

Verwertung von LCD-Bildschirmen

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	1
2	Rechtsgrundlagen, Ablauf der Wiederverwertung und Verwertungsquoten	2
3	Aufbau und Materialien von LCD-Bildschirmen.....	3
3.1	Funktionsweise von LCDs.....	3
3.2	Verwendete Materialien	4
4	Aufbereitungsverfahren zur Verwertung.....	4
4.1	Manuelle Verfahren.....	4
4.2	(Teil)-Automatische Verfahren	5
	Beispiele für (Teil)-Automatische Verfahren	5
5	Rückgewinnung von Metallen	5
5.1	Rückgewinnung von (Edel)metallen.....	7
5.2	Rückgewinnung von Indium	8
6	Ausblick OLED-Technik.....	8
7	Schlussfolgerung	9
8	Literaturverzeichnis	9
9	Anhang.....	11

1 Veranlassung

In den letzten Jahren haben sich LCD-Bildschirme gegenüber Plasma- und Röhrenbildschirmen durchgesetzt und finden mittlerweile in zahlreichen technischen Geräten Verwendung. Dazu zählen insbesondere Fernseher, Computer-Monitore, Laptops und Mobiltelefone. Der Trend führt zu immer mehr Geräten pro Haushalt und einer immer kürzer werdenden Nutzungsdauer. Die durchschnittliche Nutzungsphase beträgt dabei je nach Geräteart etwa zwischen 3 (Smartphones) und 8 (Fernseher) Jahren. Vor diesem Hintergrund ist ein Anbieten umweltfreundlicher Entsorgungsmöglichkeiten sowie eine Rückgewinnung und Nutzung der in den Bildschirmen vorhandenen Materialien als Sekundärrohstoff der teils knappen Ressourcen notwendig.

In Hessen wurden im Jahr 2016 insgesamt 45.835 Tonnen Elektroaltgeräte gesammelt [1]. Die in Hessen erfassten Mengen an Elektroaltgeräte der Jahre 2010 bis 2015 sind in Tabelle 1 tabellarisch dargestellt. Die über den Handel und sonstige Entsorgungswege anfallenden Mengen sind nicht in den Datensatz eingeflossen.

Tabelle 1: erfasste Elektroaltgeräte in Hessen, Quelle: [1]

Jahr		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Elektroaltgeräte Hessen gesamt	in [t]	46.011	45.411	46.784	47.865	47.744	46.344	45.835

In Deutschland machen TV-Geräte aus privaten Haushalten ca. 6 bis 8 % [2] der erfassten Mengen an Elektroaltgeräten aus. Überträgt man den Wert auf Hessen fallen damit jährlich zwischen 3.000 und 3.400 Tonnen TV Geräte an. Nicht berücksichtigt sind dabei Bildschirme aus Mobilgeräten, Laptops und PC-Bildschirmen.

2 Rechtsgrundlagen, Ablauf der Wiederverwertung und Verwertungsquoten

Um eine ordnungsmäße Entsorgung von Elektroaltgeräten zu gewährleisten, wurde 2003 vom Europäischen Parlament die *Waste of Electrical and Electronic Equipment-Richtlinie* (WEEE-Richtlinie) verabschiedet und 2012 aktualisiert [3]. Die Richtlinie fordert von jedem Hersteller, der Elektronikgeräte in einem EU-Land vertreiben möchte, die Registrierung im betreffenden Land. In Deutschland übernimmt diese Aufgabe die Stiftung *Elektro-Altgeräte Register*, kurz EAR [2].

Die Umsetzung der WEEE-Richtlinie in nationales Recht erfolgte in Deutschland über das *Elektro- und Elektronikgerätegesetz* (ElektroG) [4]. Bildschirme fallen nach § 14 unter Gruppe 2 der Altgeräte und müssen somit aufgrund enthaltener Schadstoffe getrennt und möglichst bruchsicher von anderen Elektroaltgeräten wie z. B. Kühlschränken und Lampen gesammelt werden.

Die kostenfreie Sammlung der Altgeräte wird durch den Hersteller mithilfe von Sammelbehältern (§ 16 ElektroG) oder unter bestimmten Bedingungen durch den Vertreiber (§ 17 ElektroG) durchgeführt. Nach der Sammlung werden die Elektroaltgeräte zu zertifizierten Erstbehandlungseinrichtungen transportiert und dort auf eine mögliche Wiederverwertung und vorhandene Störstoffe geprüft. Im nachfolgenden Schritt werden die Bildschirme nach dem Stand der Technik demontiert und entsorgt. Die Anforderungen an die Erstbehandlung und anschließende Entsorgung sind in der Mitteilung 31B der *Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall* (LAGA) festgelegt [5]. Eine Übersicht über Erstbehandlungseinrichtungen für Elektroaltgeräte in Hessen (Stand 2018) findet sich in tabellarischer Form im Anhang.

Der Gesetzgeber fordert als Sammelquoten 45 % des Durchschnittsgewichts, der in den drei Vorjahren in Umlauf gebrachten Elektronikgeräten. Nach § 22 des ElektroG sind LCD-Bildschirme und andere Elektroaltgeräte so zu behandeln, dass a) der Anteil der Verwertung mindestens 85 Prozent beträgt und b) der Anteil zur Wiederverwertung und des Recyclings mindestens 80 Prozent beträgt. Mit Anteil der Verwertung, Wiederverwertung oder des Recyclings ist der gewichtsbezogene Anteil des Inputs beschrieben.

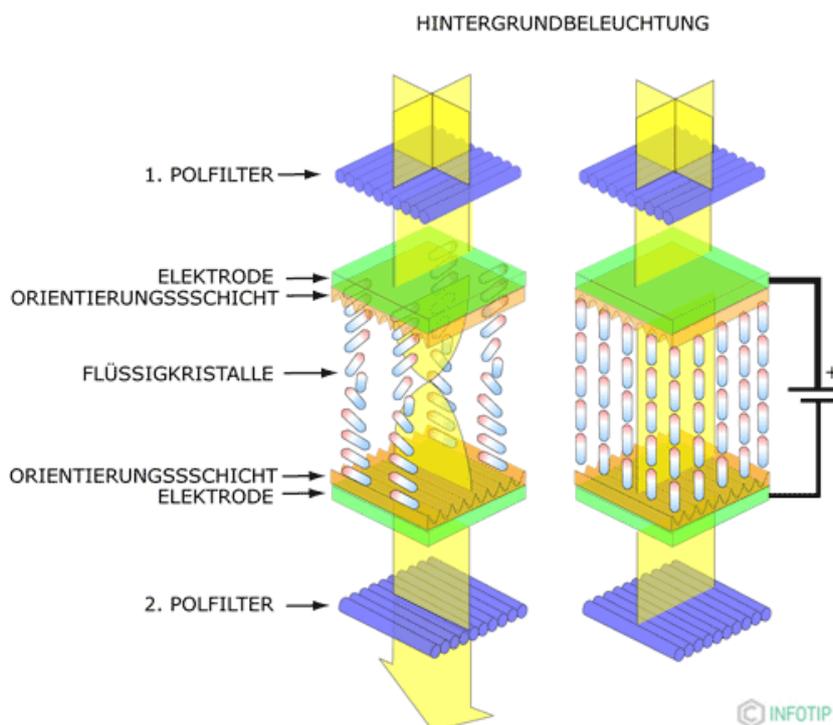
3 Aufbau und Materialien von LCD-Bildschirmen

3.1 Funktionsweise von LCDs

LCD (Liquid Crystal Display), auch Flüssigkristallanzeige genannt, beschreibt eine Technik, bei der, ausgehend von einer Lichtquelle, unpolarisiertes/ungeordnetes Licht auf einen Polarisationsfilter trifft. Dieser sorgt für eine vertikale Polarisation/Ordnung des Lichtes. Durch die nachfolgend spiralförmig angeordneten Flüssigkristalle wird die Polarisationsrichtung des Lichtes um 90° gedreht und kann dadurch den zweiten horizontal angeordneten Polarisationsfilter passieren. Um einzelne Bildpunkte zu verdunkeln wird ein elektrisches Feld erzeugt, woraufhin die Flüssigkristalle nicht mehr für eine Drehung der Polarisation sorgen. Die Färbung einzelner Pixel/Bildpunkte lässt sich mit Farbfiltern steuern.

Man unterscheidet zwischen Geräten mit LED und Gasentladungslampen als Hintergrundbeleuchtung. LED-Hintergrundbeleuchtungen entsprechen dem Stand der Technik und enthalten im Gegensatz zu einer Hintergrundbeleuchtung, erzeugt durch Gasentladungslampen, kein Quecksilber. Die bildgebende Einheit – das LCD-Panel - besteht aus zwei parallel zueinander angeordneten Glasscheiben auf deren Innenseite sich u. a. eine dünne Schicht Indium und die Flüssigkristalle befinden. Zur Minimierung von Spiegelungen sind außen Polarisationsfilter angebracht. Die beschriebenen Komponenten werden zusammen mit der Elektronik je nach Geräteart von einem Metall- (Handys, Laptop) oder Kunststoffgehäuse umschlossen (häufig Fernseher). In der nachfolgenden Abbildung 1 ist der Aufbau eine LCD-Zelle vereinfacht dargestellt.

Abbildung 1: Aufbau einer LCD-Zelle (schwarzweis), Quelle: [2]



3.2 Verwendete Materialien

In Tabelle 2 sind Materialien die in LCD-Bildschirmen üblicherweise verwendet werden sowie deren prozentualer Anteil zusammengefasst. Auffällig sind die hohen Massen an Eisen- und Nichteisenmetallen. Die Datengrundlage stammt aus einer Studie, in der Fernseher, Computer-Monitore und Laptops mit LCD-Technik untersucht wurden [3].

Tabelle 2: LCD-Bildschirm Fraktionen und Anteile, Quelle [3]

Material	PC-Monitore		TV-Geräte		Laptops	
	kg/Stk	%	kg/Stk	%	kg/Stk	%
Metalle	2,15	43	6,958	49	0,65	25
Glas (kein Displayglas)	0	0	0,994	7	0	0
Kunststoffe	1,675	33,5	3,408	24	0,676	26
Kabel	0,1	2	0,213	1,5	0,026	1
Leiterplatten	0,4	8	1,207	8,5	0,286	11
LCD-Anzeigen	0,425	8,5	0,994	7	0,338	13
Hintergrundbeleuchtung	0,05	1	0,142	1	0,026	1
Akkus	0	0	0	0	0,338	13
Rest	0,2	4	0,284	2	0,039	1,5
Summe	5		14,2		2,6	

4 **Aufbereitungsverfahren zur Verwertung**

4.1 Manuelle Verfahren

Bei einer manuellen Demontage von LCD-Bildschirmen werden zuerst Kabel und sonstige externe Teile entfernt. Anschließend können das Gehäuse bzw. der Rahmen von dem LCD-Modul und der Elektronik getrennt werden. Befinden sich quecksilberhaltige Gasentladungslampen hinter der bildgebenden Einheit werden diese möglichst zerstörungsfrei entfernt. Zuletzt können einzelne Komponenten demontiert werden. Diese Methode ist zurzeit weit verbreitet, im Vergleich zu (teil)automatischen Verfahren jedoch deutlich zeitintensiver.

4.2 (Teil)-Automatische Verfahren

Zum Schutz vor Staub und Quecksilberemissionen wird im ersten Schritt der Bildschirm mithilfe eines Förderbandes in einen geschlossenen Raum transportiert. Dort erfolgt eine Vermessung und ein Auffräßen des Bildschirmes. Hierzu kommt ein Schneidwerkzeug zum Einsatz, welches das LCD-Panel vom Gehäuse trennt. Anschließend wird das Glas und die Hintergrundbeleuchtung entnommen. Handelt es sich um eine Hintergrundbeleuchtung, bestehend aus Gasentladungslampen, werden diese separat gesammelt. Während des Verfahrens erfolgt eine kontinuierliche Absaugung und Reinigung der Prozessluft z. B. mithilfe von Aktivkohlefiltern.

Beispiele für (Teil)-Automatische Verfahren

Im Jahr 2018 auf dem Markt befindliche moderne Anlagen sind u. a. das ALR3000 [4], eine Anlage zum LCD-Bildschirm Recycling der Erdwich GmbH [5], das LCD Waste Recycling System des Institutes ITRI (Taiwan) [6] sowie eine Recyclinganlage der ALBA Group [7].

- Das ALR3000 wurde von Votechnik in Kooperation mit der University of Limerick, Allied Automation und WEEE-Forum unter dem Projektnamen ReVolv entwickelt [4]. Vorgänger der Anlage waren das ALR1000 und ALR2000.
- Die Anlage der Erdwich GmbH kann pro Stunde bis zu 45 Bildschirme mit einer Größe zwischen 25 und 55 Zoll demontieren [5].
- Bei dem LCD Waste Recycling System des Institutes ITRI in Taiwan werden als Besonderheit die Flüssigkristalle der Bildschirme und das Indium manuell entfernt und anschließend in einer separaten Anlage aufbereitet [6].
- Die ALBA Group entwickelte in Eppingen eine Anlage zum Recycling von LCD-Bildschirmen. Der Prozess ist teilautomatisiert. Während das Ausfräsen der Bildschirme automatisiert abläuft müssen quecksilberhaltige Hintergrundbeleuchtungen manuell entfernt werden [7]. Eine solche Anlage wird seit März 2018 im WEEE-Park in Hongkong betrieben [8], [9].
- An der TU Bergakademie Freiberg wurde in Kooperation mit dem Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie ein alternatives Verfahren entwickelt, um u. a. LCD-Bildschirme zu recyceln. Dabei werden LCD-Bildschirme geschmolzen und das daraus entstehenden Mischglas und die Metallphase/Legierung recycelt [10].

5 Rückgewinnung von Metallen

In Bildschirmen bzw. in der verbauten Elektronik (Halbleiterplatten etc.) finden sich verschiedene (Edel)Metalle und seltene Erden. Aufgrund der vergleichsweise hohen Mengen

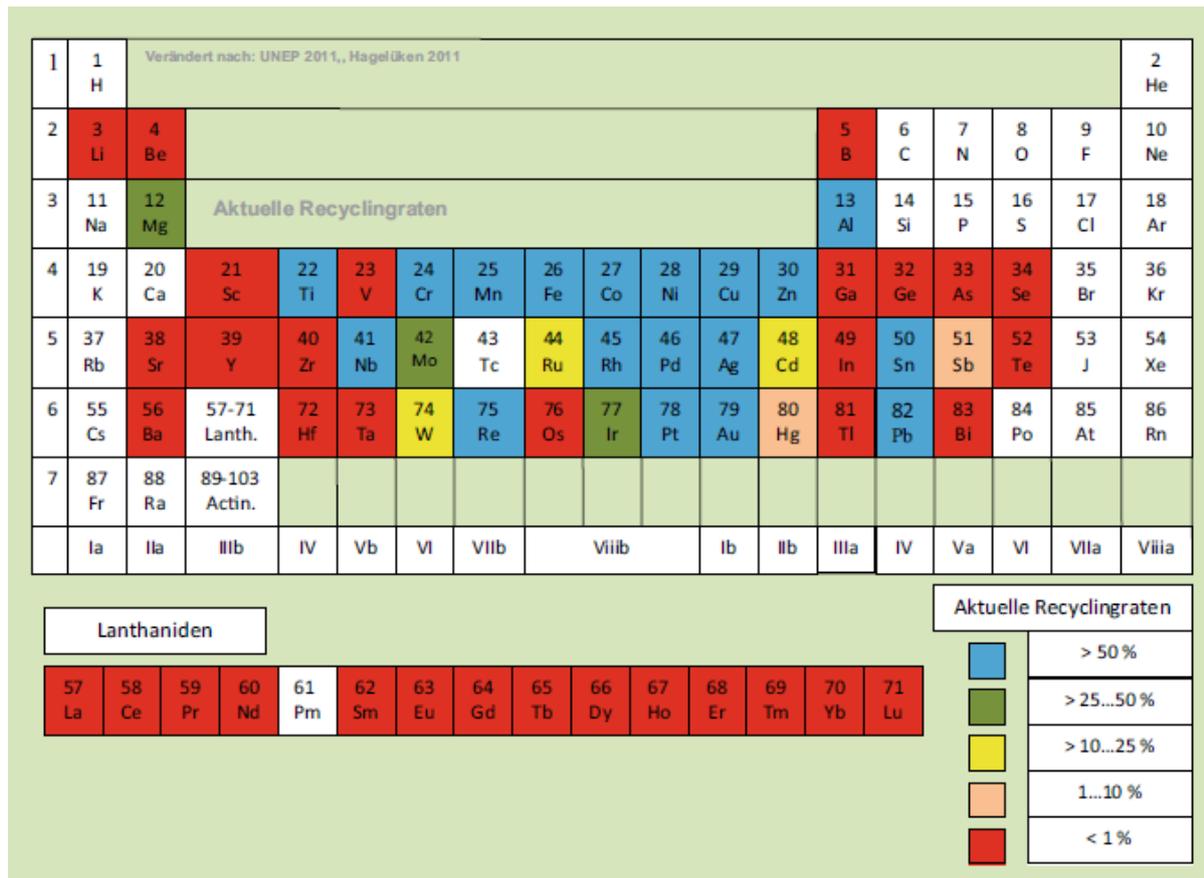
und Ankaufspreise eignen sich insbesondere die Edelmetalle Gold und Silber für eine Wiederverwertung. Die Wiederverwertung der Metalle erfolgt in Metallhütten während Kunststoffe teilweise thermisch verwertet werden.

Tabelle 3: Metalle in Elektroaltgeräten, Quelle [11]

Metall	Flachbildschirm (mg/Stk)	Notebook (mg/Stk)	Smartphone (mg/Stk)	Verwendung/Einsatz für
Cer	3,19	0,15	11,54	Leuchtstoff
Dysprosium		64,55		Schwingspulen, Magnete
Europium	5,32	0,15		Leuchtstoff
Gadolinium	1,06	0,75		Leuchtstoff
Gallium	1,60	1,50		Halbleiter-Chip
Gold	175,00	111,09	22,12	Kontakte-Leiterplatten
Indium	251,60	43,54		Displayinnen-Beschichtung, Halbleiter
Cobalt		69208,83	4663,46	Lithium-Ionen-Akku
Lanthan	4,26	0,15		CCFL-Hintergrundbeleuchtung
Neodym		2275,93	37,02	Permanentmagnete
Palladium	49,47	42,04	8,17	Leiterplatten, Kontakte
Platin		4,50		Festplattenscheiben
Praseodym	0,11	292,75	7,69	Schwingspulen, Lautsprecher, Magnete, Hintergrundbeleuchtung
Silber	647,87	465,40	225,96	Leiterplatten, Kontakte
Tantal		1811,29		Kondensatoren
Terbium	1,49	0,15		CCFL-Hintergrundbeleuchtung
Yttrium	72,34	1,80	187,50	Leuchtstoff

In Abbildung 2 sind die weltweiten Recyclingraten aus dem Jahr 2011 für Elemente des Periodensystems dargestellt. Die Werte lassen sich nicht eins zu eins auf Deutschland oder Hessen übertragen. Sie veranschaulichen jedoch, dass vor allem Edelmetalle durchgängig hohe Recyclingraten von über 50 % aufweisen. Andere begrenzte Metalle wie Indium oder Gallium wurden dagegen 2011 zu weniger als 1 % recycelt.

Abbildung 2: Recyclingraten verschiedener Metalle weltweit für das Jahr 2011, Quelle [12]



5.1 Rückgewinnung von (Edel)metallen

Die in LCD-Bildschirmen enthaltenen (Edel)Metalle lassen sich unter dem Einsatz von Energie zurückgewinnen und als Sekundärrohstoff wiederverwerten. Dazu sollten bei der Demontage die Platinen aufgrund der hohen Edelmetallkonzentration aus den Bildschirmen entfernt und getrennt gesammelt werden. Anschließend besteht die Herausforderung darin, möglichst kostengünstig die Edelmetalle aus den Platinen der Bildschirme zu lösen. Dazu existieren unterschiedliche Verfahren. Eine Wiederaufbereitung von (Edel)Metallen ist dabei nachhaltiger als eine Neuproduktion.

Beispiele für Verfahren zum Metallrecycling in Metallhütten sind das Umicore- und das Aurubis-Verfahren. Dabei wird in einem ersten Schritt das Material geschreddert und anschließend, unter Beachtung der spezifischen Schmelztemperaturen, im Hochofenprozess geschmolzen. Dabei bildet sich eine metallische und oxidische Phase. In der metallischen

Phase befinden sich dabei die Edelmetalle in geringen Konzentrationen. Nach Erreichen der gewünschten (Edel)Metall-Konzentrationen wird die metallische Phase in ein Wasserbad gegeben und ändert dort den Aggregatzustand von flüssig zu fest. Im Prozess können u. a. die Edelmetalle Gold, Silber und Platin, Palladium sowie das Schwermetall Indium aus LCD-Bildschirmen zurückgewonnen werden [13].

Organische Anteile wie Kunststoffe, die sich an den Metallen befinden, liefern aufgrund von hohen Heizwerten Energie für den Prozess.

5.2 Rückgewinnung von Indium

Neben größerer Mengen an Edelmetallen wie Gold und Silber findet sich in LCD-Bildschirmen das Schwermetall Indium (s. Tab. 3). Dieses Metall wird zwischen den Bildschirmgläsern von modernen Bildschirmen eingesetzt (s. 4.2) und lässt sich bei der Verwertung mittels spezieller Verfahren rückgewinnen. Ein LCD-Bildschirm enthält dabei etwa 0,2 % Indium. Je nach Verfahren lassen sich davon zwischen 80 und 95 % als Sekundärrohstoff recyceln.

Problematisch für die wirtschaftliche Rückgewinnung von Indium ist der aktuell niedrige Ankaufspreis. Im Vergleich zu den Jahren 2013 bis 2015, fällt dieser zurzeit um etwa 300 € geringer aus und liegt damit bei ca. 500 € pro kg Indium. Aufgrund der begrenzten weltweiten Vorkommen ist jedoch zu erwarten, dass die Preise auf den Weltmarkt in den kommenden Jahren wieder steigen. Aktuell (2018) werden ca. 70 % [14] des weltweit produzierten Indiums in LCD-Bildschirmen verbaut.

Die Firmen Electrocyling GmbH, Umicore AG & Co. KG (Umicore), ENE EcologyNet Europe GmbH (ENE) und die TU Clausthal, Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik (IFAD) haben zusammen ein Verfahren entwickelt, um kostengünstig Indium zurückzugewinnen [15]. Das Verfahren gliedert sich in eine mechanische und eine hydrometallurgische Aufbereitung sowie einen Basisprozess.

Im ersten Schritt werden die Polarisationsfolien auf den Außenseiten des Displayglases mechanisch entfernt und energetisch verwertet. Mithilfe eines Reaktors wird das Displayglas anschließend vom Indium getrennt. Im Reaktor befindet sich hierzu ein hoher Druck (6 bar) und eine Temperatur von bis zu 300° C sowie Schwefel- oder Salzsäuren [16]. Über einen Fällungsprozess kann in diesem Verfahren ca. 95 % des Indiums aus LCD-Bildschirmen zurückgewonnen werden.

6 **Ausblick OLED-Technik**

OLED steht für organic light emitting diode. Bei dieser Technik wird zwischen einer Anode, organischen Emissionsschicht und einer Kathode eine Spannung angelegt. Dadurch werden von der Anode positive Ladungsträger in Richtung Kathode ausgesendet. Von der Kathode bewegen sich gleichzeitig negative Ladungsträger in Richtung Anode. Treffen die Ladungsträger in der Emissionsschicht aufeinander wird Energie in Form von Licht freigesetzt.

Elektronische Geräte wie Smartphones und Fernseher sind bereits teilweise mit OLED-Panels ausgestattet. Dieser Trend wird sich vermutlich in Zukunft fortsetzen und die LCD-Technik zunehmend ablösen.

Vorteile von OLEDs gegenüber den bisherigen LCDs liegen in einer verbesserten Bild Darstellung und dem geringeren Energieverbrauch. Außerdem enthalten OLED-Panels kein Quecksilber in der Hintergrundbeleuchtung. Da sich das Gehäuse und die Abmessungen von LCD-Bildschirmen kaum von OLED-Bildschirmen unterscheiden, sind Anlagen zur Demontage von LCD-Bildschirmen auch für OLED-Bildschirme geeignet.

Da OLEDs Energie in Form von Licht freisetzen, benötigen entsprechende Bildschirme keine Hintergrundbeleuchtung. Damit vereinfacht sich die Demontage von OLED-Bildschirmen gegenüber LCD-Bildschirmen, insbesondere solchen mit quecksilberhaltiger Hintergrundbeleuchtung. Platinen bzw. die enthaltene Elektronik zur Steuerung der Bildschirme sind jedoch weiter notwendig.

7 Schlussfolgerung

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand werden Anlagen zur (halb)automatischen Demontage von LCD-Bildschirmen bislang in Hessen nicht eingesetzt. Vor-Ort-Termine von Erstbehandlungseinrichtungen für Elektroaltgeräte haben diesen Eindruck bestätigt. Weiterhin fielen die hohen Mengen an mittlerweile veralteten Röhrenmonitoren (Kathodenstrahl) auf, die seit etwa 10 Jahren nicht mehr als Neuware verkauft werden. Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass es durchaus einen Markt für die Aufbereitung von funktionsfähigen Elektroaltgeräten gibt. Durch Kapazitätserweiterung ließen sich mehr funktionsfähige Elektroaltgeräte erneut in den Umlauf bringen.

Mithilfe einer getrennten Sammlung der Bildschirme von anderen Elektroaltgeräten und einer Demontage in verschiedene Fraktionen können die vom Gesetzgeber im ElektroG festgelegten Verwertungs- und Recyclingquoten erreicht werden. Durch eine getrennte Sammlung erhöht sich zudem das Aufkommen an funktionsfähigen Elektroaltgeräten, die sich wiederverwerten lassen.

Praxisbeispiele zeigen, dass bestimmte in LCD-Bildschirmen enthaltene Ressourcen als Sekundärrohstoff verwertet werden. Ziel muss es sein, Verbundstoffe besser aufzuschließen, um die Inhaltsmetalle wie Gold, Silber, Indium, Yttrium oder Palladium möglichst rein zu gewinnen und wirtschaftlich im Kreislauf zu verwerten. Dies ist insofern notwendig, da der Lebenszyklus von Elektrogeräten, eingeschlossen Bildschirme, immer kürzer wird, gleichzeitig aber die Nachfrage nach neuen Bildschirmen immer weiter ansteigt.

8 Quellenverzeichnis

- [1] Hessisches Statistisches Landesamt. Abfallmengenbilanz des Landes Hessen für das Jahr 2016. Wiesbaden. 2017.

- [2] Stiftung Elektro Altgeräte Register [EAR]. Sitz der Stiftung 90763 Fürth.
- [3] Europäisches Parlament. Richtlinie 2012/19/EU – WEEE2. 2012.
- [4] Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz - ElektroG). Vom 21. Oktober 2015, BGBl. I S.1739
- [5] LAGA. M 31B Umsetzung des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes. Technische Anforderung an die Behandlung und Verwertung von Elektro- und Elektronikaltgeräten. München. 2018.
- [6] Kompendium Infotip. Grundlagen der LCD-Technologie. [Online]. Available: <https://kompendium.infotip.de/grundlagen-der-lcd-technologie.html>. [Zugriff am 15 10 2018].
- [7] Öhlinger, Andreas. Tesar, Maria. Flachbildschirmaltgeräte, Anforderungen an die Behandlung und Status in Österreich. Wien. 2012.
- [8] ReVolv. ALR3000. [Online]. Available: <http://revolvproject.eu/>. [Zugriff am 9 11 2018].
- [9] Erdwisch Zerkleinerungs GmbH. LCD-Bildschirmaufbereitung. [Online]. Available: https://www.erdwisch.com/fileadmin/user_upload/Infocenter/Download/LCD/ER_PRO_LCD-ANLAGE_6-Seiter_0416_207666_03_Einzelseiten_klein.pdf. [Zugriff am 10 10 2018].
- [10] ITRI. LCD Waste Recycling System Developed for a Circular Economy. [Online]. Available: <https://www.itri.org.tw/eng/DM/PublicationsPeriods/745621425201177074/content/focus3.html>. [Zugriff am 17 10 2018].
- [11] Recyclingnews. Bildschirmrecycling – bei Quecksilber auf Nummer sicher. 3 1 2017. [Online]. Available: <https://www.recyclingnews.info/recycling/bildschirmrecycling-bei-quecksilber-auf-nummer-sicher/>. [Zugriff am 17 10 2018].
- [12] Alba IWS. WEEE-PARK Fact Sheet. [Online]. Available: www.weee.com.hk/materials/mediace/20180409154239.pdf. [Zugriff am 4 9 2018].
- [13] Recycling Magazin. E-Schroot-Anlage in Hongkong eröffnet. 25 4 2018.
- [14] Technische Universität Bergakademie Freiberg. Neues Verfahren zum Recyceln von Röhren- und LCD-Bildschirmen entwickelt. [Online]. Available: <https://tu-freiberg.de/presse/neues-verfahren-zum-recyceln-von-roehren-und-lcd-bildschirmen-entwickelt>. [Zugriff am 11 10 2018].
- [15] Goldmann, Hans und Martens, Daniel. Recyclingtechnik. Springer Verlag, 2016.
- [16] Graedel, Allwood, Birat, Reck, Sibley und Sonnemann. Buchert und Hagelüken. Recycling Rates of Metals - A Status Report. UNEP, 2011.
- [17] Nordmann, Julia, et al. Die Rohstoffexpedition - Entdecke was in (d)einem Handy steckt! 2. Auflage, Springer Verlag, 2015.
- [18] Rocchetti, Amato und Beolchini. Recovery of Indium from liquid crystal displays. Ancrona: ScienceDirect, 2015.

[19] Sellin, Fröhlich und Rasenack. Rückgewinnung von Indium aus LCD-Bildschirmen. TK Verlag, 2016.

[20] Woisczyk, Carmen. Den Schatz aus dem Bildschirm bergen – Indiumrecycling. [Online]. Available: <https://www.swr.de/blog/diedurchblicker/2014/01/13/den-schatz-aus-dem-bildschirm-bergen-indiumrecycling/>. [Zugriff am 24.10.2018].

9 Anhang

Tabelle: Betreiber von Erstbehandlungsanlagen in Hessen (Stand Oktober 2018), Quelle [2]

Name	Straße und Hausnummer	Postleitzahl	Ort	Art der Tätigkeit
ad-acta Datenschutz & Recycling GmbH	Hüttenweg 8	35398	Gießen	Datenschutz / Vernichtung / Recycling
Azur GmbH	Rheinstraße 48	64367	Mühltal	Recycling von Elektrogeräten
Baunataler Diakonie Kassel e.V. - Caldener Werkstätten	Breslauer Straße 15	34379	Calden	Erstbehandlung gem. ElektroG - manuelle Demontage
EVG mbH	Robert Bosch Strasse 15	63225	Langen	Sammeln, Befördern, Lagern, Verwerten
Fa. VAYA	Münchener Straße 18	63607	Wächtersbach/ Aufenau	Manuelle Zerlegung; auch Festplatten
Grümel gGmbH Elektrorecycling	Steubenallee 6	36041	Fulda	Behandlung von Haushaltsgroßgeräten
GWR - gemeinnützige Gesellschaft für Wiederverwendung und Recycling mbH	Lärchenstr. 131	65933	Frankfurt/Main	Sammeln, Befördern, Behandeln, Verwerten, Lagern, Handeln, Makeln
Hans Teigeler GmbH	Sankt-Florian-Straße 12	55252	Mainz-Kastel	Schadstoffentfrachtung und Wertstoffseparierung
HB-Elektroschrott-Recycling	Robert-Koch Str.63	65779	Kelkheim	Sammeln, Befördern, Lagern, Behandeln, Verwerten, Handeln, Makeln, (Zerlegebetrieb)
HIM GmbH	Waldstrasse 11	64584	Biebesheim	Erstbehandlungsanlage der Gerätekategorie 5

Hugo Schrott-Metall Inh. Heinrich Hugo e.K.	Justus-Liebig-Straße 3	36179	Bebra	Erstbehandlungsanlage
INTEGRAL gGmbH	Industriestraße 9	35232	Dautphetal	Manuelle Demontage, Schadstoffentfrachtung, Kabelgranulierung,
Knettenbrech + Gurdulic Metallrecycling GmbH	Mühlheimer Strasse 121 A	63075	Offenbach	Erstbehandlungsanlage nach ElektroG
Koch Schrott- und MetallhandelsGes. mbH	Hammerweg 32	64720	Michelstadt	Annahme, Zerlegung und Verwertung von Elektroaltgeräten
Mäusgeier & Döring KG	Landecker 15	36251	Bad Hersfeld	Schrott, Metallgroßhandel und Erstbehandlungsanlage- Zerlegung der Sammelgruppe 1.
Meinhardt Städtereinigung GmbH & Co. KG	Haagweg 3-7	65462	Ginsheim-Gustavsburg	Erstbehandlungsanlage nach dem ElektroG
MS Recycling Frankfurt e.K.	Eichenstraße 25	65933	Frankfurt	Erstbehandlungsanlage und Vertreiber
Profil Limburg-Weilburg Beschäftigungsförderung GmbH	Eschhöfer Weg 14	65549	Limburg	Erstbehandlungsanlage für Elektroaltgeräte
RU Recycling- und Umweltdienst	Heinrich-Hertz-Strasse 4	34582	Borken	Einsammeln, befördern, lagern und behandeln von Elektroaltgeräten nach AVV lt. Zertifikat
Schmitt Recycling & Entsorgung GmbH & Co.KG	Böcklerstraße 31	36041	Fulda	Behandlung von Geräten der Informations- und Telekommunikationstechnik
Sims Lifecycle Services GmbH	Im Weiherfeld 25	65462	Ginsheim-Gustavsburg	Anlage zur Sortierung, Wiederaufbereitung, Reparatur und Instandsetzung von Geräten der Informations- und Telekommunikationstechnik
Theo Steil GmbH Schrott- und Metallgroßhandel	Canthalstraße 2-4	63450	Hanau	Zusammenstellung zu Transporteinheiten
Urbanminers GmbH	Mühlheimer Straße 185	63075	Offenbach	Erstbehandlungsanlage nach ElektroG

Weckes Containerdienst und Entsorgungs GmbH	Gutenbergstr. 8	63477	Maintal	Erstbehandler
Werner Remhof Metallgroßhandel GmbH & Co. KG	Ölmühlenweg 18	34123	Kassel	Sammeln, Befördern, Lagern, Behandeln, Verwerten
ZAUG Recycling GmbH	Fischbach 5	35418	Buseck	Erstbehandlungsanlage für Elektroaltgeräte
ZME Elektronik Recycling GmbH	Auf dem Langen Furt 17	35452	Heuchelheim	Erstbehandlungsanlage für Elektroaltgeräte