus einer in der Schweiz durchgeführten Studie herangezogen (HUG et al. 2010). Bei den genannten Untersuchungen wurden Hg-Austräge mit Materialströmen bestimmt. Zu welchem Grad das übrige Hg mittels Aktivkohlefilter erfasst wird bzw. emittiert, ist nicht bekannt. Für die Darstellung hier wurden die Verluste insgesamt (Transport zur Anlage und Behandlung) mit 5 % geschätzt.

Aus Abbildung 16 geht betreffend Behandlung von Flachbildschirmen hervor, dass eine Demontage ohne Emissionskontrolle zu vergleichsweise hohen Hg-Emissionen führen kann. Weiters wird ersichtlich, dass bei der mechanischen Behandlung von Flachbildschirmen die Quecksilberabscheidung mittels Feinfraktionen mengenmäßig relevant ist.

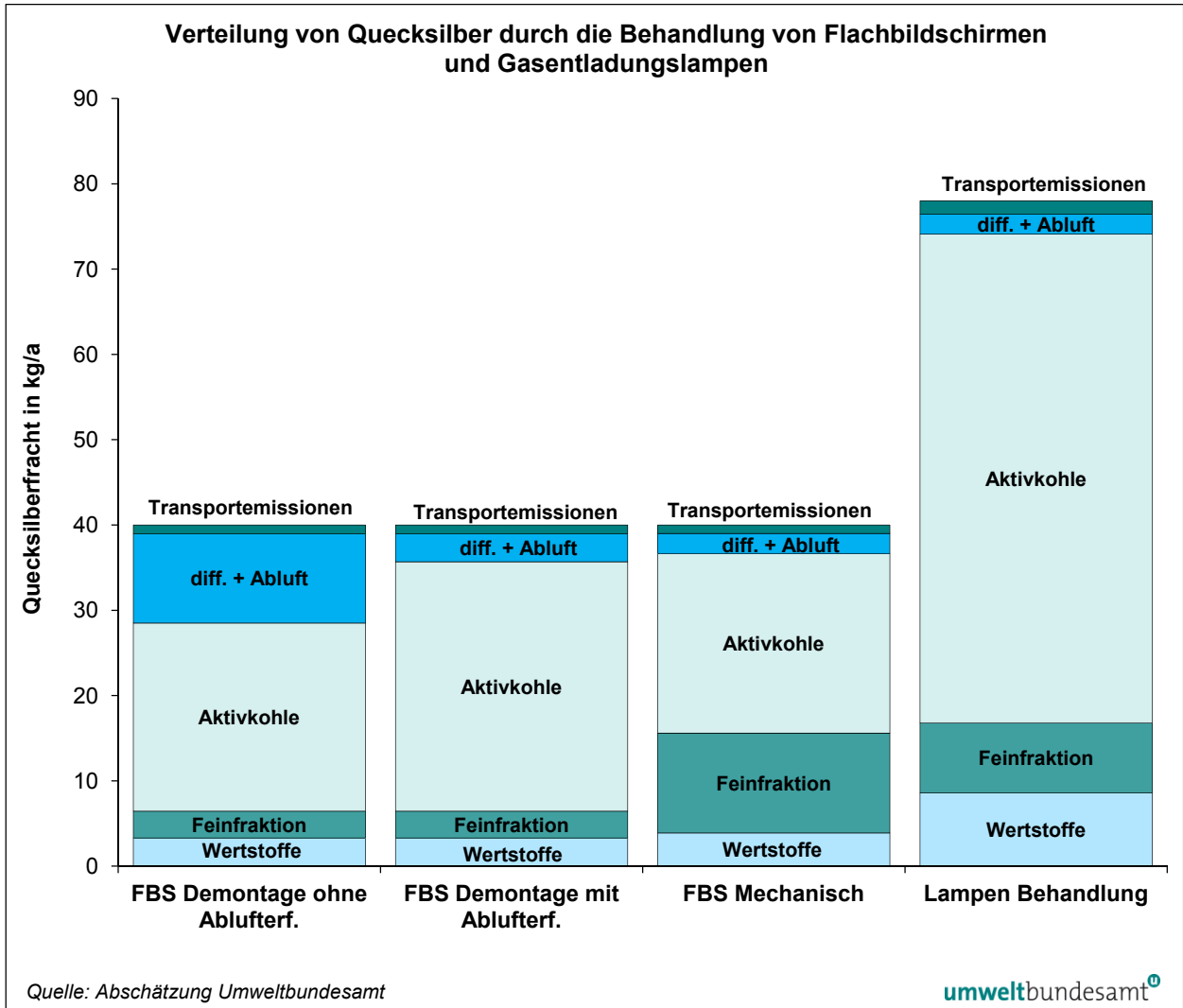


Abbildung 16: Verteilung von Quecksilber durch die Behandlung von Flachbildschirmen und Gasentladungslampen (Abschätzung Umweltbundesamt).

5 STANDARDS FÜR SAMMLUNG, TRANSPORT UND BEHANDLUNG VON FLACHBILDSCHIRMALTGERÄTEN

Im Folgenden sind sowohl gesetzlich bindende Vorgaben an Sammlung, Transport und Behandlung, als auch rechtlich nicht bindende Standards/Richtlinien, z. B. von EAG-Rücknahmesystemen, dargestellt.

Mit Ausnahme des in Entwurfsform vorliegenden „*WEEELABEX Treatment*“ Standards (V9.0, Mai 2011), der durch das WEEEFORUM (Europäische Vereinigung von EAG-Rücknahmesystemen) derzeit erarbeitet wird, und ein paar Details des „*LAGA-Merkblatts 31; Anforderungen zur Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten*“ konnten keine spezifisch für Flachbildschirme definierten Standards eruiert werden.

Von der Schweizer EMPA wurden 2011 einige Vorschläge für eine Anpassung der technischen Vorschriften zur Entsorgung von Elektro- und Elektronikaltgeräten von SWICO und SENS ausgearbeitet (EMPA 2011).

Bei der Darstellung der betrachteten Standards aus Deutschland (Kapitel 5.3) und der Schweiz (Kapitel 5.4) wird primär auf solche Vorgaben eingegangen, die über jene der WEEE-Richtlinie und der österreichischen Regelwerke hinausgehen.

5.1 EU

5.1.1 WEEE-RL (2002/96/EG)

Verwertungs-/Recyclingquoten

Die für Flachbildschirmgeräte relevante derzeit gültige Verwertungsquote beträgt 75 %, die Wiederverwendungs- und Recyclingquote 65 % (Artikel 7). Gemäß derzeitigem Stand Neufassung der WEEE-RL (durch das europäische Parlament in der 2. Lesung am 19.1.2012 angenommener Text⁵⁵) sollen zukünftig (3 Jahre nach Inkrafttreten der neuen Richtlinie) beide Werte um 5 % – also 80 % Verwertung und 70 % Wiederverwendung und Recycling – erhöht werden.

Schadstoffentfrachtung

Folgende aus EAG zu entfernende Bauteile (Anhang II) sind für die Behandlung von Flachbildschirmgeräten relevant:

- Flüssigkristallanzeigen (gegebenenfalls zusammen mit dem Gehäuse) mit einer Oberfläche von mehr als 100 cm² und hintergrundbeleuchtete Anzeigen mit Gasentladungslampen,
- Gasentladungslampen,
- Quecksilberhaltige Bauteile wie Schalter oder Lampen für Hintergrundbeleuchtung,

⁵⁵ P7_TC2-COD(2008)0241

Flachbildschirme – Standards für Sammlung, Transport und Behandlung von Flachbildschirmaltgeräten

- Leiterplatten von Mobiltelefonen generell, sowie von sonstigen Geräten, wenn die Oberfläche der Leiterplatte größer ist als 10 cm²,
- Kunststoffe, die bromierte Flammschutzmittel enthalten,
- externe elektrische Leitungen,
- Elektrolyt-Kondensatoren, die bedenkliche Stoffe enthalten (Höhe > 25 mm; Durchmesser: > 25 mm oder proportional ähnliches Volumen).

Weiters ist gemäß Anhang II (2) Quecksilber aus Gasentladungslampen zu entfernen.

Anforderungen an die Standorte für die Lagerung von EAG

Gemäß Anhang III brauchen die für die Lagerung von EAG vorgesehenen Bereiche:

- eine undurchlässiger Oberfläche und Auffangeinrichtungen und gegebenenfalls Abscheider für auslaufende Flüssigkeiten und fettlösende Reinigungsmittel,
- eine wetterbeständige Abdeckung.

Anforderungen an die Standorte für die Behandlung von EAG

Gemäß Anhang III brauchen die für die Behandlung von EAG vorgesehenen Standorte:

- Waagen zur Bestimmung des Gewichts der behandelten Altgeräte;
- geeignete Bereiche mit undurchlässiger Oberfläche und wasserundurchlässiger Abdeckung sowie Auffangeinrichtungen und gegebenenfalls Abscheider für auslaufende Flüssigkeiten und fettlösende Reinigungsmittel;
- geeignete Lagerräume für demontierte Einzelteile;
- geeignete Behälter für die Lagerung von Batterien, PCB/PCT-haltigen Kondensatoren und anderen gefährlichen Abfällen, wie beispielsweise radioaktiven Abfällen;
- Ausrüstung für die Behandlung von Wasser im Einklang mit Gesundheits- und Umweltvorschriften.

5.1.2 WEEELABEX Standards

Auf Initiative des WEEEFORUMS (Europäische Vereinigung von EAG-Rücknahmesystemen) wurde ein mehrjähriges Projekt mit dem Ziel der Erstellung von Standards für Sammlung, Behandlung, Recycling und Verwertung von EAG sowie zum Monitoring von Behandlungsbetrieben gestartet (Förderung durch das EU-LIFE Programm). Im Rahmen dessen werden 3 Standards („Collection“, „Logistics“, „Treatment“) erstellt. Für diese Studie wurde die Entwurfsversion 9.0 (Stand 2. Mai 2011) verwendet.

Die Standards „Collection“ und „Logistics“ enthalten lediglich allgemeine Anforderungen, die sich auf einen vorsichtigen Umgang zwecks **Vermeidung von Lampenbruch** beziehen.

Der Standard „Treatment“ gliedert sich in 2 Teile.

Teil 1 stellt **allgemeine Anforderungen** (Begriffsbestimmungen, administrative und organisatorische sowie technische Anforderungen) an die Behandlung von EAG und verfügt über 4 Anhänge (A: „De-pollution guidelines“, B: „De-pollution monitoring“, C: „Requirements concerning batches“, D: „Determination of recycling and recovery rates“).

In Teil 2 werden **spezielle Anforderungen** für bestimmte EAG-Typen, unter anderem für **Flachbildschirmgeräte** (und Lampen), definiert:

Allgemeine Anforderungen an Sammlung, Manipulation und Transport

- Eine Beschädigung der Displays muss vermieden werden. Das Zerschmettern oder Komprimieren der Geräte vor der Behandlung ist nicht zulässig (4.1.1).
- Die Lagerung von Flachbildschirmen und ihren Komponenten hat, ebenso wie der Transport (4.2.2), unter einer wetterfesten Abdeckung zu erfolgen (z. B. Dach, geschlossener Container) (4.1.2).
- Transportcontainer müssen sorgfältig beladen werden. Beim Stapeln von Containern sollen Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden, um ein Brechen der Flachbildschirme im unteren Container zu verhindern (4.2.1).

Anforderungen an die Information der Mitarbeiter und deren Qualifikation

- Informationsmaterialien über die speziellen Risiken (i. e. physische Verletzungen, Exposition zu Quecksilber, Blei und/oder ITO, und Inhalation von Staub und/oder fluoreszierenden Beschichtungen) im Umgang mit Flachbildschirmen für das Personal müssen am Arbeitsplatz verfügbar sein (4.3.1).
- Personal muss für Sortierung verschiedener Typen von Flachbildschirmen qualifiziert sein. (5.1.1).
- Allgemeine Anforderungen an die Schadstoffentfrachtung.
- Die Behandlung der Flachbildschirme soll die verschiedenen Typen von Displays, Fraktionen und Komponenten daraus und spezielle Anforderungen für Quecksilber, fluoreszierende Beschichtungen und Indiumzinnoxid berücksichtigen (5.2.1, 5.2.2).
- Die mechanische Behandlung von Flachbildschirmen muss in einer dafür bestimmten Behandlungsanlage durchgeführt werden, die belegen kann, dass keine Kontamination von anderen behandelten Materialströmen stattfindet (5.2.3).

Spezifische Anforderungen betreffend Quecksilber

Der derzeitige Entwurf sieht 2 Möglichkeiten des **Nachweises einer ausreichenden Quecksilberabscheidung** im Zug der Behandlung von Flachbildschirmen mit CCFL-Hintergrundbeleuchtung vor. Eine quantitative Festlegung ist im derzeit vorliegenden Entwurf noch nicht erfolgt.

- Nachweis, dass mindestens XX Masseprozent an Hg vom Gehalt der unbehandelten Geräte entfernt wurden (5.3.1)

- Grenzwerte für Hg als [XX mg/m³ oder mg/kg⁵⁶] in für das Recycling bestimmten Fraktionen, und die Auflage, dass jene Fraktionen, in denen das Quecksilber konzentriert ist, einer angemessenen⁵⁷ Entsorgung zugeführt werden (5.3.2).

Betreffend **Umgang mit CCFL**, die aus der manuellen Demontage resultieren, wird folgendes gefordert:

- Die Lagerung und der Transport muss in geschlossenen Containern erfolgen. Die Container sollen nicht an Plätzen gelagert werden, die der Hitze ausgesetzt sind (5.3.3).
- Alle CCFL Hintergrundbeleuchtungen aus der manuellen Demontage, ob gebrochen oder ungebrochen, sollen in speziellen Behandlungsanlagen für Lampen behandelt werden oder einer angemessenen Entsorgung in Übereinstimmung mit der nationalen Gesetzgebung zugeführt werden (5.3.4).

Anforderungen betreffend Indiumzinnoxid (ITO)

Abgesehen vom Verweis, dass Anlagen, welche LCD-Paneele oder Fraktionen davon mit der Absicht Indiumzinnoxid zu konzentrieren, die allgemeinen Anforderungen an die Behandlung von EAG in Teil 1 des Standards einhalten müssen, sind keine speziellen Standards definiert.

Anforderungen betreffend fluoreszierende Beschichtung

- Flachbildschirme und Fraktionen sollen Behandlungsanlagen zugeführt werden, die bei der Wiederverwertung oder Entsorgung der fluoreszierenden Beschichtung und des Glases garantieren, dass gefährliche Substanzen vor der Deponierung zerstört oder immobilisiert werden.
- Fluoreszierende Beschichtungen und Fraktionen, die fluoreszierende Beschichtungen enthalten, sollen auf Deponien entsorgt werden oder durch angemessene thermische Verfahren, welche für gefährliche Stoffe entwickelt und zugelassen wurden, behandelt werden.

Anforderungen an das Schadstoff-Monitoring der Behandlung

- Der Betreiber soll seiner Technologie entsprechende Protokolle entwickeln, um die Erfüllung der Schadstoffentfrachtungsziele (derzeit noch nicht quantifiziert) nachzuweisen (5.6.1).
- Die Bearbeitung von Flachbildschirmen soll in einer kontrollierten Atmosphäre stattfinden. Passendes Belüftungsequipment und Filter sollen sicherstellen, dass maximale Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK-Werte) und Emissionsgrenzwerte für Schwermetalle und Staub jederzeit eingehalten werden können. Die Anreicherung von Schwermetallen im Staub sollte periodisch gemessen werden (5.6.2).

⁵⁶ Gemäß TROFFOLET (2011) besteht bereits eine Übereinstimmung innerhalb des WEEE-Forums diesen Grenzwert mit 0,5 ppm festzulegen.

⁵⁷ nicht näher definiert

- Der Hg-Gehalt in der Luft von Arbeitsplätzen, wo Flachbildschirme mit CCFL Hintergrundbeleuchtungen behandelt werden, und von Lagerbereichen muss gemäß den vorhandenen Bestimmungen europäischer Gesetzgebung bzgl. Gesundheit und Sicherheit überwacht werden (5.6.3).
- Die Überwachung der Quecksilberaufnahme durch Arbeitnehmer muss Analysen der Konzentration in Blut und Urin beinhalten (5.6.4).

5.2 Österreich

5.2.1 Elektroaltgeräteverordnung (EAG-VO)

Die wesentliche Bestimmung betreffend Behandlung von Flachbildschirmen in der EAG-VO (BGBl. II Nr. 121/2005 zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 166/2011) sind die Recycling- und Verwertungsquoten. Diese entsprechen der WEEE-Richtlinie (65 bzw. 75 %) (siehe Kapitel 5.1.1).

5.2.2 Abfallbehandlungspflichten-VO

Anforderungen an die Lagerung und den Transport von EAG

Paragraph 4 legt folgende über die Standards der WEEE-Richtlinie hinausgehende Anforderungen fest:

- (2) Bei Lagerung und Transport ist sicherzustellen, dass Beschädigungen, die ein Entweichen von gefährlichen Stoffen nach sich ziehen können, vermieden werden. EAG sind so zu lagern und zu transportieren, dass eine nachfolgende Zerlegung oder eine stoffliche Verwertung nicht erschwert oder unmöglich gemacht wird.
- (4) Lampen sind ausreichend gegen Bruch gesichert zu lagern und zu transportieren. Gebrochene Lampen und quecksilberhaltige Fraktionen aus der Behandlung von Lampen sind in quecksilberdampfdicht verschlossenen Gebinden mit ausreichendem Schutz zur Verhinderung von Quecksilber- und Staubemissionen zu lagern und zu transportieren.

Anforderungen an Behandlungsbereiche (§ 5)

In den Behandlungsanlagen sind geeignete Wiegeeinrichtungen zur Bestimmung des Gewichtes der zu behandelnden Altgeräte und geeignete Behälter für die Lagerung von Batterien und Akkumulatoren, PCB-haltigen Kondensatoren im Sinne des § 16 Abs. 2 AWG 2002 und anderen gefährlichen Abfällen bereitzustellen. Ein geeigneter Lagerbereich für demontierte Bau- und Geräteteile ist einzurichten.

Schadstoffentfrachtung

Folgende Bauteile, die gemäß § 6 (1) so zu entfernen sind, dass Kontaminationen anderer Bauteile und der Umwelt ausgeschlossen sind, sind für Flachbildschirmgeräte relevant:

- quecksilberhaltige Bauteile, z. B. Schalter oder Lampen für Hintergrundbeleuchtung;

Flachbildschirme – Standards für Sammlung, Transport und Behandlung von Flachbildschirmaltgeräten

- Leiterplatten von Mobiltelefonen generell und von sonstigen Geräten, wenn die Oberfläche der Leiterplatte größer ist als 10 cm²;
- Kunststoffe, die bromierte Flammschutzmittel enthalten;
- Flüssigkristallanzeigen (gegebenenfalls zusammen mit dem Gehäuse) mit einer Oberfläche von mehr als 100 cm² und hintergrundbeleuchtete Anzeigen mit Gasentladungslampen;
- Elektrolytkondensatoren mit einer Höhe ab 25 mm und einem Durchmesser ab 25 mm und solche mit einem vergleichbaren Volumen.

Gemäß § 7 (Selektive Behandlung von Bauteilen) sind (1) von **bestückten Leiterplatten** quecksilberhaltige Bauteile, PCB-haltige Bauteile, Batterien und Akkumulatoren, mit Gasentladungslampen hintergrundbeleuchtete Flüssigkristallanzeigen (LCDs) und Elektrolytkondensatoren mit einer Höhe ab 25 mm und einem Durchmesser ab 25 mm und solche mit einem vergleichbaren Volumen zu entfernen. Weiters (2) ist bei der Behandlung quecksilberhaltiger Bauteile ein Auftreten **diffuser Quecksilberemissionen** durch geeignete Maßnahmen **zu vermeiden**.

Unzulässige Behandlungsverfahren

Folgende gem. § 13 unzulässige Behandlungsverfahren sind bei der Behandlung von Flachbildschirmgeräten relevant:

- (1) Unbeschadet der Bestimmungen des § 12 Abs. 1 ist das Zerkleinern, wie z. B. das Shreddern von nicht schadstoffentfrachteten Elektro- und Elektronik-Altgeräten nicht zulässig, wenn durch die Behandlung nicht ausgeschlossen werden kann, dass dadurch eine Freisetzung umweltrelevanter Stoffe erfolgt.
- (2) Eine stoffliche Verwertung von Kunststoff- und Holzgehäusen mit halogenierten oder schwermetallhaltigen Zusätzen, Imprägnierungen oder Lacken ist nur in jenen Fällen zulässig, in denen die jeweiligen Stoffe oder Zusätze auf Grund technischer Erfordernisse dem neuen Produkt zugesetzt werden müssen.
- (5) Eine stoffliche Verwertung von der von Metallen getrennten Restfraktion der Leiterplatten ist nicht zulässig.
- (7) Eine stoffliche Verwertung von Flüssigkristallanzeigen mit Gasentladungslampen (LCDs) ist nicht zulässig.

Anforderungen an die Behandlung von Lampen

Da die erste Generation von Flachbildschirmen Hg-haltige Gasentladungslampen enthält, sind im Folgenden auch die Anforderungen an die Behandlung von Lampen (§ 12) angeführt:

- (1) Ein Auftreten von Quecksilber- und Staubemissionen, einschließlich diffuser Emissionen, ist zu vermeiden.
- (2) Das während des Behandlungsprozesses freiwerdende Quecksilber und die anfallenden Stäube sind abzuscheiden. Das Leuchtpulver ist vom Glaskörper abzutrennen.
- (3) Lampen sind so zu behandeln, dass der Hg-Gehalt in den Fraktionen Natronkalkglas, Bleiglas, Aluminiumendkappen und sonstige Metallteile jeweils den Grenzwert von 5 mg/kg Trockenmasse nicht übersteigt. Ein diesbezüglicher Nachweis ist der Behörde auf Verlangen vorzulegen.

- (4) Der Anteil von Blei in der Natronkalkglasfraktion darf 0,2 Gewichtsprozent nicht übersteigen. Ein diesbezüglicher Nachweis ist der Behörde auf Verlangen vorzulegen.
- (5) Das gewonnene Natronkalkglas, die Aluminiumendkappen und die sonstigen Metallteile sind einer stofflichen Verwertung zuzuführen. Die übrigen Fraktionen, insbesondere Leuchtpulver, sind – soweit dies technisch möglich und ökologisch zweckmäßig ist und die dabei entstehenden Mehrkosten im Vergleich zu den Kosten anderer Behandlungsverfahren dieser Fraktionen nicht unverhältnismäßig sind – einer Verwertung, insbesondere der Lampenproduktion, zuzuführen.

5.2.3 Deponieverordnung

Die folgende Tabelle stellt Grenzwerte für einige Parameter dar, die im Zusammenhang mit der „ordnungsgemäßen Entsorgung“ (siehe Kapitel 5.2.2) von Fraktionen aus der Flachbildschirmbehandlung von Bedeutung sein können. Den Grenzwerten der Deponieverordnung (BGBl. II Nr. 39/2008, idF BGBl. II Nr. 178/2010) für Hg, TOC und As für Reststoffdeponien sind die Annahmekriterien für körnige Abfälle auf Deponien für gefährliche Abfälle aus der Entscheidung über Abfallannahmekriterien auf Deponien (2003/33/EG) gegenübergestellt.

Hg-angereicherte Fraktionen aus der Behandlung von Flachbildschirmen weisen Hg-Gesamtgehalte auf, die über den Grenzwerten für Reststoffdeponien liegen. Für die Beurteilung, ob eine Ablagerung auf Deponien für gefährliche Abfälle zulässig ist, sind Informationen über Eluatwerte erforderlich. Die As-Gehalte von LCD-Glas liegen im Bereich des Grenzwerts für Reststoffdeponien. Diverse Verbund- oder Mischfraktionen können für die Ablagerung zu hohe Organikanteile aufweisen.

Tabelle 11: Grenzwerte für Reststoffdeponien (Deponieverordnung, Anhang 1) und Deponien für gefährliche Abfälle (Entscheidung über Abfallannahmekriterien auf Deponien).

	Reststoffdeponie		Deponie für gef. Abfälle	
	Feststoff	Eluat	Feststoff	Eluat
Hg (mg/kg)	20*	0,1	–	0,5 ^a / 2 ^b / 0,3 ^c
As (mg/kg)	5.000	2	–	6 ^a / 25 ^b / 3 ^c
TOC als C (mg/kg)	50.000 ⁱ	500	6.000 ^{**i}	480 ^a / 1000 ^b / 320 ^c
GV (%)	8 ⁱ	–	10 ⁱ	–

a...bei L/S = 2l/kg b...bei L/S = 10l/kg c...Perkolationsprüfung

* Wenn Hg in Form schwerlöslicher sulfidischer Verbindungen vorliegt, ist ein Hg-Gehalt bis maximal 100 mg/kg TM zulässig. Liegt Hg in Form schwerlöslicher sulfidischer Verbindungen vor und wurde der Abfall stabilisiert oder immobilisiert, ist ein Hg-Gehalt bis maximal 3 000 mg/kg TM zulässig

** Wird dieser Wert nicht eingehalten, so kann von der zuständigen Behörde ein höherer Grenzwert zugelassen werden, sofern für DOC der Grenzwert von 1 000 mg/kg ausgehend von L/S = 10 l/kg beim pH-Wert des Materials oder bei einem pH-Wert zwischen 7,5 und 8,0 eingehalten wird.

5.2.4 Grenzwerteverordnung

In der Grenzwerteverordnung (BGBl. II Nr. 253/2001, zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 243/2007), Anhang I, sind die in der folgenden Tabelle dargestellten MAK-Werte (Maximale Arbeitsplatzkonzentration) betreffend Quecksilber, festgelegt. Für Quecksilberverbindungen werden weiters die besondere Gefahr der Hautresorption und der Sensibilisierung der Haut hervorgehoben.

Tabelle 12: MAK-Werte Quecksilber (Grenzwerteverordnung, Anhang I).

		TMW	KZW
Hg	mg/m ³ /ppm	0,05 /0,005	0,5* /0,05
Hg, anorganische Verbindungenⁱ, Einatembare Stoffe	mg/m ³	0,1	0,4**
Hg, organische Verbindungenⁱ, Einatembare Stoffe	mg/m ³	0,01	0,1*

TMW...Tagesmittelwert

KZW...Kurzzeitwert * 30min ** 15 min

i....berechnet als Hg

5.3 Deutschland

5.3.1 LAGA-Merkblatt 31 (Anforderungen zur Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten)

Das LAGA-Merkblatt 31 stellt eine detaillierte Zusammenfassung der deutschen Gesetzeslage betreffend Anforderungen an die Vermeidung, die getrennte Erfassung sowie an die Sammlung, Lagerung und Behandlung von EAG dar. Es konkretisiert den Stand der Technik mit dem Ziel eines ländereinheitlichen Vollzugs.

Für Flachbildschirmgeräte relevante Inhalte finden sich insbesondere in folgenden Kapiteln:

Kapitel 8.2.2: Anforderungen an die Behandlung von LCD-Displays

Basierend auf den Untersuchungsergebnissen eines Flüssigkristallherstellers über die Ökotoxikologie von Flüssigkristallen (MERCK 2004) wird davon ausgegangen, dass an die Entsorgung von LCDs aufgrund der Flüssigkristalle keine besonderen Anforderungen zu stellen sind⁵⁸.

Als Stand der Technik wird gefordert, dass ein **Ausbau des kompletten LCD-Moduls** (inkl. Hintergrundbeleuchtung) erfolgt. Die Hintergrundbeleuchtung ist vom Modul zu trennen und ordnungsgemäß zu entsorgen. LCD können nach der Schadstoffentfrachtung in Metallhütten energetisch und stofflich verwertet werden.

⁵⁸ Kommerzielle Flüssigkristallmischungen sind demnach nicht akut toxisch, nicht mutagen in Bakterien und Säugerzellen, nicht schädlich für aquatische Organismen und stehen nicht im Verdacht krebserzeugend zu sein. Die in kommerziellen Flüssigkristallmischungen verwendeten Flüssigkristalle werden in der Wassergefährdungsklasse Zwei eingestuft und sind nicht leicht biologisch abbaubar.

Kapitel 8.2.3: Anforderungen an den Umgang mit Plasma-Bildschirmgeräten

Durch geeignete Sortierung ist sicherzustellen, dass in jedem Fall eine Trennung von Plasma-Bildschirmgeräten und Altgeräten mit LCD erfolgt.

An die Behandlung von Plasmageräten selbst werden keine speziellen Anforderungen gestellt. Dies wird damit begründet, dass – soweit bekannt – keine Werkstoffe und Bauteile, die in Anhang III des ElektroG aufgeführt sind, enthalten sind. Es wird lediglich festgehalten, dass Glas aus Plasmabildschirmen aufgrund der Zusammensetzung derzeit keiner Verwertung zugeführt werden kann.

5.3.2 Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft)

Die folgende Tabelle fasst die Begrenzungen für Staub und Quecksilber im Abgas von Anlagen gemäß Punkt 5.2 (Allgemeine Anforderungen zur Emissionsbegrenzung) der TA Luft zusammen.

Tabelle 13: Emissionsbegrenzungen Staub und Hg (TA Luft, Punkt 5.2)

	Massenstrom g/h	Massenkonzentration mg/m ³
Gesamtstaub einschließlich Feinstaub	200*	20
Hg und seine Verbindungen (als Hg)	0,25	0,05

* Auch bei Einhaltung oder Unterschreitung eines Massenstroms von 200 g/h darf im Abgas die Massenkonzentration 150 mg/m³ nicht überschritten werden.

5.4 Schweiz

5.4.1 Technische Vorschriften zur Entsorgung von Elektro- und Elektronikaltgeräten von Swico Recycling und SENS

In den technischen Vorschriften zur Entsorgung von Elektro- und Elektronikaltgeräten von Swico Recycling und SENS vom 10. Juni 2009 sind bezüglich quecksilberhaltigen Komponenten und Flüssigkristallanzeigen unter anderem folgende Bestimmungen festgehalten:

Richtlinie 2: IKT⁵⁹ und UE⁶⁰-Geräte

- 1.1 Kaltkathodenfluoreszenzlampen in Flüssigkristallanzeigen > 100 cm² müssen entfernt und einer fachgerechten Verwertung oder Entsorgung zugeführt werden.
- 1.2 Eine Verarbeitung von Flüssigkristallanzeigen ohne vorherige Entfernung der Kaltkathodenfluoreszenzlampen ist nach Rücksprache mit den Kontrollorganen möglich, sofern sichergestellt ist, dass keine in den Kaltkathodenfluoreszenzlampen enthaltenen Schadstoffe, insbesondere Quecksilber, auf die im Verfahren erzeugten Fraktionen verteilt werden und die Schadstoffe einer fachgerechten Verwertung oder Entsorgung zugeführt werden.

⁵⁹ Informations- und Kommunikationstechnologie

⁶⁰ Unterhaltungselektronik

- 1.3 Bei der Entfrachtung und Verarbeitung von Flüssigkristallanzeigen muss dafür gesorgt werden, dass die Schadstoffemissionen – insbesondere die Quecksilberemissionen – so niedrig gehalten werden, dass sich daraus weder eine Beeinträchtigung der Umwelt noch der Gesundheit der Mitarbeiter ergibt.

Richtlinie 3: Leuchtmittel

- 1.3 Recyclingbetriebe, welche Leuchtmittel entsorgen, verfügen über die technischen und organisatorischen Voraussetzungen um Leuchtmittel so zu behandeln, dass eine möglichst vollständige Rückgewinnung der schadstoffhaltigen Leuchtschicht und eine möglichst vollständige Verwertung der Leuchtmittelbestandteile erfolgen.
- 2.1 Die Arbeitsschritte und Anlagen zur Aufbereitung von Leuchtmitteln sind so auszulegen, dass die Emissionen von gas- und staubförmigem Quecksilber sowie anderer Schadstoffe aus der Leuchtschicht so niedrig wie möglich sind.
- 2.2 Die Anlagen sind mit geeigneten Rückhaltesystemen auszurüsten und so zu betreiben, dass die Funktionstüchtigkeit ständig überprüft werden kann.
- 2.3 Recyclingbetriebe müssen über Industriestaubsauger mit funktionstüchtigen Aktivkohlefiltern sowie verschließbare Gebinde für quecksilberhaltige Fraktionen und Leuchtmittelbruch verfügen.
- 2.4 Fraktionen die direkt oder über eine weitere Aufbereitung einer stofflichen Verwertung zugeführt werden, dürfen folgende Quecksilbertotalgehalte nicht überschreiten:
 - Glasfraktionen: 5 mg/kg TS
 - Metallfraktionen: 10 mg/kg TS
 - Andere Fraktionen: 10 mg/kg TS
- 4.1 Die Luftemissionen von Quecksilber aus Produktionsräumen und Anlagen mit Prozessabluft sind kontinuierlich zu überwachen, so dass erhöhte Emissionen durch Betriebsstörungen oder technische Defekte jederzeit erkannt werden können.
- 4.2 Es hat eine regelmäßige Kontrolle der Immissionen an den kritischen Arbeitsplätzen nach Maßgabe der Ergebnisse und Anordnung der arbeitsrechtlichen Vollzugsinstanzen zu erfolgen. Zusätzlich sind die Mitarbeiter an exponierten Arbeitsplätzen mindestens einmal pro Jahr medizinisch auf Quecksilberaufnahme und Exposition zu untersuchen.

Von der Schweizer EMPA wurden einige Vorschläge für eine Anpassung der technischen Vorschriften zur Entsorgung von Elektro- und Elektronikaltgeräten von SWICO und SENS gemacht (EMPA 2011). Die wichtigsten Elemente sind:

- Das Behandlungsverfahren muss einen wirksamen Rückhalt von Schadstoffen und eine möglichst hohe Verwertung von Wertstoffen gewährleisten.
- Für die Demontage wird konkret vorgeschlagen, dass zerbrochene Kaltkathodenfluoreszenzlampen separat und in geschlossenen Behältern aufzubewahren und zu transportieren sind. Bei der Befüllung der Behälter sind geeignete Schutzvorkehrungen zu treffen und die Behälter sind an dafür geeigneten Orten aufzubewahren.

Flachbildschirme – Standards für Sammlung, Transport und Behandlung von Flachbildschirmaltgeräten

- Eine mechanische Behandlung soll unter genau definierten Voraussetzungen zulässig sein.
- Konkret werden Hg-Grenzwerte in der Höhe von 5 mg/kg für Glasfraktionen zur Verwertung und von 10 mg/kg für Metalle und alle übrigen Fraktionen, die nicht in Sonderabfalldeponien gelangen, vorgeschlagen.
- Einschränkung der thermischen Verwertung
- Zulässig ist eine Verbrennung von Kunststoffen aus der Zerlegung von Flachbildschirmen, bzw. von LCD-Paneelen in Müllverbrennungsanlagen, jedoch nicht die Verbrennung von ganzen Flachbildschirmgeräten in MVAs.

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Vorgaben an eine umweltverträgliche Behandlung von EAG gemäß Abfallbehandlungspflichtenverordnung umfassen grundsätzlich die Entfernung von bestimmten Stoffen, Zubereitungen und Bauteilen so, dass eine Kontamination anderer Bauteile und der Umwelt ausgeschlossen wird und deren anschließende ordnungsgemäße Behandlung (§ 6). Weiters definiert die Verordnung unzulässige Behandlungen für bestimmte Bauteile. Gemäß § 13 (1) ist unbeschadet der Bestimmungen des § 12 Abs. 1 das Zerkleinern, wie z. B. 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.

Um eine umweltgerechte Behandlung von Flachbildschirmen sicherzustellen, sollten sowohl für die Demontage als auch für eine mechanische Behandlung Anforderungen definiert werden:

Um sicherzustellen, dass bei der Behandlung von Flachbildschirmen die Hg-Verluste in Wertstoffe und/oder in die Luft minimiert werden, sollte die allgemeine Forderung nach einer Minimierung von Emissionen bei der Behandlung von Hg-haltigen Bauteilen gemäß Abfallbehandlungspflichten-VO konkretisiert werden, beispielsweise wie nachfolgend angeführt:

- Bei der manuellen Demontage von LCD-Modulen ist eine **Arbeitsplatzabsaugung** mit entsprechender **Hg-Abscheidung** aus der abgesaugten Luft, erforderlich. Die Ausstattung der Arbeitsplätze muss gewährleisten, dass Hg-Emissionen aus dem Kapillarenbruch gefasst werden und dass der Kapillarenbruch direkt und unmittelbar aus dem Arbeitsbereich **in Hg-dichte Gebinde** eingebracht werden kann.

Vermeidung von Hg-Emissionen⁶¹

⁶¹ Entsprechend § 6 Abfallbehandlungspflichten-VO sind Flüssigkristallanzeigen (gegebenenfalls zusammen mit dem Gehäuse) mit einer Oberfläche von mehr als 100 cm² und hintergrundbeleuchtete Anzeigen mit Gasentladungslampen sowie quecksilberhaltige Bauteile, z. B. Schalter oder Lampen für Hintergrundbeleuchtung, so zu entfernen, dass Kontaminationen anderer Bauteile und der Umwelt ausgeschlossen werden, sowie ordnungsgemäß zu behandeln.

Gemäß § 7 (2) ist bei der Behandlung quecksilberhaltiger Bauteile ein Auftreten diffuser Quecksilberemissionen durch geeignete Maßnahmen zu vermeiden.

Nach § 12 (1) ist bei der Behandlung von Lampen und deren Fraktionen ein Auftreten von Hg- und Staubemissionen, einschließlich diffuser Emissionen, zu vermeiden. Das während des Behandlungsprozesses freiwerdende Quecksilber und die anfallenden Stäube sind abzuscheiden.

Gemäß § 5 der Abfallbehandlungspflichten-VO sind in den Behandlungsanlagen geeignete Behälter für die Lagerung von gefährlichen Abfällen bereitzustellen. Ein geeigneter Lagerbereich für demontierte Bau- und Geräteteile ist einzurichten.

Lampen sind gemäß § 4 (4) ausreichend gegen Bruch gesichert zu lagern und zu transportieren. Gebrochene Lampen und quecksilberhaltige Fraktionen aus der Behandlung von Lampen sind in quecksilberdampfdicht verschlossenen Gebinden mit ausreichendem Schutz zur Verhinderung von Quecksilber- und Staubemissionen zu lagern und zu transportieren.

- Mechanische Aufbereitungsverfahren sind **gekapselt** auszuführen, unter Unterdruck zu betreiben und die **Hg-Konzentrationen und/oder Frachten** in der Abluft sollten **begrenzt** werden.

*Ein Grenzwert in der Größenordnung von **0,02 bis 0,05 mg/Nm³** (vgl. Luftreinhalteverordnung Schweiz, TA-Luft,) würde grob geschätzt einem Verlust von maximal 4–10 % des eingebrachten Hg entsprechen.*

- Der Hg-Gehalt in den erhaltenen Wertstofffraktionen sollte mit **maximal 0,5 mg/kg** begrenzt werden. Der Grenzwert sollte bei mechanischen Verfahren im Materialstrom **unmittelbar nach dem Austritt** aus einer gekapselten Anlage eingehalten werden.

Eine Übernahme des Hg-Grenzwerts von 5 mg/kg für Wertstoff-Fraktionen aus der Behandlung von Lampen (wie in der Schweiz auch für Flachbildschirme vorgeschlagen) wäre nicht zielführend, da dieser bei einem Hg-Gehalt des Flachbildschirm-Inputs von 4 bis 8 mg/kg ohne nennenswerte Hg-Abreicherung erreicht werden könnte. Ein Grenzwert von 0,5 mg/kg würde einer Abreicherung um zumindest den Faktor 10 entsprechen. Der RoHS-Toleranzwert für den Hg-Gehalt in Werkstoffen in Elektro- und Elektronikgeräten beträgt 1.000 mg/kg.

Eine regelmäßige Überprüfung sollte sicherstellen, dass in Hinblick auf die temperaturabhängig veränderte Flüchtigkeit von Hg das Material ganzjährig ausreichend entfrachtet wird.

- Anlagen, welche sowohl zur Behandlung von Lampen als auch von Flachbildschirmen eingesetzt werden, sollen die beiden Abfallarten in **getrennten Chargen verarbeiten**.

Durch die um mindestens eine Größenordnung höheren Hg-Gehalte in Gasentladungslampen⁶² könnte es sonst zur Verschleppung von Quecksilber in Fraktionen aus den ursprünglich weniger belasteten Flachbildschirmen kommen.

Lagerung Hg-angereicherter Fraktionen

- Analog zu § 4 (4) Abfallbehandlungspflichtenverordnung, wonach gebrochene Lampen und quecksilberhaltige Fraktionen aus der Behandlung von Lampen in quecksilberdampfdicht verschlossenen Gebinden mit ausreichendem Schutz zur Verhinderung von Hg- und Staubemissionen zu lagern und zu transportieren sind, sollte dies auch für Hg-haltige Fraktionen aus der Behandlung von Flachbildschirmen angeführt werden.

- Die Lagerbehälter von Hg-reichen Fraktionen (Feinfraktionen aus der mechanischen Behandlung, gebrochene CCFL-Kapillaren) sollen **nicht der Hitze ausgesetzt** sein.

Einschränkung der Verwendung von LCD-Glas⁶³

LCD-Glas sollte – solange eine Reduktion des As-Gehalts nicht nachgewiesen ist – von bestimmten Verwendungen ausgeschlossen werden, um As-Emissionen in die Umwelt zu vermeiden.

⁶² Ca. 90 mg/kg

⁶³ Gemäß § 13 (7) ist eine stoffliche Verwertung von Flüssigkristallanzeigen mit Gasentladungslampen nicht zulässig.

- Analog zu §13 (3) Abfallbehandlungspflichtenverordnung, wonach die Verwendung von bleihaltigen Glasfraktionen aus der Behandlung von EAG als Schleifmittel oder in der Baustoffindustrie zur Herstellung von Baustoffen und als Bauzuschlagstoff oder in der keramischen Industrie oder bei der Schaumglasherstellung unzulässig ist, sollte das Verwenden von As-haltigen bzw. LCD-Glasfraktionen für diese Anwendungen verboten werden.

Flachbildschirmgeräte und Bildröhrengeräte werden unterschiedlichen Behandlungsverfahren zugeführt und müssen vor der Behandlung meist separiert werden. Sammlung und Transport von Flachbildschirmgeräten gemeinsam mit anderen Geräteearten führt zu einem erhöhten Beschädigungsrisiko. Vorteilhaft wäre daher:

- Die separate Sammlung von Flachbildschirmgeräten (inklusive Laptops) und Röhrengeräten vorzusehen.
- Die Sammlung von (Flach)bildschirmgeräten in loser Schüttung sollte vermieden werden.

Zum Teil sind die mit den derzeit verfügbaren, mechanischen Behandlungsverfahren tatsächlich erreichbaren Verwertungsquoten nicht genau bekannt. Die bis längstens 3 Jahre nach Inkrafttreten der neuen WEEE-RL gültige Verwertungsquote von 75 % scheint knapp erreichbar. Um die zukünftig geforderte Quote von 80 % erreichen zu können, sind entweder Verwertungsverfahren für die LCD-Anzeigen (ca. 8–9 % des Gesamtgewichts) erforderlich bzw. muss der Anteil der zu beseitigenden Hg-angereicherten Fraktionen reduziert werden.

Bei der Behandlung von Plasmageräten muss um die geforderte Quote zu erreichen, aufgrund des hohen Glasanteils – auch Glas der Plasmanzeige stofflich verwertet werden.

Die in der Abfallbehandlungspflichtenverordnung geforderte Schadstoffentfrachtung umfasst auch die Entnahme von Elektrolytkondensatoren > 2,5 cm und von Leiterplatten > 10 cm², so, dass Kontaminationen ausgeschlossen sind. Zu Verbleib und Verhalten der in Leiterplatten enthaltenen Schadstoffe bei den tatsächlich angewandten Aufbereitungs-/Verwertungsverfahren (mechanische Aufbereitung, Verbrennung, Einsatz in Sekundärmetallhütten) liegen nur wenige Informationen vor. Diese wären erforderlich, um bewerten zu können, inwieweit es durch das gemeinsame Shreddern der Leiterplatten – sofern sie keine Kondensatoren der genannten Größe enthalten – mit dem Rest der Flachbildschirmgeräte im Vergleich zu einer vorgeschalteten Entnahme der Leiterplatten aus Umweltsicht zu relevanten Nachteilen kommt.

Sammlung⁶⁴ und Transport⁶⁵ von Flachbildschirmgeräten

Verwertungsquoten

offene Fragen

⁶⁴ Gemäß Anhang 3 der EAG-VO umfasst die Sammel- und Behandlungskategorie Bildschirmgeräte sowohl Geräte mit Kathodenstrahlröhre, als auch LCD- und Plasmamonitore).

Laptops wurden nach Inkrafttreten der EAG-VO zunächst der Sammel- und Behandlungskategorie Elektrokleingeräte zugeordnet. In der aktuell gültigen Geräteliste (BMLFUW, Stand Jänner 2011) wurde bereits die Zuordnung zu Bildschirmgeräten getroffen.

⁶⁵ Nach § 4 (2) der Abfallbehandlungspflichten-VO ist sicherzustellen, dass bei Lagerung und Transport Beschädigungen, die ein Entweichen von gefährlichen Stoffen nach sich ziehen können, vermieden werden. EAG sind so zu lagern und zu transportieren, dass eine nachfolgende Zerlegung oder eine stoffliche Verwertung nicht erschwert oder unmöglich gemacht werden.

Flachbildschirme – Schlussfolgerungen

In Hinblick auf Emissionen in die Luft kann – aufgrund der gekapselten Ausführung der Anlagen zur mechanischen Behandlung von Flachbildschirmen – zumindest im Vergleich mit einer mechanischen Aufbereitung von ausgebauten Leiterplatten davon ausgegangen werden, dass kein wesentlicher Nachteil entsteht.

7 REFERENZEN

- AEA (2006): WEEE & Hazardous Waste, Part II, Report number: AEAT/ENV/R/2233.
- ANGERER, G.; ERDMANN, L.; MARSCHIEDER-WEIDEMANN, F.; SCHARP, M.; LÜLLMANN, A.; HANDKE, V. & MARWEDE, M. (2009): Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Fraunhofer IRB Verlag.
- BAUDIN, I. (2006): Analyse du cycle de vie d'un écran plasma. Diplomarbeit. Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud. St. Gallen.
- CAMAROTO, C. (2009). LED Backlight Shipments Skyrocket as CCFLs and EEFLs Lose Ground.
- EAK ELEKTROALTGERÄTE KOORDINIERUNGSSTELLE AUSTRIA (2011): Tätigkeitsbericht 2010.
- EMPA (2008): PCB in Kleinkondensatoren aus Elektro- und Elektronikgeräten. Schlussbericht.
http://www.sens.ch/global/pdf/marktplatz/080919_PCB_in_Kondensatoren_d.pdf
- EMPA (2011): Böni, H. & Widmer, R., Entsorgung von Flachbildschirmen in der Schweiz. Schlussbericht.
http://www.swicorecycling.ch/downloads/497/343887/swico_schlussbericht_d_300dpi.pdf
- EMPA (2011b): persönliche Mitteilung H. Böni.
- FLOYD, P.; ZAROGIANNIS, P.; CRANE, M.; TARKOWSKI, S.; BENCKO, V. (2002): Risks to Health and the Environment Related to the Use of Mercury Products. Final Report prepared for the European Commission, DG Enterprise.
- HESSLER (2011): Hg-Dampf-Austrittskonzentrationsverläufe bei Bruch von Kapillare, persönliche Mitteilung.
- HISCHIER, R. & BAUDIN, I. (2010): LCA-Study of a plasma television device. International Journal of Life Cycle Assessment 15: 428-438.
- HUG, E.; RENNER, N. (2010): Erhebung von Quecksilberkonzentrationen in Fraktionen der Leuchtmittelverarbeitung unter Berücksichtigung von Aspekten zur Probenahme und Analytik.
- IUTA - INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTECHNIK (2011): Blauth et al.: Handbuch: Verwertung von LCD-Geräten.
http://www.veu.de/files/16040_n_handbuch_lcd.pdf
- IUTA - INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTECHNIK (2011): Metallurgische Rückgewinnung von Indium, Gallium und Germanium aus Elektronikschrott und Entwicklung von Aufbereitungsmethoden für die Verwertungsindustrie. Abschlussbericht IFG 16040 N http://www.veu.de/files/abschlussbericht_16040_n.pdf
- KIM, H.-J.; KERNBAUM, S.; SELIGER, G. (2008): Emulation-based control of a disassembly system for LCD monitors.
- KRUKENBERG, N. (2010): Challenges and conditions in the collection, transport and treatment chain of LCD displays. Presentation at IERC Salzburg.

Flachbildschirme – Referenzen

- LASSEN, C.; HOLT ANDERSEN, B.; MAAG, J. & MAXSON, P. (2008): Options for reducing mercury use in products and applications, and the fate of mercury already circulating in society. Final Report. European Commission, DG Environment. ENV.G.2/ETU/2007/0021.
- LEE, S.-J. & COOPER, J. (2008): Estimating Regional Material Flows for LCDs. Proceedings of the IEEE International Symposium on Electronics and the Environment ISEE.
- LOACKER (2011): persönliche Mitteilung Hr. Engler.
- MERCK (2004): Möglichkeiten der Verwertung von LCDs. Präsentation, Präsentation auf der Generalversammlung des Fachverbandes VREG Recycling.
- MORF, L. (2008): Routinemäßiges Stoffflussmonitoring auf der MVA Spittelau. Bericht für die Messperiode 1.5.05–30.4.07.
- SALHOFER, S.; SPITZBART, M.; SCHÖPS, D.; MESKERS, C.E.M.; KRIEGL, M.; PANOWITZ, G. (2009): Verfahrensvergleich zur Gewinnung von Wertstoffen aus Elektroaltgeräten. In: Bilitewski, Werner, Janz (Hrsg.): Tagungsband zur Fachtagung „Brennpunkt ElektroG, Umsetzung – Defizite – Notwendigkeiten“. Beiträge zu Abfallwirtschaft/ Altlasten, Band 62, 23–29.
- SALHOFER, S. (2011): persönliche Mitteilung.
- SALHOFER, S.; SPITZBART, M. & MAURER, K. (2012): Recycling of flat screens as a new challenge. *Waste and Resource Management* 165 (1), 37–34.
- SCHIAMANN, J. (2011): persönliche Mitteilung
- SKUTAN, S. & P. H. BRUNNER (2006): Stoffbilanzen mechanisch-biologischer Anlagen zur Behandlung von Restmüll (Projekt SEMBA).
- TAVERNA, R. (2011): Routinemäßiges Stoffflussmonitoring auf der MVA Spittelau. Messperiode 1.5.09–30.4.10. Endbericht.
- TAVERNA, R.; FRÜHWIRTH, W. & SKUTAN, S. (2010): Produktbezogene Stoffflussanalyse von Abfällen in der Wiener Restmüllanalyse.
- TROFFOLET, R. (2011): persönliche Mitteilung.
- VÖLKER, M. (2011): Chemische Zusammensetzung von LCD-Glas. Persönliche Mitteilung.
- WÄGER, P.; SCHLUEP, M. & MÜLLER, E. (2010): RoHS Substances in Mixed Plastics from Waste Electrical and Electronic Equipment. Final Report.
- WRAP (2009): Demonstration of Flat Panel Display recycling technologies. Final Report. http://www.wrap.org.uk/downloads/Flat_Panel_Display_recycling_technology_report.b20a22f2.9820.pdf
- WRAP (2010): The location and character of mercury in waste LCD backlights. Final Report. http://www.wrap.org.uk/downloads/Mercury_in_waste_LCD_backlights_summary_research_report.f0a3d7ed.11115.pdf

Rechtsnormen und Leitlinien

- Abfallbehandlungspflichtenverordnung (BGBl. II Nr. 459/2004 i.d.F. BGBl. II Nr. 363/2006): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Behandlungspflichten von Abfällen.
- WEEE-Richtlinie (2002/96/EG): Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates über Elektro- und Elektronikaltgeräte.
- RoHS-Richtlinie (2002/95/EG): Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates über die Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten.
- TA Luft, Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft), Gemeinsamen Ministerialblatt vom 30. Juli 2002 (GMBL. 2002, Heft 25–29, S. 511–605).
- WEEELABEX normative document on Treatment V9.0 (Stand 2. Mai 2011). Weeeforum.
- Deponieverordnung (BGBl. II Nr. 39/2008, idF BGBl. II Nr. 178/2010): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien.
- Grenzwertverordnung (BGBl. II Nr. 253/2001, zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 243/2007): Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit über Grenzwerte für Arbeitsstoffe und über krebserzeugende Arbeitsstoffe.
- LAGA (2009): Mitteilung der Bund Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 31: Anforderungen zur Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten.
- Entscheidung über Abfallannahmekriterien auf Deponien (2003/33/EG): Entscheidung des Rates zur Festlegung von Kriterien und Verfahren für die Annahme von Abfällen auf Abfalldeponien gemäß Artikel 16 und Anhang II der Richtlinie 1999/31/EG.
- Swico/SENS (2009): Technische Vorschriften zur Entsorgung von Elektro- und Elektronikaltgeräten.

8 ABKÜRZUNGEN

ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol
CCFL.....	Cold Cathode Fluorescence Lamps
Deca-BDE	Decabromodiphenylether
EAG	Elektro(nik)altgeräte
EEG	Elektro- und Elektronikgeräte
EKG	Elektrokleingeräte
ELKO	Elektrolytkondensator
FSM	Flammschutzmittel
LCD.....	Liquid Cristal Display
NE	Nichteisen
Octa-BDE	Octabromodiphenylether
PBB	polybromierte Biphenyle
PBDE	polybromierte Diphenylether
PC	Polycarbonat
PCB.....	polychlorierte Biphenyle
Penta-BDE	Pentabromodiphenylether
PMMA	Polymethylmetacrylat (Acrylglas, Plexiglas)
POM.....	Polyoxymethylen
Tetra-BDE	Tetrabromodiphenylether
TFT	thin-film-transistor
Tri-BDE	Tribromodiphenylether
WEEE	w aste e lectrical and e lectronic e quipment

9 ANNEX

9.1 Zuordnung von Gerätearten gemäß EAG-Geräteliste (BMLFUW, Stand Jänner 2011)

Folgende Flachbildschirm-Gerätearten werden in der Sammel- und Behandlungskategorie Bildschirm- inklusive Bildröhrengeräte erfasst:

- Flachbildschirme (TV-Geräte) (TFT, LCD, Plasma),
- Flachbildschirme EDV,
- Laptops, Notebooks, Tablet PCs,
- Touch-Screen Monitore.

Folgende Flachbildschirm-Gerätearten werden in der Sammel- und Behandlungskategorie Großgeräte erfasst:

- Bildschirme (groß, für Außeneinsatz).

Folgende Flachbildschirm-Gerätearten werden in der Sammel- und Behandlungskategorie Groß- oder Kleingeräte erfasst:

- Lerncomputer mit Flachbildschirm,
- Bildschirme für Industrieanlagen, die als eigenständige Geräte in Verkehr gesetzt werden.

Darüber hinaus können LCD-Displays in diversen Gerätearten anderer S&B-Kategorien enthalten sein.

Tabelle 14: Gerätearten mit LCDs, die nicht unter Bildschirmgeräte fallen (Quelle, EAG-Geräteliste, BMLFUW, Jan. 2011).

EAG-Verordnung				
	An- merkung	Geräteklasse WEEE	S&B Kategorie	Gewerb- lich
Überwachungsmonitore		Überwachungs- u. Kontrollinstrumente	Bildschirmgeräte	nein
Bildschirme (groß, für den Außeneinsatz)		IT&T	Großgeräte	ja
Lerncomputer mit Flachbildschirm		Spiel & Sport	Kleingeräte, Großgeräte	nein
Bildschirme für Industrieanlagen, die als eigenständige Geräte in Verkehr gesetzt werden		IT&T	Kleingeräte, Großgeräte	ja
NICHT EAG-Verordnung				
Bildschirme für Schaltschränke	Teil eines Gerätes			

9.2 Zusammensetzung von LCD-Glas

Tabelle 15: Chemische Zusammensetzung von LCD-Glas (Quelle: VÖLKER 2011)

Gew%	Mittel	Median	min	max	SD
SiO ₂	58,26	57,72	56,29	61,67	1,82
Al ₂ O ₃	14,81	15,06	14,01	15,23	0,49
Fe ₂ O ₃	0,17	0,08	0,06	0,70	0,22
TiO ₂	0,01	0,01	0,01	0,05	0,01
CaO	5,37	5,08	4,34	6,85	0,94
B ₂ O ₃	9,02	8,77	7,73	12,07	1,32
MgO	0,80	0,78	0,47	1,11	0,23
ZnO	0,05	0,04	0,01	0,17	0,05
BaO	4,20	5,09	0,18	7,76	3,23
SrO	2,66	2,59	1,55	3,85	0,89
As ₂ O ₃	0,70	0,76	0,36	0,87	0,18
ZrO ₂	0,05	0,04	0,01	0,10	0,03
In ₂ O ₃	0,03	0,02	0,02	0,05	0,01
SrO ₂	0,03	0,03	0,01	0,09	0,03
P ₂ O ₃	0,04	0,04	0,03	0,08	0,02
GeO ₂	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
N ₂ O	0,18	0,18	0,13	0,21	0,03
K ₂ O	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01
SO ₂	0,07	0,05	0,02	0,15	0,04

9.1 Zusammensetzung von Plasma-Paneelen

Tabelle 16: Bestandteile eines Plasmapaneels eines 42“ Plasma-TV-Geräts (in %)
(Quelle: BAUDIN, 2006).

Komponente/Material	Anteil %
Frontglas	50,85
Rückglas	46,12
Gase (Xe, Ne)	0,0045
Dielektrische Schicht (PbO haltiges Glas)	0,97
Trennbarrieren (PbO haltiges Glas)	1,34
Magnesiumoxidschicht	0,01
Elektrode: Cu	0,01
Display-Elektrode: ITO	0,0012
Bus, Ag	0,11
Black matrix + Black Bus (Carbon,Cr-Oxid)	0,02
Silicon	0,32
Leiterplatte Cu	0,12
Leiterplatte Epoxydharz/Acrylatharz	0,12
Leuchtmittel	0,0000000037

9.2 Durch österreichische Anlagen übernommene und behandelte Mengen an Bildschirmgeräten

Tabelle 17 zeigt durch die österreichischen Anlagen übernommenen und behandelten Mengen an Bildschirmgeräten.

Tabelle 17: Übernommene und behandelte Mengen an Bildschirmgeräten in Österreich 2009 bis 2010 (in t) (Quelle: Telefonrecherche des Umweltbundesamt, 2011).

Nr.	Betreiber	übernommene Mengen (t)		behandelte Mengen (t)	
		2009	2010	2009	2010
1	Abfallwirtschaftsverband (AWV) Feldbach	193	193	193	193
2	AVE Österreich GmbH, Standort Timelkam	3.208	3.040	3.208	3.040
3	BAN – Sozialökonomische BetriebsgmbH	5*	5*	k.A.	k.A.
4	BEST Beschäftigungsges.m.b.H (E-Schrott-Taxi)	55	58	55	58
5	Burgenländisches Schulungszentrum BUZ	416	436	416	436
6	Loacker Recycling GmbH	853	856	853	856
8	Salzburger Metall & Kabelverwertungs-Ges.m.b.H. (S-M-K)	1.116	1.181	1.116	1.181
9	Saubermacher Dienstleistungs AG (Standort Unterpemstätten)	4.330	4.232	4.330	4.232
10	Saubermacher Dienstleistungs AG (Standort Wien)				
11	Stena Technoworld GmbH	5.048	4.773	5.048	4.773
12	Tiroler Schredder Ges.m.b.H. (TSG)	822	975	694	850
13	Verbund Umwelttechnik GmbH St. Andrä	1.052	1.055	1.052	1.055
14	Verwertungsinitiative Sperrmüll GmbH (VISP)	1.439	1.345	1.350	1.407
15	Volkshilfe Basar GmbH Steyr	472**	296**	472	296
16	Wildauer Transporte Erdbewegungen GmbH	798	808	798	808
		19.334	18.957	19.112	18.889

9.3 In Verkehr gesetzte und gesammelte Bildschirmgeräte in Österreich

Tabelle 18: In Verkehr gesetzte Flachbildschirmgeräte in Österreich 2005 bis 2008 (in Stück und kg) (Quelle: SALHOFER, 2011)

Jahr	TV-Geräte	PC-Monitore	Laptops	Image-Frames	SUMME
Stk					
2005	140.000	380.000	220.000		740.000
2006	230.000	390.000	240.000		860.000
2007	460.000	400.000	300.000	20.000	1.180.000
2008	640.000	420.000	430.000	50.000	1.540.000
t					
2005	2.156	1.976	440		4.572
2006	3.542	2.028	480		6.050
2007	7.084	2.080	600	4	9.768
2008	9.856	2.184	860	10	12.910
Annahme Durchschnittsgewicht (kg)	15,4	5,2	2	0,2	

Tabelle 19: In Verkehr gesetzte Massen an Bildschirmgeräten in Österreich 2007 bis 2009 (in kg) (Quellen: EAK 2008 bis 2011).

Bestimmung	2007	2008	2009	2010
Haushaltsgeräte	20.291.994	20.042.822,10	19.254.703	19.391.946
Gewerbegeräte	66.842	87.282,38	61.485	89.173
Total	20.358.836	20.130.104,48	19.316.188	19.481.119

Tabelle 20: Sammelmassen Bildschirmgeräte in Österreich 2007 bis 2009 (in kg) (Quellen: EAK 2008 bis 2011).

Herkunft	2007	2008	2009	2010
Haushalte	14.999.223	15.087.194	19.010.740	18.424.615
Gewerbe	1.052.420	1.303.912	8.140	312.693
Haushalt + Gewerbe	16.051.643	16.391.106	19.018.880	18.737.308

9.3.1 In Verkehr gesetzte Flachbildschirmgeräte in der Schweiz

Tabelle 21: In-Verkehr-gesetzte Flachbildschirmgeräte in der Schweiz 2006 und 2008 (in Stück und kg) (Quelle: EMPA 2011).

Jahr	TV-Geräte	PC-Monitore	Laptops	SUMME
Stk				
2002	10.000	540.000	322.000	872.000
2004	107.000	780.000	518.000	1.405.000
2006	414.000	755.000	649.000	1.818.000
2008	648.000	762.000	994.000	2.404.000
t				
2002	154	2.808	644	3.606
2004	1.648	4.056	1.036	6.740
2006	6.376	3.926	1.298	11.600
2008	9.979	3.962	1.988	15.929
Annahme Durchschnitts- gewicht (kg)	15,4	5,2	2	

Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04

Fax: +43-(0)1-313 04/5400

office@umweltbundesamt.at

www.umweltbundesamt.at

Ab 2015 ist in Österreich mit einem steigenden Aufkommen an Flachbildschirm-Altgeräten zu rechnen. Flachbildschirme weisen einen hohen Gehalt an Wertstoffen wie Aluminium, Kunststoffe und elektronische Bauteile auf. Das in Displays enthaltene Indium ist ein wichtiges Technologiemetall. Flachbildschirme enthalten auch Schadstoffe, insbesondere leicht freisetzbare Quecksilber.

Der vorliegende Report gibt einen Überblick über den Status quo der Sammlung und Behandlung in Österreich, über in Europa angewandte Behandlungsverfahren und über Behandlungsoptionen für bestimmte Bauteile. Für die umweltgerechte Behandlung von Flachbildschirmen sind im Report Mindestanforderungen formuliert, die auf Basis der Umweltauswirkungen der Behandlung und unter Berücksichtigung bestehender Standards in anderen europäischen Ländern abgeleitet wurden.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Publikationen des Umweltbundesamtes, Wien](#)

Jahr/Year: 2012

Band/Volume: [REP_384](#)

Autor(en)/Author(s): Tesar Maria, Öhlinger Andreas

Artikel/Article: [Flachbildschirmaltgeräte. Anforderungen an die Behandlung und Status in Österreich. 1-70](#)