

Recycling von LCD-Bildschirmgeräten

Hannes Fröhlich

1.	Aufbau und Funktion von LCD-Bildschirmgeräten	313
2.	Mengenaufkommen, Sammlung und Erfassung von LCD-Bildschirmgeräten	315
3.	Zerlegung von LCD-Bildschirmgeräten	319
4.	Quecksilber in LCD-Bildschirmgeräten	322
5.	Aufbereitung der Zerlegefraktionen.....	323
6.	Ausblick.....	324

Die Anzahl der in Verkehr gebrachten LCD-Bildschirmgeräte im IT- und TV-Sektor ist in den letzten Jahren deutlich gestiegen. Dies führt wiederum zu einem Anstieg der zu entsorgenden Geräteart in den kommenden Jahren. Trotz des zu erwartenden Altgeräterücklaufs existiert derzeit noch kein industriell eingesetztes Recyclingverfahren, das speziell auf die Anforderungen dieser Geräteart angepasst ist.

In LCD-Bildschirmgeräten sind eine Vielzahl von wichtigen Standardrohstoffen, wie Eisen, Kupfer, Aluminium und Kunststoff, sowie ein geringer Anteil an strategisch relevanten Sondermetallen eingesetzt, hier ist insbesondere das in der bildgebenden Einheit verwendete Indium von Bedeutung.

Im Rahmen des Forschungsprojektes *In Access*, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), wird ein *ressourceneffizienter und wirtschaftlicher Recyclingprozess für LCD-Bildschirmgeräte unter besonderer Berücksichtigung der Rückgewinnung des Indium-Inhalts* entwickelt. Die Verbundpartner sind, Electrocycling GmbH, Umicore AG & Co. KG (Umicore), ENE EcologyNet Europe GmbH (ENE) und TU Clausthal, Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik (IFAD).

In diesem Beitrag wird das Gesamtvorhaben erläutert, wobei die Projektschwerpunkte von Electrocycling detaillierter dargestellt werden. Diese beinhalten Sammel-, Transport- und Betriebslogistik sowie die manuelle und mechanische Behandlung der LCD-Bildschirmgeräte.

1. Aufbau und Funktion von LCD-Bildschirmgeräten

Der funktionale Aufbau von LCD-Bildschirmgeräten ist bei allen Gerätetypen gleich. Die Hauptkomponente eines LCD-Bildschirmgerätes ist das LCD-Panel (Liquid Cristal Display). Dieses ist die bildgebende Einheit und besteht aus schichtweise angeordneten

Komponenten. Diese sind zwei dünne, auf der Innenseite mit ITO-Leiterbahnen (Indium-Zinn-Oxid) bedampfte Glasscheiben, zwischen denen sich die Flüssigkristalle befinden, an den Außenseiten befinden sich Polarisationsfolien. Als Beleuchtung dienen LED (light-emitting-diode) oder quecksilberhaltige Leuchtstofflampen, zusätzliche optische Elemente wie z.B. Streuscheiben sind im Panel verbaut. Die einzelnen Bestandteile des LCD-Panels werden durch einen Kunststoff- und Stahlblechrahmen zusammen gehalten.

Zusätzlich zum LCD-Panel enthalten LCD-Bildschirmgeräte mehrere elektronische Baugruppen, die mit Hilfe eines weiteren Stahlblechrahmens mit dem Panel verbunden sind. Alle Bauteile eines LCD-Bildschirmgerätes sind in einem Kunststoffgehäuse untergebracht, welches meist mit einem Geräte-Standfuß versehen ist.

Der grundsätzliche technische Aufbau von LCD-Bildschirmgeräten variiert zwischen zwei Bauarten. Hierbei kann zwischen Geräten mit seitlicher und mit flächiger Hintergrundbeleuchtung unterschieden werden. Die seitliche Hintergrundbeleuchtung findet man in der Regel bei kleinen LCD-Bildschirmgeräten bis zu einer Bildschirmdiagonale von 19 Zoll, teilweise bis 21 Zoll. Ältere Geräte mit Hg-haltiger Hintergrundbeleuchtung mit einer Bilddiagonale von mehr als 19 Zoll weisen in der Regel eine flächige Hintergrundbeleuchtung auf. Bei neueren großen Geräten mit LED-Hintergrundbeleuchtung (light-emitting-diode) ist diese in den meisten Fällen ebenfalls seitlich angeordnet. In diesem Beitrag wird ein Zerlegeverfahren für die derzeit und in den nächsten Jahren vorrangig zu verwertenden Geräte mit Hg-haltiger Hintergrundbeleuchtung beschrieben. Die neueren LED-beleuchteten Geräte lassen sich ebenfalls mit der vorgestellten Technik verarbeiten. Vorteilhaft für das Recycling ist, dass für diese Geräte eine Hg-Erfassung nicht mehr erforderlich ist. In Bild 1 sind die beiden Bauarten mit Hg-haltiger Hintergrundbeleuchtung dargestellt.



Bild 1: Bauarten von LCD-Bildschirmgeräten mit quecksilberhaltiger Hintergrundbeleuchtung

Materialzusammensetzung von LCD-Bildschirmgeräten

LCD-Bildschirmgeräte setzen sich aus einer Vielzahl von Rohstoffen zusammen. Die wesentlichen sind Fe-Metalle, NE-Metalle, diverse Kunststoffe, Glas sowie in geringen Mengen das seltene Sondermetall Indium.

In Tabelle 1 ist die Zusammensetzung von LCD-Bildschirmgeräten in Massenprozent für LCD-Bildschirmgeräte mit seitlicher und mit flächiger Hintergrundbeleuchtung dargestellt.

	LCD-Geräte (seitliche Beleuchtung)	LCD-Geräte (flächige Beleuchtung)
	Anteil %	
Fe-Metalle	29,35	46,50
Kunststoffe	17,81	23,00
Leiterplatte-Netzteil	4,61	4,35
Leiterplatte-Anschluss	2,61	3,04
Leiterplatte-Bildeinheit	0,49	1,35
Hintergrundbeleuchtung	0,31	0,93
LCD-Anzeige (Folien)	13,26	5,82
LCD-Anzeige (bildgebende Einheit)	6,42	6,15
Fuß	24,19	6,97
Kabel	0,95	1,88
Summe	100,00	100,00

Tabelle 1:

Massenverteilung von
LCD-Bildschirmgeräten

Schadstoffhaltige Bauteile

In den älteren LCD-Bildschirmgeräten sind CCFL (cold cathode fluorescent lamp) als Hintergrundbeleuchtungen verbaut, die Quecksilber enthalten. Bei der Behandlung dieser Geräte muss sichergestellt werden, dass diese Hintergrundbeleuchtung so entfernt wird, dass eine Freisetzung von Quecksilber ausgeschlossen ist.

In LCD-Bildschirmgeräten neuerer Generation werden quecksilberfreie LED-Hintergrundbeleuchtungen verbaut. Somit enthalten diese Geräte keine gesondert zu entfernenden Schadstoffe.

2. Mengenaufkommen, Sammlung und Erfassung von LCD-Bildschirmgeräten

Für die Entwicklung eines ressourceneffizienten und wirtschaftlichen Recyclingprozesses für LCD-Bildschirmgeräte ist es zunächst wichtig eine belastbare Aussage über das zukünftige Mengenaufkommen an Elektroaltgeräten dieser Gruppe zu erlangen. Hierzu wurde im Rahmen des Forschungsprojektes *In Access* eine Studie *Daten und Prognosen zum Lebenszyklus von LCD-Bildschirmgeräten* in Auftrag gegeben.

Dieser Studie zur Folge sind die Mengen an in Verkehr gebrachten LCD-Bildschirmgeräte im IT- und TV-Sektor in den letzten Jahren deutlich gestiegen. Die derzeit zum Recycling zurücklaufende Generation an LCD-Bildschirmgeräten (Geräte mit Hg-Hintergrundbeleuchtung) befindet sich bereits seit einigen Jahren nahezu nicht mehr im Handel. Das Verkaufshoch dieser Gerätegeneration lag um das Jahr 2008 bis 2010.

Für das Altgeräterecycling ist im Bereich der LCD-Monitorgeräte mit einer maximalen Rücklaufmenge von 3,05 Millionen für das Jahr 2016 zu rechnen. Nach Erreichen dieses Maximalwertes verringert sich das Recyclingaufkommen bis zum Jahr 2020 auf 2,9 Millionen Geräte pro Jahr. Die Recyclingmengen wurden ab dem Jahr 2000 dargestellt und entwickeln sich analog zu den Verkaufszahlen. Bild 2 stellt die prognostizierten Rücklaufmengen für Monitorgeräte dar. Die Prognose basiert auf einem ermittelten Durchschnittsalter für Monitorgeräte von 8 Jahren.

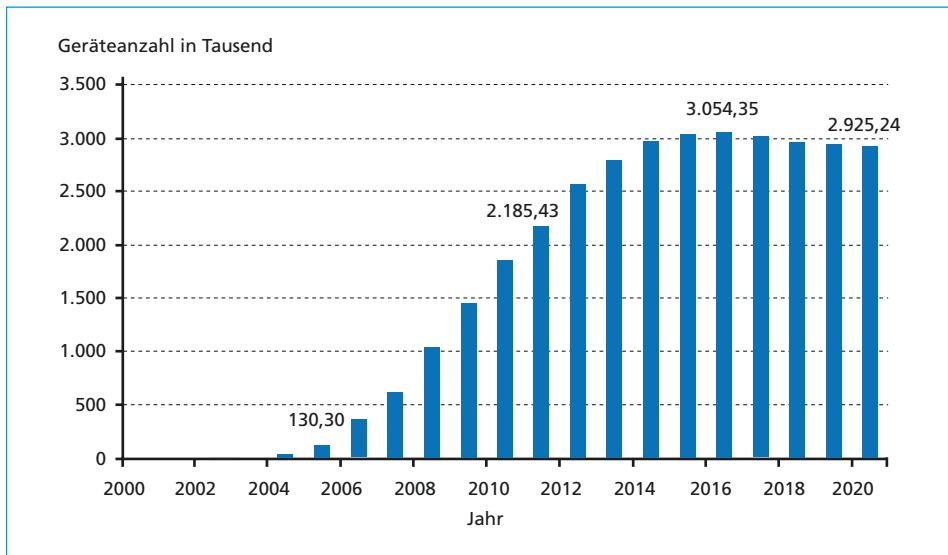


Bild 2: Entwicklung des Recyclingaufkommens an LCD-Monitor Geräten

Im Bereich der LCD-Fernsehgeräte ist bei einer Nutzungsdauer von 10 Jahren mit einer Rücklaufmenge von 8,2 Millionen Geräten für das Jahr 2020 zu rechnen (Bild 3). Das Durchschnittsalter der entsorgten TV-Geräte von 10 Jahren wurde im Rahmen eines Pilottests als derzeit realistisch ermittelt.

Um ein effektives und umweltgerechtes Recycling von LCD-Bildschirmgeräten zu ermöglichen, ist ein flächendeckendes Sammel- und Erfassungssystem notwendig. Durch dieses Sammel- und Erfassungssystem muss ein zerstörungsfreier Transport bis zur Erstbehandlungsanlage gewährleistet werden, um eine diffuse, unkontrollierbare Freisetzung von Quecksilber zu vermeiden. Momentan werden LCD-Bildschirmgeräte an kommunalen Sammelstellen in min. 30 m³ Containern als Sammelgruppe 3 zusammen mit anderen Geräten erfasst. Hierbei werden die Bildschirmgeräte häufig beschädigt was einerseits die Freisetzung von Quecksilber zur Folge hat und andererseits die Möglichkeit einer fachgerechten Aufbereitung der Geräte erheblich erschwert.

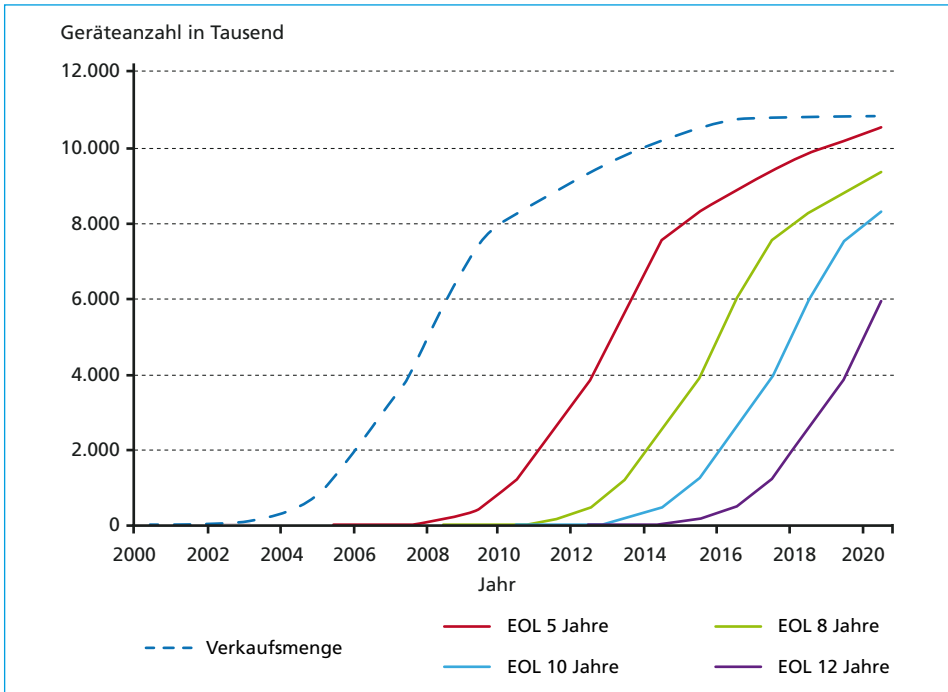


Bild 3: Entwicklung des Recyclingaufkommens an LCD-TV Geräten

In Zusammenarbeit mit einem öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE) wird im Rahmen von *In Access* ein neues Sammel- und Erfassungssystem für LCD-Flachbildschirme entwickelt und an über zwanzig kommunalen Sammelstellen erprobt. Bei diesem System werden spezielle Sammelbehälter eingesetzt, in denen die Bildschirmgeräte aufrecht gelagert werden, wodurch eine Zerstörung der Geräte weitgehend ausgeschlossen wird. Zudem wird durch die aufrechte Lagerung der Bildschirmgeräte eine bestmögliche Behälterausnutzung erreicht (Bild 4).



Bild 4:

Befüllter Sammelbehälter für LCD-Bildschirmgeräte

Helfen Sie mit!

LCD-Flachbildfernseher enthalten seltene Metalle wie Indium aber auch gefährliche Stoffe wie Quecksilber.

Für das Recycling ist das zerstörungsfreie Sammeln wichtig.

Bitte legen Sie die Geräte möglichst geordnet in die Box und helfen damit unsere Umwelt zu schonen.



kleine Flachbildschirmgeräte



große Flachbildschirmgeräte (größer 19")

Forschungsprojekt *InAccess*

Weiterführend wird bei der Sammlung in *kleine* Geräte mit seitlicher Hintergrundbeleuchtung und *große* Geräte mit flächiger Hintergrundbeleuchtung unterschieden. Dadurch soll eine Sortierung vor der späteren Aufbereitung der LCD-Bildschirmgeräte entfallen. Es wird untersucht ob die Sortierung vor Ort auf den Sammelstellen durch die Bürger direkt bei der Abgabe der Altgeräte erfolgreich durchgeführt werden kann. Hierzu wurden Infopлакate (Bild 5) entworfen, welche dem Bürger auf einfache Art und Weise erläutern, wie die Geräte dem richtigen Sammelbehälter zuzuordnen und bruchfrei einzuladen sind.

Bild 5: Infopлакate zur kommunalen Sammlung von LCD-Bildschirmgeräten

Aktuell ist eine Revision des ElektroG in Arbeit, im Referentenentwurf wurden dazu die Sammelgruppen für Elektroaltgeräte geändert. Zukünftig soll es sechs statt bisher fünf Sammelgruppen geben. Diese sind:

- Gruppe 1: Haushaltsgroßgeräte, automatische Ausgabegeräte,
- Gruppe 2: Kühlgeräte, ölfüllte Radiatoren,
- Gruppe 3: Bildschirme, Monitore und TV-Geräte,
- Gruppe 4: Lampen,
- Gruppe 5: Haushaltskleingeräte, Informations- und Telekommunikationsgeräte, Geräte der Unterhaltungselektronik, Leuchten und sonstige Beleuchtungskörper, elektrische und elektronische Werkzeuge, Spielzeuge, Sport- und Freizeitgeräte, Medizinprodukte, Überwachungs- und Kontrollinstrumente und
- Gruppe 6: Photovoltaikmodule

Mit der neuen Sammelgruppe 3 würde somit eine getrennte Sammlung und Erfassung von Bildschirmgeräten gesetzlich festgelegt, was wiederum eine fachgerechte Behandlung von LCD-Bildschirmgeräten erleichtert.

Außerdem wird in dem neuen Gesetzesentwurf festgelegt, dass die Sammelbehältnisse so zu befüllen sind, dass ein Zerschlagen der Altgeräte vermieden wird und die Altgeräte in den Behältnissen nicht mechanisch verdichtet werden dürfen. Somit erfüllen die im Projekt entwickelten Sammelverfahren bereits zukünftige Anforderungen.

3. Zerlegung von LCD-Bildschirmgeräten

Ein Hauptaugenmerk bei der Zerlegung von LCD-Bildschirmgeräten ist die sichere und vollständige Entfernung der quecksilberhaltigen Hintergrundbeleuchtungen. Hierbei ist eine Unterscheidung in Geräte mit einer seitlichen (bis 19 Zoll) und einer flächigen (größer 19 Zoll) Hintergrundbeleuchtung vorzunehmen, da die Beleuchtung auf unterschiedliche Art demontiert werden muss.

Manuelle Zerlegung

Bei der manuellen Zerlegung müssen die LCD-Bildschirmgeräte bis auf Panelebene zerlegt werden, um eine Entnahme der Hintergrundbeleuchtung zu ermöglichen. Bei der Entnahme der Hintergrundbeleuchtung ist behutsam vorzugehen, um ein Zerstoren der Lampen und damit eine Freisetzung von Quecksilber zu vermeiden.

Die manuelle Zerlegung von LCD-Bildschirmgeräten mit seitlicher Beleuchtung kann mit ausreichend geschultem Personal in etwa acht bis zehn Minuten pro Gerät erfolgen. Um das Gerät zu öffnen, müssen die Gehäusehälften mit vier bis acht Schrauben entfernt werden. Danach sind die Baugruppen sowie der Stahlrahmen vom Panel zu entfernen. Um dem Panel die Hintergrundbeleuchtung entnehmen zu können, ist dieses ebenfalls mit einigen Schrauben zu öffnen. Nach der Entnahme der beiden Beleuchtungseinheiten kann das Panel noch weiter in seine einzelnen Bestandteile zerlegt werden (Bild 6).

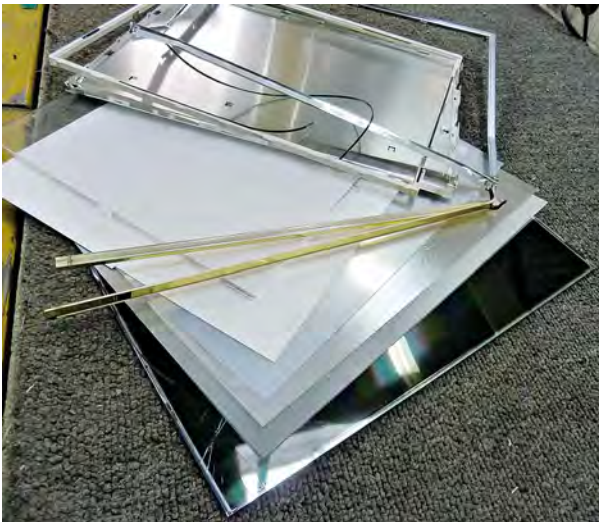


Bild 6:

Bestandteile eines LCD-Panels mit seitlicher Hintergrundbeleuchtung

Die manuelle Zerlegung von LCD-Bildschirmgeräten mit flächiger Hintergrundbeleuchtung ist wesentlich arbeitsintensiver, da diese Geräte in ihrem Aufbau komplexer sind und die zu demontierenden Komponenten schlechter zugänglich sind. Die Zerlegung dieser Geräte dauert mit geschultem Fachpersonal 15 bis 20 min. Um die Gehäusehälften zu öffnen müssen teilweise bis zu 30 Schrauben gelöst werden. Danach werden die Baugruppen vom Trägerrahmen entnommen. Um dem freigelegten Panel die Hintergrundbeleuchtung entnehmen zu können, müssen ebenfalls etliche

Schraubverbindungen entfernt werden. Die Beleuchtungseinheiten, je nach Bildschirmgröße bis zu 26 Lampen, sind vorsichtig aus den Befestigungen zu entnehmen. Diese Befestigungen können geschraubt, gesteckt oder gelötet sein. In Bild 7 sind die einzelnen Bestandteile eines LCD-Panels mit flächiger Hintergrundbeleuchtung dargestellt.



Bild 7:

Bestandteile eines LCD-Panels mit flächiger Hintergrundbeleuchtung

Teilautomatisierte Zerlegung von LCD-Bildschirmgeräten

Im Rahmen des Forschungsprojektes *In Access* wurden zwei Zerlegeverfahren entwickelt, die für eine schnellere und wirtschaftlichere Verarbeitung von LCD-Bildschirmgeräten geeignet sind. Als Ergebnis wurden eine Pilotanlage zur teilautomatisierten Zerlegung von LCD-Bildschirmgeräten mit seitlicher Hintergrundbeleuchtung und eine Anlage zur Zerlegung von Geräten mit flächiger Hintergrundbeleuchtung errichtet, mit denen die Verfahren überprüft und weiter entwickelt werden.

Zerlegeverfahren für LCD-Bildschirmgeräte mit seitlicher Hintergrundbeleuchtung

Bei der Zerlegung von LCD-Bildschirmgeräten mit seitlicher Hintergrundbeleuchtung kommt ein Schneidwerkzeug zum Einsatz. Dieses Schneidwerkzeug wird ober- und unterhalb der LCD-Anzeige genau senkrecht über den CCFL Beleuchtungseinheiten positioniert. Anschließend taucht das Schneidwerkzeug so tief in den LCD-Bildschirm ein, dass die Beleuchtungseinheit erfasst und zerstört wird. Das Schneidwerkzeug verfährt über die gesamte Bildschirmbreite. Der dabei entstehende Schneidspan enthält unter anderem die gesamte quecksilberhaltige Beleuchtungseinheit, sowie Metall- und Kunststoffpartikel. Danach wird das Schneidwerkzeug um 90° versetzt links und rechts neben der LCD-Anzeige positioniert und ein erneuter Schneidvorgang durchgeführt. Nach diesem Trennvorgang kann das LCD-Panel aus dem Gerät entnommen werden. Die bei dem Verfahren anfallenden Schneidspäne werden jeweils im gleichen Arbeitsgang komplett abgesaugt und in ein luftdichtes Gebinde abgeschieden. Die Abluft wird über eine geeignete Abluftreinigung geführt. Bild 8 zeigt den Schnittverlauf des Werkzeuges, Bild 9 den schematischen Ablauf des Zerlegeverfahrens.

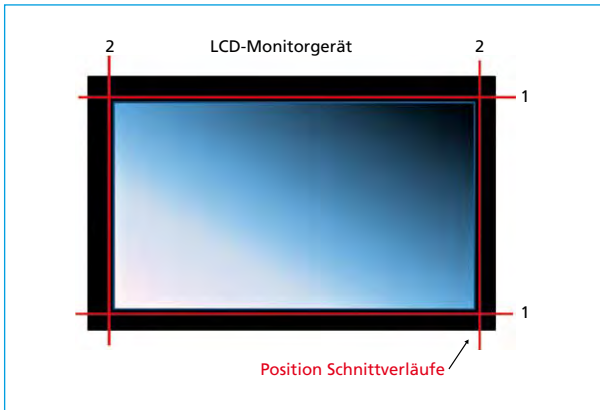


Bild 8:

Schnittverlauf bei Geräten mit seitlicher Hintergrundbeleuchtung

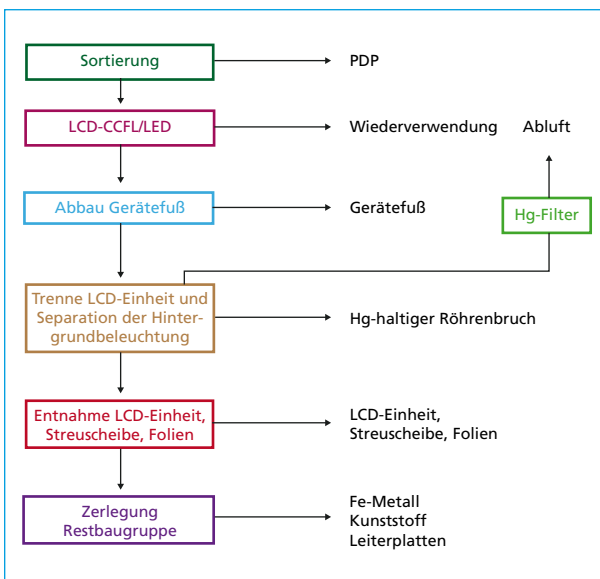


Bild 9:

Verfahrensablauf zur Zerlegung von LCD-Geräten mit seitlicher Hintergrundbeleuchtung

Zerlegeverfahren für LCD-Bildschirmgeräte mit flächiger Hintergrundbeleuchtung

Bei der Zerlegung von LCD-Bildschirmgeräten mit flächiger Hintergrundbeleuchtung kommt ebenfalls ein Trennverfahren zum Einsatz. Bei der flächigen Hintergrundbeleuchtung wird das Schneidwerkzeug so positioniert, dass der Schnitt innerhalb der LCD-Anzeige, parallel entlang des Bildrahmens verläuft (Bild 10). Die Schnitttiefe wird so eingestellt, dass die LCD-Anzeige, die Streuscheibe und die Polarisationsfolien durchtrennt werden, die Beleuchtungseinheiten jedoch nicht beschädigt werden. Nach dem Schneidprozess werden die LCD-Anzeige, die Streuscheibe und die Polarisationsfolien entnommen, wodurch der Zugang zu den Beleuchtungseinheiten freigegeben wird. Der nächste Arbeitsschritt ist die Entnahme der CCFL-Hintergrundbeleuchtung. Diese wird bei der Entnahme ebenfalls zerstört und in ein luftdichtes Gebinde überführt. Die gesamte Abluft des Prozesses wird gereinigt. Bild 11 zeigt den schematischen Ablauf des Zerlegeverfahrens.



Bild 10:

Schnittverlauf bei Geräten mit flächiger Hintergrundbeleuchtung

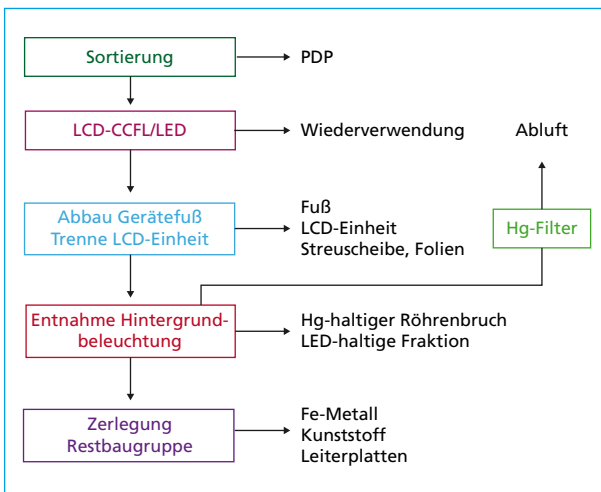


Bild 11:

Verfahrensablauf zur Zerlegung von LCD-Geräten mit flächiger Hintergrundbeleuchtung

4. Quecksilber in LCD-Bildschirmgeräten

Das in den LCD-Bildschirmgeräten enthaltene Quecksilber ist ausschließlich in der Hintergrundbeleuchtung zu finden. Bei der Aufbereitung dieser Geräte muss sichergestellt werden, dass das enthaltene Quecksilber entfernt wird. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden Analysen durchgeführt, die den Quecksilberinhalt eines LCD-Bildschirmgerätes darstellen. Bei dieser Analyse wurden Beleuchtungseinheiten von Geräten mit seitlicher, sowie von Geräten mit flächiger Beleuchtungsanordnung untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass in einer Leuchtstoffröhre der kleinen Geräte bis 19 Zoll etwa 2,7 mg Quecksilber enthalten ist. In diesen Geräten sind maximal 4 Leuchtstoffröhren verbaut, was einen Quecksilberinhalt von 10,8 mg pro Gerät ergibt. Bei einem durchschnittlichen Gerätegewicht von etwa 4,5 kg ergibt sich somit ein Quecksilbergehalt von 2,40 mg/kg Gerät.

In einer Leuchtstoffröhre der großen Geräte über 19 Zoll sind laut Analyse durchschnittlich 2,5 mg Quecksilber enthalten. Die Anzahl der verbauten Beleuchtungseinheiten schwankt bei diesen Geräten, im Durchschnitt sind etwa 16 Stück verbaut. Daraus ergibt sich ein Quecksilberinhalt von rund 40 mg pro Gerät. Bei einem durchschnittlichen Gerätegewicht von etwa 14,5 kg liegt der Quecksilbergehalt bei 2,76 mg/kg Gerät.

Weiterführend wurden im Forschungsprojekt Restfraktionen der Hintergrundbeleuchtung auf ihren Quecksilberinhalt untersucht, welche in seltenen Fällen im LCD-Bildschirmgerät nach dem Durchlaufen der teilautomatisierten Zerlegung zurück bleiben können. Diese Untersuchung ergab einen maximalen Quecksilberinhalt von 1,3 mg, was wiederum einen Quecksilbergehalt von 0,12 mg/kg Gerät ergibt. Das Quecksilberausbringen lag bei allen untersuchten Proben über 95 Prozent.

Arbeitsschutz

Beide Pilotanlagen arbeiten unter einer kontrolliert abgesaugten Atmosphäre, wobei die dabei entstehende Abluft über einen Aktivkohlefilter gereinigt wird. So kann ausgeschlossen werden, dass Mitarbeiter, die an diesen Anlagen tätig sind, einer Belastung durch Quecksilber ausgesetzt werden. Zusätzlich zu der eingesetzten Absaugung werden alle Arbeitsplätze in kontinuierlichen Abständen mit einem Quecksilbermonitor überwacht und kontrolliert. Der Arbeitsplatzgrenzwert für Quecksilber liegt derzeit bei 0,02 mg/m³. Es konnten keine Quecksilberbelastungen an den Arbeitsplätzen festgestellt werden.

5. Aufbereitung der Zerlegefraktionen

Nach dem Verarbeiten der LCD-Bildschirmgeräte in den Pilotanlagen liegen mehrere Zwischenprodukte vor. Diese sind die LCD-Anzeige, Polarisationsfolien, Streuscheiben, quecksilberhaltige Hintergrundbeleuchtung und das schadstoffentfrachtete Restgerät.

LCD-Anzeige

Die LCD-Anzeige besteht jeweils aus zwei dünnen Glasscheiben, auf denen Indiumleiterbahnen aufgebracht sind. Zwischen den Glasscheiben befinden sich die Flüssigkristalle. Durch die Separierung der LCD-Anzeigen während des Zerlegeverfahrens wird eine Voranreicherung des Indiums erreicht. Von ausgangs rund 12 g/t im Gesamtgerät liegt jetzt bereits eine Konzentration von etwa 190 g/t vor. Zur weiteren Indiumrückgewinnung muss die Fraktion LCD-Anzeige in einen geeigneten Aufbereitungsprozess überführt werden.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wird gemeinsam mit den Projektpartnern IFAD und Umicore ein Verfahren zur Indiumrückgewinnung entwickelt.

In Versuchen wird Indium in einem Laugeverfahren mit anschließenden ionenselektiven Verfahren zurückgewonnen. Um das Indium aus den zuvor separierten LCD-Anzeigen zu gewinnen, müssen diese zunächst mechanisch für das Laugeverfahren vorbereitet werden. Die LCD-Anzeigen enthalten noch rund 25 Prozent Kunststoffanteil, der in Form von Folie auf den Außenseiten der Anzeigen aufgebracht ist.

Mit einem speziellen Zerkleinerungsverfahren werden die LCD-Anzeigen so aufgeschlossen, dass der Glas/Kunststoffverbund gelöst wird und voneinander separiert werden kann. Die kunststofffreie Glasfraktion, welche das Indium enthält wird dem Laugeverfahren zugeführt. Die Kunststofffraktion kann der energetischen Verwertung zugeführt werden.

Polarisationsfolien und Streuscheiben

Die separierten Polarisationsfolien und Streuscheiben bestehen jeweils aus hochwertigen, reinen Kunststoffen und können an geeignete Kunststoffrecycling-Betriebe zur weiteren Rohstoffgenerierung abgegeben werden.

Quecksilberhaltige Hintergrundbeleuchtung

Die Bruchstücke der quecksilberhaltigen Hintergrundbeleuchtung werden in geeigneten, luftdicht verschlossenen Gebinden gesammelt und können zur weiteren Verwertung an das Lampenrecycling abgegeben werden.

Schadstoffentfrachtete Restgerät

Die schadstoffentfrachteten Restgeräte werden weiter aufbereitet. Hierbei werden manuelle, mechanische und metallurgische Verfahren aus der Elektroaltgeräteaufbereitung auf Ihre Wirtschaftlichkeit und Effektivität in Hinblick auf die Rohstoffgewinnung verglichen.

6. Ausblick

Um einen ressourceneffizienten und wirtschaftlichen Recyclingprozess für LCD-Bildschirmgeräte zu verwirklichen, muss bereits bei der Sammlung der Geräte angesetzt werden. Es ist ein Sammelsystem zu schaffen, das es ermöglicht, diese Geräteart separat zu erfassen, bruchfrei zu sammeln und zu transportieren. Um LCD-Bildschirmgeräte wirtschaftlich aufzubereiten zu können, muss ein gewisser Gerätedurchsatz erreicht werden, welcher durch den Einsatz von teilautomatisierter Zerlegeverfahren gewährleistet wird. Für den Einsatz teilautomatisierter Zerlegeverfahren ist eine Unterscheidung der LCD-Geräte in Geräte mit seitlicher Hintergrundbeleuchtung und in Geräte mit flächiger Hintergrundbeleuchtung vorzunehmen. Diese Unterscheidung sollte möglichst schon bei der Sammlung der Geräte erfolgen.

Ein Hauptaugenmerk bei der Aufbereitung von LCD-Bildschirmgeräten ist die Entfernung der quecksilberhaltigen Hintergrundbeleuchtung aus den Geräten. Mit geeigneten Zerlegeverfahren ist es möglich, diese schadstoffhaltigen Bauteile mit wenigen Arbeitsschritten aus den Geräten zu separieren. Gleichzeitig kann in diesem Arbeitsschritt die indiumhaltige LCD-Anzeige gewonnen werden. Durch die Separation der LCD-Anzeige vom Restgerät erfolgt bereits eine erste Anreicherung des enthaltenen Indiums.

Die indiumhaltigen LCD-Anzeigen werden in einem chemischen Laugeverfahren weiter aufbereitet, so dass am Ende ein vermarktungsfähiges Indiumkonzentrat vorliegt.

Die schadstofffreien Restgeräte können mit vorhandenen Verfahrenstechniken der Elektroaltgeräteaufbereitung zu hochwertigen Sekundärrohstoffen weiter verarbeitet werden.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann (Hrsg.):
Recycling und Rohstoffe – Band 8

ISBN 978-3-944310-20-6 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2015
Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,
Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky
Erfassung und Layout: Ginette Teske, Sandra Peters, Carolin Bienert, Janin Burbott,
Max Müller, Cordula Müller
Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk-sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.