

Studie im Auftrag des

Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft,
Umwelt und Wasserwirtschaft
Abt. III/3-U
Stubenbastei 5
1010 Wien

Behandlungsmöglichkeiten

für

ausgewählte Bauteile aus Elektroaltgeräten

Endbericht

Renate Gabriel
Büro für Technischen Umweltschutz

Wien, Mai 2001

Kurzfassung

Die Behandlung der aus Elektroaltgeräten (EAG) demontierten Bauteile der PCB-haltigen Kondensatoren, Elektrolytkondensatoren, quecksilberhaltigen Bauteile und Flüssigkristallanzeigen (LCD) stellt eine Frage dar, welche sowohl aus dem Gesichtspunkt der gesicherten Erfassung, Immobilisierung oder Zerstörung der enthaltenen Schadstoffe als auch der möglichst weitgehenden Nutzung der Inhaltstoffe beantwortet werden sollte. Das potentielle Aufkommen an diesen Bauteilen ist zu berücksichtigen.

➤ Quecksilberhaltige Bauteile

Quecksilberhaltige Bauteile sind trotz ihres niedrigen Aufkommens (rd. 200 kg aus EAG und Kühlgeräten in Österreich) und einem prognostizierten Sinken der Mengen aufgrund der toxischen Eigenschaften von Quecksilberdampf und der meisten Quecksilberverbindungen gezielt zu erfassen und zu behandeln.

Sowohl die **vakuumthermische Behandlung** als auch die **thermische Behandlung mit nachfolgender Abscheidung** des Quecksilbers bieten Möglichkeiten, um das Quecksilber aus dem Abfallstrom auszuschleusen und es nach weiteren Aufarbeitungsschritten wieder einzusetzen. Diese Verfahren sind am Markt etabliert und es bestehen in Österreich, Deutschland und der Schweiz ausreichend Behandlungskapazitäten.

Beim vakuumthermischen Recycling (VTR-Verfahren) entscheiden die Prozessparameter wie Zeit, Temperatur, Druck und der Prozessverlauf darüber, inwieweit die Reststoffe soweit abgereinigt werden können, dass sie als nicht mehr belastet angesehen werden können. Bei der thermischen Behandlung unter gezielter Hg-Abscheidung ergeben sich unterschiedliche Bewertungen durch die jeweilige Behandlung der Filterschlämme aus der Abgasreinigung.

In Österreich sammelt und behandelt die Firma Kranner anorganische Quecksilberschalter aus EAG und trennt flüssiges Quecksilber für die betriebsinterne weitere Behandlung ab. Die Reststoffe werden zwischengelagert und nach Erreichen einer Mindestmenge von rd. 500 kg entweder betriebsintern mittels Vakuumdestillation weiter aufgearbeitet oder an Partnerbetriebe in Deutschland zur weiteren Behandlung (VTR-Verfahren) weitergegeben. Weiters betreibt Firma Chemtec eine Batterierecyclinganlage, in der Quecksilber gezielt abgeschieden wird (Abscheidegrad nach eigenen Angaben 80 – 90 %), in welcher auch quecksilberhaltige Bauteile mit organischen Anteilen behandelt werden können. Für die Behandlung aller quecksilberhaltigen Bauteile aus EAG sind demnach **Behandlungskapazitäten vorhanden**.

Die Verfahren zur Verwertung durch ein möglichst weit geführtes vakuumthermisches Recyclingverfahren (vgl. Firma GMR) oder die thermische Behandlung unter vollständiger Quecksilberabtrennung und -abscheidung (vgl. Firma Batrec) wären aus abfallwirtschaftlicher Sicht sehr positiv einzustufen.

➤ PCB-haltigen Kondensatoren

Auch bei PCB-haltigen Kondensatoren ist mit einem laufenden Sinken des Aufkommens zu rechnen. Die Toxizität von PCB gebietet jedoch eine Behandlung als gefährlichen Abfall. Auch hier stellt das **vakuumthermische Recycling** eine Möglichkeit dar, um die PCB-haltigen Inhaltstoffe aus Kondensatoren oder anderen PCB-haltigen Geräten oder Teilen abzuscheiden. Die verbleibenden Komponenten könnten anschließend separiert (z.B. mechanische Aufarbeitung) und z.B. im Bereich der Sekundäraluminiumindustrie stofflich genutzt werden. Das Verfahren ist erprobt, eine derartige Anlage wurde in Japan installiert und ist von den dortigen Behörden anerkannt. In Europa ist eine derartige Anlage derzeit jedoch nicht verfügbar.

Die **thermische Behandlung als gefährlicher Abfall** gewährleistet eine Zerstörung der PCB (jedoch unter Verlust der verwertbaren Inhaltstoffe), bei der Untertagedeponierung erfolgt dagegen nur ein Abschluss gegen die Umwelt.

➤ **Elektrolytkondensatoren**

Einer stofflichen Verwertung hoch-metallhaltiger **Elektrolytkondensatoren** steht vor allem deren schwierige Unterscheidung von PCB-haltigen Kondensatoren gegenüber. Ein Verfahren zur Trennung aufgrund des spezifischen Gewichts wurde entwickelt und erprobt, eine in Deutschland bestehende Anlage wird jedoch derzeit unter marktwirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht betrieben. Ein Faktor, der die Entwicklung von Verfahren ebenfalls erschwert ist, dass die Inhaltstoffe der Elektrolyte von PCB-freien Elektrolytkondensatoren nicht ausreichend bekannt sind.

Die enthaltenen **Elektrolyte** könnten nach einem Konzept einer österreichischen Firma unter mechanischen **Druck abgetrennt** und die enthaltenen Buntmetalle (v.a. Al) durch eine **mechanische Aufarbeitung und Separation** abgeschieden und dem Sekundärrohstoffkreislauf zugeführt werden. Eine mechanische Aufarbeitung ohne Vorabtrennung der Elektrolyte ist nicht möglich, da durch die enthaltene Phosphorsäure eine sehr hohe Brandgefahr während der Aufarbeitung bestehen würde. Für die stoffliche Verwertung im Bereich der Sekundäraluminiumindustrie ist diese Separation jedoch erforderlich, da hohe Qualitätsanforderungen an das Input-Material der Sekundäraluminiumhütte (geringe Gehalte an Fremdstoffen und Fremdmetallen) gelten um so Emissionen zu vermeiden und die Produktqualität zusichern. Erforderliche Mindestmengen für einen wirtschaftlichen Betrieb und das derzeitige Preisgefüge bei der direkten Entsorgung als gefährlicher Abfall haben dieses Konzept bisher nicht zur Verwirklichung kommen lassen.

In einer **Batterierecyclinganlage** in der Schweiz (thermisches Verfahren) wird das in Kondensatoren enthaltene Aluminium zur Beeinflussung der Schlackequalität genutzt, damit werden andernfalls erforderliche Aluminium-hältige Zuschlagstoffe substituiert.

In der Praxis werden Kondensatoren meist als Mischfraktion von PCB-haltigen Kondensatoren und Elektrolytkondensatoren gesammelt (errechnetes Aufkommen aus EAG in Österreich rd. 110 t) und in Anlagen zur **thermischen Entsorgung von gefährlichen Abfällen** behandelt (in Österreich) bzw. in **Untertagedeponien** verbracht (in Deutschland).

Für die abfallwirtschaftlich nicht hoch bewertete Variante der thermischen Entsorgung als gefährlicher Abfall sind in Österreich Behandlungskapazitäten jedenfalls gegeben. Auf Basis der abfallwirtschaftlichen Ziele der Vermeidung und Verwertung von Abfällen wäre jedoch eine Aufarbeitung im Sinne der Rückgewinnung der enthaltenen Aluminiumfraktionen anzustreben. Hierfür wären jedoch weitere Informationen zu den Inhaltstoffen der Kondensatoren, zu den möglichen Reststoffen aus einer Vorbehandlung, zu der von der Aluminiumindustrie gewählten Vorbehandlung (siehe Angaben Enretec) oder die versuchsweise Umsetzung des angeführten Konzeptes zur mechanischen Aufarbeitung erforderlich.

➤ **Flüssigkristallanzeigen (LCD)**

Das derzeitige Aufkommen an LCD aus der Sammlung und Demontage von EAG ist gering und wird für Österreich mit rd. **1,3 t/a** abgeschätzt. In der mittelfristigen Zukunft ist jedoch mit einem **stark Ansteigen der Menge** an LCD aus dem Bereich der Lap-Tops der ersten Generationen oder aus dem Bereich der PC- und TV-Flachbildschirme zu rechnen.

Die Beurteilung von Behandlungsverfahren für Flüssigkristallanzeigen (LCD) muss unter Berücksichtigung dessen erfolgen, dass hierin **quecksilberhaltige Leuchtstoffröhren** als Hintergrundbeleuchtung enthalten sein können. Werden diese nicht getrennt erfasst, wird nur die thermische Entsorgung oder die Untertagedeponierung als quecksilberhaltiger Abfall als Behandlungsoptionen gesehen.

Werden diese Leuchtstoffröhren demontiert, ist für die Behandlung der LCD-Module deren Aufbau als **Mehrschichtverbund** von Glas (rd. 80 %), Kunststofffolien und Metallschichten sowie Kunststoffgehäuseteilen und Leiterplatten zu berücksichtigen. Die Flüssigkristalle selbst stellen hierin einen Anteil von 0,1 % dar.

Eine Abtrennung des Glases von den anderen Komponenten erscheint nur nach einer Vorbehandlung wie dem **vakuumthermischen Verfahren** als möglich. Bei diesem Verfahren

werden die Flüssigkristalle unter vakuumthermischen Bedingungen abgeschieden und anschließend katalytisch umgesetzt. Die enthaltenen Kunststofffolien verspröden unter diesen Bedingungen und könnten anschließend weiter mechanisch separiert werden. Das gereinigte Glas könnte anschließend einer Verwertung zugeführt werden. Diesem abfallwirtschaftlich positiv einzustufenden Verfahren stehen jedoch die vergleichsweise hohen Kosten gegenüber.

Jede **thermische Behandlung** (z.B. thermische Behandlung mit Abfällen, Schmelzen) muss unter Berücksichtigung des Mehrschichtaufbaus und der möglichen Reaktionsprodukten der enthaltenen Komponenten in Anlagen mit entsprechender **Rauchgasreinigung** erfolgen. Bei Anlagen zur **thermischen Behandlung von Abfällen** werden die organischen Inhaltstoffe von LCD zerstört und es ist davon auszugehen, dass entsprechende Rauchgasreinigungselemente vorhanden sind. Das enthaltene Glas wird insbesondere bei der thermischen Entsorgung von gefährlichen Abfällen als Schlackebildner genutzt. Bei jeder anderen Art der thermischen Behandlung wäre die Rauchgasreinigung zu hinterfragen.

Einer **stofflichen Verwertung** des Glases wäre im Hinblick auf die im Richtlinienentwurf definierten **Verwertungsquoten** der Vorzug zu geben. Inwieweit dies z.B. in der Glasindustrie unter Berücksichtigung des potentiellen Mengenaufkommens (derzeitiger Markt an LCD-Glas 20.000 t), des Mehrschichtaufbaus der LCD, der unterschiedlichen Glaszusammensetzung unterschiedlicher Hersteller und der unterschiedlichen Glasarten in den Flachbildschirmtechnologien (z.B. TFT-Bildschirme aus Borsilikat) umsetzbar ist, wäre bei einem höheren Aufkommen von LCD aus der Sammlung zu prüfen. Hierzu und auch zu dem von den Herstellern vorgeschlagenen Einsatz in der Keramikindustrie liegen keine Erfahrungswerte vor.

Als alternative Verwertungstechnologien für **LCD-Produktionsabfälle** wird derzeit in Japan der Einsatz in der **Zinkrecyclingtechnologie** und bei der **Asche- bzw. Schlackeverglasung** erprobt. Hier werden vor allem die silikatischen Inhaltstoffe der LCD genutzt.

Die Ablagerung von LCD auf Hausmülldeponien ist mittelfristig nicht möglich, dem stehen sowohl die vorgesehenen Verwertungsquoten für EAG als auch - aufgrund des Kunststoffgehaltes - die Deponieverordnung gegenüber.

Zum **Gefährdungspotential der Flüssigkristalle (LC)** wurden von den Herstellern vor kurzem umfangreiche Untersuchungsergebnisse zu derzeit in Verkehr gesetzten LC-Substanzen und -mischungen vorgelegt. Diese belegen, dass die verwendeten LC-Mischungen weder als toxisch, mutagen, haut- oder augenreizend einzustufen sind. Weitere Untersuchungsergebnisse zeigen, dass keine ökotoxische Wirkung besteht.

Jedoch stehen diesen Ergebnissen Untersuchungen gegenüber, welche auf eine toxische Wirkung von LC-Substanzen hinweisen. Die hier angewandten Untersuchungsmethoden und die Interpretation der Ergebnisse werden von den Herstellern von LC-Substanzen heftig kritisiert. Darüber hinaus bleiben jedoch Fragen zur bioakkumulativen Wirkung und zu den Inhaltstoffen von „alten LCD“ offen und wird auf das Fehlen von toxikologischen Untersuchungen von unabhängigen Instituten hingewiesen.

Die Frage der Schadstoffrelevanz von LCD kann im Rahmen dieser Studie zu den verfügbaren Behandlungsverfahren nicht abschließend beantwortet werden. Von Seiten der Autorin wird das vorgelegte Untersuchungsprogramm der Hersteller von LC-Substanzen als sehr positiv eingestuft. Unter Berücksichtigung des prognostizierten hohen Marktpotentials für Flachbildschirme sollten seitens der Hersteller von LC-Substanzen und Geräten mit LCD-Modulen **weitere Schritte** gesetzt werden wie z.B.

- die Testung bzw. toxikologische Angaben zu möglichst allen neuen LC-Substanzen,
- eine Positiv-Kennzeichnung von LC-Modulen und Geräten, welche – nachgewiesenermaßen - keine Substanzen mit gesundheitsschädlichen Eigenschaften enthalten,
- Kooperation bei der Untersuchung bzw. Bereitstellung von Informationen zu alten LCD,
- Erfahrungsaustausch mit unabhängigen Untersuchungsanstalten.

Summary

The choice of treatment opportunities for components dismantled from waste of electrical and electronic equipment (WEEE) like PCB-containing capacitors, electrolyte capacitors, mercury containing components and liquid crystal displays is a question which has to be answered under the aspects of the secured collection, immobilisation and destruction of hazardous components and the utilisation of ingredients as far as possible. The potential amount of these components of WEEE has to be considered.

➤ **Mercury containing components**

Mercury containing components have to be collected and treated because of the toxic effect of mercury vapours and most of mercury compounds even if amounts are low (about 200 kg out of WEEE an freezers in Austria) and prognosticated to decrease.

Both the vacuum thermal treatment and the thermal treatment with a following recovery of mercury are opportunities to separate mercury out of the waste stream. After further treatment mercury can be reused. These methods are well recognised on the market and there are sufficient treatment capacities in Austria, Germany and Switzerland.

Within the vacuum thermal treatment the process parameter like time, temperature, pressure and the process programme are determinative for the quality of the residuals of the process (e.g. that they can be considered as non hazardous waste). Within the thermal treatment with mercury recovery the treatment of sewage sludge of the flue gas cleaning system (e.g. circulation) determines the rating of the treatment method.

In Austria Kranner GmbH collects and dismantles anorganic mercury components from WEEE and separates liquid mercury for further treatment. Still mercury containing residuals are stored. After reaching a designated amount of e.g. 500 kg they will be further treated within the company (vacuum distillation) or delivered to partner companies running VTR-recycling plants in Germany. Further the company Chemtec runs a battery recycling plant with an mercury recovery step (recovery rate according to information 80 to 90 %) where mercury components with organic parts can be treated. According to this treatment capacities for all kinds of mercury component are available in Austria.

Treatment opportunities like the VTR-methode run to achieve non hazardous residues (see GMR) or the thermal treatment with a high level mercury separation and recovery (see Batreco) would be rated very positive.

➤ **PCB-containing capacitors**

Also the amount of PCB-containing capacitors are prognosticated to decrease. The toxicity of PCB requires the treatment as hazardous waste. Also for PCB-containing capacitors and other PCB-containing appliances or parts the vacuum thermal treatment offers an opportunity to separate PCB. The remaining parts can be further treated (e.g. mechanical separation) and recycled to a high level (e.g. secondary aluminium smelteries). The method is proved, one plant has been installed in Japan and is approved by the relevant authorities there. However there is no plant available in Europe at this time.

The thermal treatment as hazardous waste ensures the destruction of PCB (but the containing metals are lost), in underground waste repositories there is just an isolation from the environment.

➤ **Electrolyte capacitors**

One problem for the recycling of electrolyte capacitors with high amounts of metal (above all aluminium) is the difficult differentiation from PCB-containing capacitors. One method for the separation according to the different specific weight has been developed and proved by an German company but the existing plant is not operated now because of the marked

conditions (e.g. low price for disposal in underground waste repositories). One factor which renders difficult the development of recycling technologies too is, that the components of the electrolyte of PCB-free capacitors are not known sufficient.

According to the concept of an Austrian company it would be possible to separate electrolytes mechanically by high pressure. After that the containing non ferrous components could be recovered by mechanical treatment and separation and used as secondary material (note: the mechanical treatment without pre-separation of electrolytes is not possible because of fire risk caused by containing phosphorous acid). To use the aluminium within the secondary aluminium smelteries this separation is necessary to reach the quality standards for input materials (low content of non-metal components and non-aluminium metals) which are given by the aim of avoiding emissions and reaching output product standards. Required minimum amounts for an economical operation and the price structure for the disposal as hazardous waste inhibited the realisation of the concept mentioned until know.

One opportunity to use the ingredients of electrolyte capacitors is realized in an battery recycling plant in Switzerland (thermal treatment, see Batrec) where the containing aluminium is used to adjust the quality of the slag. Otherwise other aluminium containing additions would be necessary and are substituted in this way.

In practise most capacitors are collected as a mixture of PCB-containing capacitors and electrolyte capacitors (calculated amount: about 110 t out of WEEE in Austria) and disposed of in plants for the thermal treatment of hazardous waste (in Austria) or in underground waste repositories (Germany).

For the not high rated opportunity to dispose capacitors by thermal treatment as hazardous waste treatment capacities are available in Austria. Based on the waste management targets to avoid and recycle waste it should be aimed at the recovery of aluminium. Therefore further information about the components of capacitors, possible residues of the pre-treatment, the chosen pre-treatment of the aluminium industry (see note at Enretec) or an pilot project to realize the mechanical treatment would be necessary.

➤ **Liquid crystal displays (LCD)**

The current amount of LCD out of the collection and dismantling of WEEE is low and is calculated for Austria with about 1.3 tons per year but a steep increase has to be expected in the medium-term future coming out of the area of lap-tops of the first generation or PC- and TV-flat panel technology.

The evaluation of possible treatment options has to be done under the consideration that in LCD mercury containing gas discharge lamps are integrated in the back-lightening system. If these gas discharge lamps are not removed and collected separately, only the treatment as mercury containing waste like thermal treatment or disposal in underground waste repositories are seen as options.

If these gas discharge lamps are dismantled the multi-layer structure of LCD-moduls containing glass (about 80 %), plastic foils and metal layers as well as plastic casing parts and circuit boards are to be considered. Within this structure liquid crystals represent an amount of 0.1 %.

The separation of glass form other components seems only possible after a pre-treatment like the **vacuum thermal treatment**. Within this method liquid crystals are separated under vacuum thermal conditions and decomposed catalytically. Under this conditions plastic foils get friable and could be separated mechanically afterwards. The cleaned glass could be recycled afterwards. For this - from the point of waste management - high rated technology high costs have to be calculated in comparison to other treatment options.

Within any thermal treatment option (e.g. thermal treatment with waste, smelteries) the multi-layer structure and possible reaction products of the layer components have to be taken into account and treatment should only be executed in plants with appropriate flue gas cleaning

steps. During thermal treatment of waste organic compounds of LCD are destroyed and it can be expected that appropriate flue gas cleaning elements are existing. Glass of LCD is used as slag-“producer” particularly within the thermal treatment of hazardous waste. At every other thermal treatment the flue gas cleaning is to be inquired.

Any kind of recycling of the glass has to be given the preference with regard to the recycling targets of the EU-directive. To what extent this can be realized e.g. within the glass-industry under consideration of the low potential amount (market for LCD-glass: 20.000 t at the moment), the multi-layer structure of LCD, the different glass composition of different producers and different kinds of glass for different flat panel technologies (e.g. TFT panel – boron silicate) has to be determined when higher amounts of LCD can be collected. To this option and to the treatment within the ceramic industry like recommended by the producer no experiences are available.

In Japan the treatment of LCD process waste (panel glass) within the zinc recovery process and ash smelting process is tested recently. Within these technologies LCD glass is used as source for silicon and substitute for silica sand.

The disposal of LCD at landfills for household waste will not be possible at medium term level because of the foreseen recycling targets for WEEE and - because of the content of plastic – the national landfill regulation.

To the potential health hazard effects of liquid crystals comprehensive research results on LC-substances and LC-mixtures were provided by the producer of LC a short time ago. These data exemplify that LC-mixtures introduced into the market now are neither classified as toxic, mutagenic, skin or eye irritating. Further results show that there is no ecotoxicological effect.

However these results are opposed by other tests which indicate toxic effect of LC-substances. Applied methods of these tests and the interpretation of the results are criticized vehemently by the producer of LC-substances. Beyond this there are open questions relating to bioaccumulation and the compounds used in “old LCD” and it is pointed out that analysis of independent institutes are missing.

The question of potential health hazard effects of LCD can not be final answered within this study about available treatment methods. The research program of the main producer of LC-substances is seen very positive by the author. Under consideration of the prognosticated high market potential of flat panels producer of LC-substance and appliances with LCD-modules should take further steps like

- testing of respectively providing of toxicological data for all new LC-substances
- a “positive-labeling” of LCD-modules or appliances which are - as has been proved - not containing substances with health hazard effects
- co-operation on analysis respectively provision of information regarding to “old LCD”
- change of experiences with independent institutes

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	Ziele und Abgrenzung	2
1.3	Angestrebte Ergebnisse	2
2	GRUNDLAGEN	3
2.1	Bauteilarten / Inhaltstoffe	3
2.1.1	<i>Kondensatoren</i>	3
2.1.1.1	PCB-haltige Kondensatoren und deren Unterscheidung von anderen Kondensatorarten	3
2.1.1.2	Elektrolytkondensatoren	6
2.1.1.3	Unterscheidung von Kondensatoren in der Praxis	7
2.1.2	<i>Quecksilberhaltige Bauteile</i>	9
2.1.2.1	Bauteilarten	9
2.1.2.2	Quecksilber	11
2.1.3	<i>Flüssigkristallanzeigen (LCD)</i>	14
2.1.3.1	Aufbau von Flüssigkristallanzeigen (LCD)	14
2.1.3.2	Schadstoffrelevanz der Flüssigkristalle	16
2.1.3.3	Erfahrungen aus der Sammlung von LCD	20
2.2	Aufkommen der definierten Bauteile in der Sammelware	21
2.2.1	<i>Kondensatoren</i>	21
2.2.2	<i>Quecksilberschalter</i>	21
2.2.3	<i>LCD</i>	22
2.3	IST-Situation Sammlung, Weiterleitung und Behandlung der Bauteile	24
2.3.1	<i>Kondensatoren</i>	24
2.3.2	<i>Quecksilberschalter</i>	24
2.3.3	<i>LCD</i>	25
3	MÖGLICHE BEHANDLUNGSVERFAHREN	26
3.1	Allgemeine Beschreibung von Verfahren bzw. Anlagen	26
3.1.1	<i>Vakuumthermisches Recycling</i>	26
3.1.1.1	Verfahrensprinzip	26
3.1.1.2	Anlagenbauer	28
3.1.1.3	Anlagenprinzip	29
3.1.2	<i>Anlagen zur thermischen Behandlung von Abfällen</i>	33
3.1.2.1	Batterierecyclinganlage der Firma BATREC	33
3.1.2.2	Batterierecyclinganlage der Firma Chemtec	35
3.1.2.3	Thermische Entsorgung von gefährlichen Abfällen der Fernwärme Wien, Werk Simmeringer Haide	36
3.1.3	<i>Untertagedeponien</i>	38
3.1.3.1	Allgemeines	38
3.1.3.2	Standorte für untertägige Ablagerung von Abfällen	40
3.1.3.3	Übernahmebedingungen der UTD	42
3.2	Verfahren zur Behandlung von Kondensatoren	45
3.2.1	<i>Trennung von Kondensatormischfraktionen</i>	45
3.2.2	<i>Abtrennung der Elektrolyte und mechanische Aufarbeitung</i>	49
3.2.3	<i>Vakuumthermische Behandlung von Kondensatoren</i>	52
3.2.4	<i>Pyrolyse</i>	53
3.2.5	<i>Thermische Behandlung gemeinsam mit Batterien</i>	54
3.2.6	<i>Thermische Entsorgung als gefährlicher Abfall</i>	54
3.2.7	<i>Untertagedeponierung</i>	55
3.2.8	<i>Überblick Technologien und Kosten</i>	55

3.3	Verfahren zur Behandlung von Hg-haltigen Bauteilen	57
3.3.1	<i>Vorabtrennung von flüssigem Quecksilber</i>	57
3.3.2	<i>Destillation unter vermindertem Druck (Vakuumdestillation)</i>	58
3.3.2.1	Kranner GmbH.....	59
3.3.2.2	GMR	63
3.3.2.3	NQR.....	65
3.3.2.4	Trienekens.....	67
3.3.3	<i>Thermische Behandlung mit gezielter Hg-Rückgewinnung</i>	68
3.3.3.1	Firma Chemtec	68
3.3.3.2	Firma BATREC.....	72
3.3.4	<i>Thermische Entsorgung</i>	73
3.3.5	<i>Untertagedeponierung</i>	73
3.3.6	<i>Überblick Technologien und Kosten</i>	74
3.4	Verfahren zur Behandlung von Flüssigkristallanzeigen (LCD)	76
3.4.1	<i>Vakuumthermische Abtrennung und katalytische Umsetzung der Flüssigkristallsubstanzen</i>	76
3.4.2	<i>Thermische Behandlung der LCD</i>	80
3.4.2.1	Verhalten von LC und LCD bei der thermischen Behandlung	80
3.4.2.2	Thermische Entsorgung als gefährlicher Abfall.....	81
3.4.2.3	Thermische Behandlung mit anderen Abfallfraktionen.....	81
3.4.3	<i>Deponierung</i>	82
3.4.3.1	Untertagedeponien	82
3.4.3.2	Hausmülldeponien.....	82
3.4.4	<i>Alternative Verwertungstechnologien</i>	82
3.4.5	<i>Überblick Technologien und Kosten</i>	84
4	ZUSAMMENFASSUNG / SCHLUSSFOLGERUNGEN	85
4.1	Genehmigung zur Behandlung der definierten Bauteile.....	85
4.2	Behandlung von Kondensatoren	86
4.3	Behandlung von Quecksilberschaltern	88
4.4	Behandlung von LCD	90
ANHANG	93
-	Tabellenverzeichnis	
-	Abbildungsverzeichnis	
-	Bildverzeichnis	
-	Literaturverzeichnis	
-	Quellenverzeichnis	
-	Gesetze / Verordnungen / Richtlinien /Normen	

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

In vielen Teilen Österreichs werden Elektroaltgeräte (in der Folge kurz EAG) zum Teil als Fortführung von Pilotprojekten oder auf Initiative der Verantwortlichen aus diesen Regionen gesammelt und einer getrennten Behandlung zugeführt.

Im Rahmen der Sortierung, Vordemontage und Demontage der Geräte werden Bauteile mit gefährlichen Inhaltstoffen, Wertstoffe wie Metallteile, Kunststoffe und Reststoffe abgetrennt und einer direkten Behandlung (Verwertung oder Entsorgung) zugeführt.

Kunststoff-/Metallverbunde wie schadstoffentfrachtete Gerätetorsi, Gerätekomponenten (z.B. Ablenkspulen, Kabeln) oder schadstoffentfrachtete Leiterplatten werden durch eine mechanische Aufarbeitung in Metall- und Reststofffraktionen aufgetrennt.

Für die Demontage der EAG, die mechanische Aufarbeitung der Kunststoff-/Metallverbunde, die weitere Separation der Metallfraktionen und die Verwertung der Metallfraktionen sind die technologischen Möglichkeiten zur Behandlung geklärt und es bestehen in Österreich ausreichende Behandlungskapazitäten.

Für Bauteile mit gefährlichen Inhaltstoffen, die sowohl aus der direkten Sammlung dieser Abfallarten als auch aus der Demontage von Elektroaltgeräten stammen können, wurden bereits Handlungsgrundsätze ausgearbeitet (z.B. für Batterien und Akkumulatoren, Leuchtstoffröhren) oder ist für andere Bauteile die Behandlung aufgrund deren Inhaltstoffe und bestehender Vorgaben weitgehend geklärt (z.B. FCKW und andere Kältemittel, PCB- und PCT-haltige Betriebsmittel, asbesthaltige Abfälle).

Für die mengenmäßig hohen Anteile an Bildröhrenglas (aus der Demontage und weiteren Auftrennung der Kathodenstrahlröhren) und für Kunststoffe (aus der Demontage von Geräten und aus der mechanischen Aufarbeitung von Kunststoff-Metallverbunden) fehlen derzeit konkrete Vorgaben betreffend deren Behandlung. In parallel zu dieser Arbeit vergebenen Studien werden die Behandlungsmöglichkeiten und verfügbaren Kapazitäten für diese Abfallarten untersucht.

Für einige Bauteile, die aus der Demontage von EAG anfallen können und die derzeit als gefährliche Abfälle eingestuft sind, erscheinen die verfügbaren Behandlungsmöglichkeiten nicht ausreichend geklärt. Es sind dies

- Kondensatoren (PCB-haltige Kondensatoren und Elektrolytkondensatoren)
- Quecksilberschalter
- Flüssigkristallanzeigen (LCD)

Im Rahmen dieser Arbeit soll auf die potentiellen Behandlungsmöglichkeiten für diese Bauteilarten näher eingegangen werden.

1.2 Ziele und Abgrenzung

Ziel dieser Studie ist es, die Verwertungs- bzw. Entsorgungsmöglichkeiten für die Bauteilarten Kondensatoren (PCB-haltige Kondensatoren und Elektrolytkondensatoren), Quecksilberschalter und Flüssigkristallanzeigen (LCD) genauer darzustellen.

Im Wesentlichen soll hierfür durchgeführt werden:

- eine Abschätzung des potentiellen Aufkommens der Fraktionen unter Berücksichtigung der EU-weit angestrebten Sammelmengen von 4 kg EAG pro Einwohner und Jahr
- eine Erhebung der Entsorgungswege in Österreich
- eine Darstellung
 - der technologischen Möglichkeiten zur Behandlung dieser Fraktionen,
 - der verfügbaren Kapazitäten
 - der Qualitätsanforderungen bzw. Übernahmebedingungen,
 - der jeweiligen Übernahme- bzw. Behandlungskosten und
 - der erzielbaren Produkte bzw. des Nutzens durch den Einsatz der Fraktionen

Als vordefinierte **Abgrenzung** gilt, dass kein Vergleich der Umweltauswirkungen im Sinne von "Ökobilanzen" erstellt werden soll, eine Bewertung der Sinnhaftigkeit der verschiedenen Verfahren jedoch gewünscht wird.

Generell sollen verfügbare Technologien erhoben werden, für die genehmigte Anlagen bestehen und die schon jetzt Fraktionen vom Markt übernehmen. Auf Projekte aus diesen Bereichen kann verwiesen werden, wobei die Frage der Realisierbarkeit soweit als möglich abgeschätzt werden soll.

1.3 Angestrebte Ergebnisse

Als angestrebtes Ergebnis gilt es, Antworten zu den folgenden Fragen zu bieten:

- Potentielles Mengenaufkommen der jeweiligen Fraktionen
- Welche Technologien zur Verwertung bzw. Entsorgung stehen für die jeweiligen Fraktionen zur Verfügung?
- Sind die verfügbaren Kapazitäten ausreichend?

Generell sollen die Technologien der jeweiligen Verfahren und die technologischen Vor- und Nachteile des Einsatzes der Fraktionen aus Elektroaltgeräten dargestellt werden. Eine rechtliche Abgrenzung, inwieweit es sich um Maßnahmen oder Behandlungsverfahren zur Verwertung oder Entsorgung handelt, ist nicht Ziel dieser Studie.

2 Grundlagen

2.1 Bauteilarten / Inhaltstoffe

2.1.1 Kondensatoren

Nach der ÖNORM S 2106 werden Kondensatoren nach **PCB-haltige Kondensatoren** (SNr 54110) und **Elektrolytkondensatoren** (SNr 35209) unterschieden. Beide Kondensatorarten werden in Österreich als **gefährliche Abfälle** eingestuft (FestsetzungsVO, 2000).

Nach den im Bundesabfallwirtschaftsplan 1998 dargelegten Behandlungsgrundsätzen für Elektroaltgeräte müssen PCB-haltige Kondensatoren jedenfalls getrennt erfasst werden. Elektrolytkondensatoren sollen ab einer Größe (Durchmesser oder Kantenlänge) von 25 mm getrennt erfasst werden (BAWP, 1998).

Die Einstufung von Elektrolytkondensatoren als gefährlicher Abfall und damit auch die Vorgabe, diese aus Elektroaltgeräten demontieren zu müssen, beruht u.a. auch darauf, dass im Rahmen von umfangreichen Diskussionen zur ÖNORM S 2106 von Seiten der Hersteller von Kondensatoren keine Angaben zu den verwendeten Inhaltstoffen bereitgestellt wurden (vgl. aktuelle Angaben zur den Inhaltstoffen von LCD – Pkt. 2.1.3.2). Die Abgrenzung nach der Größe erfolgte unter Berücksichtigung der Praxis und der Umsetzbarkeit, dass kleinere Kondensatoren insbesondere von Leiterplatten nur mit einem sehr hohen Aufwand abzutrennen wären.

Im aktuellen Verzeichnis über gefährliche Abfälle der Europäischen Union sind PCB-haltige Kondensatoren unter dem Abfallcode 16 02 09* „Transformatoren und Kondensatoren, die PCB enthalten“ angeführt, Elektrolytkondensatoren sind darin derzeit nicht enthalten (EU, 2001 (1)).

Im vorliegenden Vorschlag für eine EU-Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte vom 22. Dez. 2000 wird eine Demontage und selektive Behandlung von PCB-haltigen Kondensatoren vorgegeben. Ob und wann Elektrolytkondensatoren getrennt zu erfassen und zu behandeln sind, wird derzeit diskutiert (EU, 2000).

2.1.1.1 *PCB-haltige Kondensatoren und deren Unterscheidung von anderen Kondensatorarten*

Kondensatoren werden als Bauteile in annähernd allen elektrischen Geräten wie Haushaltsgeräten und Werkzeugen, Geräten der Haustechnik, der Unterhaltungselektronik und in IT- und Telekommunikationsgeräten (Details dazu siehe BMLFUW, 2000) und in vielfältiger Funktion eingesetzt. Nach DIN 41312 erfolgt eine Unterscheidung in

- Elektrolytkondensatoren
- Papierkondensatoren
- Metallpapierkondensatoren
- Keramikkondensatoren
- Kunststofffolienkondensatoren und
- Glimmerkondensator

Schon vor mehreren Jahren wurden von der Arbeitsgruppe Umweltstatistik (ARGUS) der Technischen Universität Berlin eine Untersuchung von Kleinkondensatoren durchgeführt. Im Rahmen dieser Studie wurden Kleinkondensatoren auf deren möglichen **PCB-Gehalt** untersucht und **Unterscheidungsmerkmale** für die Identifizierung von PCB-haltigen Kondensatoren gesucht. Hierfür wurden Umfragen bei Kondensatorherstellern und Stichprobenerhebungen auf Berliner Schottplätzen durchgeführt, eine Sammlung von Kondensatorbeschriftungen angelegt, ausgebaute Kondensatoren nach Klassen (Bauteilkondensatoren, Plastikkondensatoren/Filter, Metallpapierkondensatoren (PCB frei), PCB-Verdacht und PCB-sicher (=deklariert)) sortiert, nach Anwendungsklassen und

Bauformen unterschieden, das Kondensatorraumgewicht ermittelt und Analysen betreffend Halogengehalt der Kondensatoren durchgeführt. Die Kondensatoren wurden klassifiziert nach (BARGHOORN, 1988):

- **Elektrolytkondensatoren** – das Dielektrikum von Elektrolytkondensatoren besteht aus hauchdünnen Schichten von Metalloxiden (Aluminiumoxid oder Tantaloxid). PCB-haltige Dielektrikumsflüssigkeiten sind nicht enthalten (KIM Y., THOMANETZ E., 1995) - siehe 2.1.1.2. Vor allem Aluminium-Elektrolytkondensatoren sind durch das niedrige spezifische Gewicht von Aluminium ($2,7 \text{ g/cm}^3$) leichter als Papierkondensatoren mit Folien.
- **Papierkondensatoren** - wurden früher auch als „Clophenkondensatoren“ bezeichnet, da als Tränkmittel meist PCB eingesetzt wurde. Das Dielektrikum besteht aus Sulfatzellulosepapier zwischen welchem Aluminiumfolie liegt und einem Imprägniermittel. Hierfür benutzte man auch Wachse auf Basis von chlorierten Naphthalinen und Biphenylen.
- **Metallpapierkondensatoren** („MP“) - sind die direkten Konkurrenten der Papierkondensatoren. Im Unterschied zu diesen sind hier keine Folien enthalten, sondern auf das Papier dünne Metallbeläge aufgedampft. Als Tränkmittel dienen Mineralöle. Bei der Laboranalyse von MP-Kondensatoren wurde kein Chlor gefunden. MP-Kondensatoren sind im Durchschnitt **kleiner** und **leichter** als Papierkondensatoren mit Folien.
- **Keramik-, Kunststofffolien-** („PP“-) und **Glimmerkondensatoren** sind sehr **klein** oder werden **nicht imprägniert**.

Als **Einsatzgebiete** für Papier- und MP-Kondensatoren - und damit die zur Ermittlung des potentiellen PCB-Gehaltes bzw. zur Unterscheidung relevanten Kondensatoren - wurden aufgezeigt:

- Leistungskondensatoren für Leuchtstofflampen
- Glättungskondensatoren in Gleichrichteranlagen
- Motorkondensatoren als Anlass- und Betriebskondensatoren, u.a. in den langlebigen Haushaltsgeräten wie Waschmaschinen und Geschirrspülmaschinen
- Kompensationskondensatoren für den Betrieb von Leuchtstofflampen

Folgende weitere wesentliche Ergebnisse wurden angeführt:

- Eine Unterscheidung nach **Anwendungsklassen** stellt keine universelle Hilfe für die Unterscheidung in MP- und PCB-Kondensatoren dar.
- Eine Unterscheidung nach der **Bauform** zeigt, dass der Anteil der PCB-Verdacht- und PCB-deklariert Kondensatoren bei Kondensatoren mit Metallverschlüssen (Falzen und Verlöten) und mit vergossenen Kunstharzverschlüssen (Verschluss zum Kondensatorinneren hin gewölbt, meist hellgraue Kunstharzfällung, kleine Einfüllnippel für das Tränkmittel) sehr hoch ist.
- Kondensatoren mit **Plastikgehäuse** können kein PCB enthalten. Diese Schlussfolgerung beruht darauf, dass Kunststoffgefäße, die für die Zwischenlagerung von beschädigten Kondensatoren innerhalb des Untersuchungszeitrahmens verwendet wurden, bei Gegenwart von PCB-haltigen Tränkmitteln nach einem Jahr aufgrund der Aggressivität der PCB-haltigen Flüssigkeit undicht waren.
- Das **Kondensatorraumgewicht** lässt eine eindeutige Unterscheidung zwischen MP-Kondensatoren und Kondensatoren mit PCB-Verdacht bzw. PCB deklariert zu.

Hierzu wurde zusammengefasst, dass sich alle zweifelhaften Fälle von nicht-deklarierten Kondensatoren durch die **simultane Berücksichtigung** der variablen Bauform und des Raumgewichtes eindeutig in MP-Kondensatoren oder Kondensatoren mit PCB-Verdacht zuordnen lassen.

Weiters kam man zu dem Ergebnis, dass für folgende **Gerätearten** die höchste **Gefahrenquote** (Verhältnis von Geräten mit PCB-haltigen Kondensatoren zu Gesamtanzahl an Geräten) besteht, wobei die Stichproben auf die Kondensatorherstellungsjahre 1960-1981 bezogen wurden:

Leuchtstofflampen	65,8 %	Dunstabzugshauben.....	36,4 %
Ölbrenner.....	62,5 %	Waschmaschinen	10,3 %
Trockenhauben.....	60 %	Geschirrspüler	6,2%

Es wurde darauf hingewiesen, dass unter Berücksichtigung der **Gebrauchsdauer** der Geräte insbesondere bei Leuchtstofflampen (Anm.: im österreichischen Sprachgebrauch: Leuchtbalken), Waschmaschinen, Trockenhauben und alten Ölbrennern noch mit dem Vorkommen von PCB-haltigen Kondensatoren zu rechnen sei.

Es wurde weiters abgeschätzt, dass bei gleichbleibendem Ausmusterungs- und Verschrottungsverhalten vor allem bei Leuchtbalken bis ins Jahr 2017 mit PCB-haltigen Kondensatoren zu rechnen sei und sich unter Berücksichtigung des Gerätegesamtbestandes, der Gefahrenquote und der PCB-Menge pro Gerät die **höchsten PCB-Frachten** für Leuchtbalken und Waschmaschinen ergeben, Ölbrennern und Dunstabzugshauben jedoch nicht zu vernachlässigen seien.

Argumente dahingehend, dass es sich hierbei um sehr alte Geräte handelt, die Ergebnisse aus Berlin durch den Einfluss der Geräteherkunft (DDR, UDSSR) bestimmt sind und demnach in Österreich keine PCB-haltigen Kondensatoren in der Sammelware an Elektroaltgeräten enthalten sind, wurden durch verschiedene Untersuchungen im Rahmen der Pilotprojekte zur Sammlung und Behandlung von Elektroaltgeräten bzw. in weiteren Erhebungen zur PCB-Problematik widerlegt.

- Im Rahmen des PILOTPROJEKTES BREGENZ wurde vom Umweltinstitut des Landes Vorarlberg, Abteilung Umweltchemie im Jahr 1995 eine Stichprobe von 50 Stück Kondensatoren näher untersucht. 13 Kondensatoren aus dem **höheren Spannungsbereich** (≥ 250 V) und größerer **Abmessung** (Länge ≥ 70 mm) wurden verworfen. 8 dieser Kondensatoren enthielten Flüssigkeiten (farblos - gelblich, ölig - sehr viskos, meist klar) und 3 dieser 8 Kondensatoren enthielten große Mengen an PCB. Sie entfielen auf Spannungsbereiche ≥ 380 V und waren ≥ 130 mm lang.

Eine Analyse der Ergebnisse im Bezug auf das Unterscheidungsmerkmal der **Dichte** der Kondensatoren zeigte, dass jene Kondensatoren mit einem nachweisbar hohen PCB-Gehalt in die Gruppe ≥ 5 g/cm³ fielen (UMWELTINSTITUT DES LANDES VORARLBERG, 1995 in SALHOFER, GABRIEL, 1996).

- Im Rahmen des PILOTPROJEKTES WEIZ wurden im Jahr 1995 aus Haushaltsgroßgeräten aus der kommunalen Sammlung wie z.B. Waschmaschinen, Wäschetrockener und Geschirrspüler Kondensatoren ausgebaut und analysiert. In der Sichtprobe von 100 Kondensatoren konnten 11 Kondensatoren als PCB-hältig identifiziert werden (NELLES H. et al., 1996).
- Eine Untersuchung des Amtes für Technik des MAGISTRATES DER LANDESHAUPTSTADT LINZ kommt nach einer umfangreichen Bestandsaufnahme über den Einsatz PCB-haltiger Betriebsmittel zu dem Schluss, dass zu diesem Zeitpunkt ca. 1/4 aller in stadteigenen Gebäuden in Verwendung stehenden Beleuchtungskörper mit Leuchtstoffröhren PCB-haltige Kondensatoren enthielten (STALTNER, 1991).
- In der „PCB-Stoffbilanz Österreich“ des Umweltbundesamtes Wien wird darauf hingewiesen, dass in Österreich in **Kleinkondensatoren** insgesamt rund 820 t PCB eingesetzt wurden, wobei im Jahr 1995 550 t bereits entsorgt und 270 t noch in Gebrauch waren. Weiters wird darauf hingewiesen, dass unter Berücksichtigung dessen, dass die ordnungsgemäße und fachgerechte Entsorgung der Kleinkondensatoren nach dem Stand

der Technik bisher noch nicht flächendeckend gewährleistet ist, (Zitat) die Kleinkondensatoren in Elektrogeräten die derzeit bedeutendste potentielle PCB-Emissionsquelle darstellen.

Für den Bereich der Leuchtballen wird gezeigt, dass diese bis über das Jahr 2010 hinaus ein bedeutendes PCB-Emissionspotential darstellen (z.B. fast 4.000 kg für das Jahr 2010), für Waschmaschinen ist das PCB-Emissionspotential zu diesem Zeitpunkt auf rd. 2 kg abgesunken (MADERNER, HOBIGER, 1996).

Das Gefährdungspotential PCB-haltiger Kondensatoren liegt in der Toxizität der PCB selbst, deren Persistenz und hohen Akkumulationsfähigkeit im Ökosystem und deren mit zunehmendem Chlorgehalt steigenden Fettlöslichkeit. Weiters können PCB produktionsbedingt polychlorierte Dibenzodioxine und -furane enthalten bzw. gelten als deren Precursor bei einer thermischen Behandlung der Abfälle.

Um PCB durch thermische Prozesse vollständig zu zerstören, muss bei einer Temperatur von 1200° C eine Verweilzeit von mindestens 2 Sekunden eingehalten werden (MAST, 1993). Werden diese Voraussetzungen nicht erfüllt, so können polychlorierte Dibenzofurane gebildet werden.

Bei PCB-Gemischen mit einem Chlorgehalt von 42 % liegt der MAK-Wert in Österreich bei 1 mg/m³, mit einem Chlorgehalt von 54 % bei 0,5 mg/m³. Für sie besteht ein begründeter Verdacht auf ein krebserregendes Potential - Einstufung in die Gruppe III B, auf die besondere Gefahr der Hautresorption wird hingewiesen (AUVA, 1995).

2.1.1.2 Elektrolytkondensatoren

Die für einen Kondensator charakteristischen „zwei Platten“ bestehen bei einem Aluminium-Elektrolytkondensator aus

- einer Aluminiumfolie aus hochreinem Aluminium – der Anode - und
- einer „Quasi-Platte“, bestehend aus dem flüssigen, im Allgemeinen stark eingedickten, Elektrolyten, der in einem Kunststoffgewebe oder Papier aufgesaugt ist – der Kathode - und
- dem dazwischenliegenden Aluminium-Dielektrikum aus Aluminiumoxid (Al₂O₃).

Die zweite innerhalb eines Elektrolytkondensators befindliche Aluminiumfolie dient als Stromzuführung zur Kathode bzw. zum Elektrolyten und hat keine Kondensatorfunktion im engeren Sinn. Aufgrund der außerordentlich dünnen, auf der Al-Anode aufgewachsenen, Dielektrikumsschicht sind sehr **hohe** Kondensator-**Kapazitäten** realisierbar.

Anode, Dielektrikum und Kathode und die Aluminiumfolie zur Stromzuführung bilden eine Schicht, welche von der nächsten Schicht der Wicklung durch eine Papierschicht zur Isolation abgetrennt ist (KIM, THOMANETZ, 1995).

Nach dem selben Prinzip sind auch Tantal-Elektrolytkondensatoren aufgebaut, wobei die Anode aus Tantal, das Dielektrikum aus Tantaloxid (Ta₂O₅) und die Stromzuführung aus Tantal oder Silber besteht. Als flüssiger Elektrolyt wird z.B. Phosphorsäure eingesetzt. In Tantal-Elektrolytkondensatoren mit festem Elektrolyten wird Mangandioxid, ein fester Halbleiterelektrolyt, verwendet (HARANT et al., 1998).

Allgemein wird die genaue Zusammensetzung der verwendeten **Elektrolyten** von den Herstellerfirmen nicht bekannt gegeben, da es sich hierbei um das geheimgehaltene Know-how der Herstellerfirmen handelt. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass aus der Funktion eines Aluminium-Elektrolytkondensators deutlich wird, dass PCB-haltige Tränkmittel als Bestandteil eines Elektrolytkondensators nicht erforderlich waren und auch keine Funktion

hätten (KIM, THOMANETZ, 1995). Aus der Literatur ermittelte verwendete Komponenten für Elektrolytflüssigkeiten sind wässrige Lösungen spezieller anorganischer Säuren wie Bor- und Phosphorsäure oder organischer Mono-, Di-, oder Tricarbonensäuren wie z.B. Adipin-, Ameisen-, Bernsteinsäure, Essigsäure u.ä.. Als Lösemittel für die Säuren und gleichzeitiges Korrosionsschutz-Additiv kommen u.a. Butyrolacton, N-Methylacetamid, N,N-Dimethylacetamid, N-Methylformamid, N,N-Dimethylformamid, Glycerin, Glykole, Amine wie z.B. Triethylamin und wässrige ammoniakalische Lösungen zum Einsatz (KIM, THOMANETZ, 1995; LANDECK, 1995). Genauere Angaben zu den verwendeten Komponenten und Additiven wurden auch innerhalb der umfangreichen Diskussionen zur ÖNORM S 2106, bei der auch Hersteller von Kondensatoren vertreten waren, nicht bereitgestellt.

Bei der Frage, ob Elektrolytkondensatoren getrennt zu behandeln wären, ist auch die Möglichkeit zur **wertstofflichen Rückgewinnung** der Inhaltstoffe zu betrachten. So wurde z.B. im Rahmen von Voruntersuchungen für eine potentielle pyrolytische Behandlung von Elektrolytkondensatoren ermittelt, dass Aluminium-Elektrolytkondensatoren rd. 50 % reines Aluminium in metallischer Form enthalten – siehe dazu auch Pkt. 3.2.4.

2.1.1.3 Unterscheidung von Kondensatoren in der Praxis

Kondensatoren sind meist als zylindrische Formen gefertigt, zum Teil handelt es sich jedoch um abgerundete Quader – siehe Bild 2.1.

Die Unterscheidung zwischen PCB-haltigen Kondensatoren und anderen Kondensatoren ist meist schwierig. Nach Erfahrungen aus der Praxis geben vor allem

- die **Herkunft** und
- der **Spannungs- und Kapazitätsbereich**

die besten Anhaltspunkte dafür, ob es sich um einen PCB-haltigen Kondensator handeln kann (NAGL, 2001).



Bild 2.1: Bauformen Kondensatoren

Wie unter Pkt. 2.1.1.1 erläutert, stellt eine **Herkunft** (der Einsatzbereich) aus Leuchtbalken und Haushaltsgroßgeräten wie z.B. Waschmaschinen, Ölbrennern, Dunstabzugshauben, Geschirrspülern bzw. eventuell auch Trockenhauben eine gewisse Gefahrenquote dar. Weiters zeigen sowohl Untersuchungsergebnisse als auch die Erfahrungen aus der Praxis, dass potentiell PCB-haltige Kondensatoren für **hohe Spannungsbereiche** eingesetzt werden und **niedrige Kapazitätswerte** aufweisen (vgl. 2.1.1.2 Elektrolytkondensatoren hohe Kapazitätswerte).

Die **Bauform** (Metallverschlüsse, vergossenen Kunstharzverschlüssen) würde nach den Ergebnissen von BARGHOORN, 1988 weitere Anhaltspunkte zum potentiellen PCB-Gehalt liefern (vgl. Pkt. 2.1.1.1). Dieses Unterscheidungsmerkmal wird in der Praxis nur im Rahmen der allgemeinen Erfahrungen genutzt.

Das Unterscheidungsmerkmal des höheren **Kondensatorraumgewichtes** von PCB-haltigen Kondensatoren wurde bereits für verschiedene Versuche zur Unterscheidung von Kondensatoren herangezogen, eine Firma in der Nähe von Berlin hat dafür eine Anlage errichtet (siehe Pkt. 3.2.1 - Firma Enretec). Kritiker sprechen jedoch davon, dass für eine Unterscheidung jegliche Aufbauten abzutrennen sind und dass Elektrolytkondensatoren zum

Teil mit Vergussmaterialien mit hohem spezifischem Gewicht teilbefüllt sind und so den PCB-haltigen Kondensatoren zugeordnet werden würden.

Eine Unterscheidung aufgrund der **Kennzeichnung** der Kondensatoren ist nur theoretisch umsetzbar. Kennzeichnungen wie Clophen (siehe

Bild 2.2), Chlordiphenyl, A30, A40, C, CD, 3CD, 4CD, 5CD, C2, CP, Cp, CPA40, CPA50, C100, C125, C180, 76C, 6D, 9D, 3LP (UMWELTBEHÖRDE HAMBURG, 1999) liefern Anhaltspunkte.



Bild 2.2: Kennzeichnung von Kondensatoren

Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass diese Kennzeichnung nicht immer vorhanden ist und dass die Unterscheidung aufgrund dieser Kennzeichnung bzw. anhand von Kondensatorlisten in der Praxis einen zu hohen Zeitaufwand darstellt.

2.1.2 Quecksilberhaltige Bauteile

Quecksilber, quecksilberhaltige Rückstände und Quecksilberdampflampen gelten in Österreich als **gefährlicher Abfall** (SNr 35326, FestsetzungsVO, 2000). Sie sind nach den im Bundesabfallwirtschaftsplan 1998 dargelegten Behandlungsgrundsätzen für Elektroaltgeräte sowohl aus Geräten als auch von Leiterplatten zu demontieren und getrennt zu erfassen (BAWP, 1998).

Im aktuellen Verzeichnis über gefährliche Abfälle der Europäischen Union sind Quecksilberschalter als ein Beispiel für gefährliche Bestandteile in Elektroaltgeräten angeführt (vgl. Anmerkung 2) und wären demnach dem Abfallcode 16 02 15 "aus gebrauchten Geräten entfernte gefährliche Bestandteile" zuzuordnen – siehe Kasten (EU, 2001 (1)).

16 02 Abfälle aus elektrischen und elektronischen Geräten

16 02 13 gefährliche Bestandteile (Anmerkung 2) enthaltende gebrauchte Geräte*

16 02 15 aus gebrauchten Geräten entfernte gefährliche Bestandteile*

*(Anmerkung 2) Gefährliche Bestandteile elektrischer und elektronischer Geräte umfassen z. B. Akkumulatoren und unter 16 06 aufgeführte und als gefährlich eingestufte Batterien, **Quecksilberschalter**, Glas aus Kathodenstrahlröhren und sonstiges beschichtetes Glas.*

Auszug aus EU, 2001 (1)

Auch im vorliegenden Vorschlag für eine EU-Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte vom 22. Dez. 2000 wird eine Demontage und selektive Behandlung von quecksilberhaltigen Bauteilen vorgegeben (EU, 2000).

2.1.2.1 Bauteilarten

Unter den Überbegriff Quecksilberschalter fallen Bauteile wie

- **Quecksilberdampfdruck-Schalter** – diese Schalter sind z.B. in älteren Boilern eingebaut. Sie sind leicht anhand der sichtbaren Glasampulle und dem darin enthaltenen flüssigen, silbernen, metallisch glänzenden Quecksilber erkennbar. Die Funktionsweise dieser Schalter beruht darauf, dass sich Quecksilber in einem geschlossenen Gefäß im Gleichgewicht mit seinem Dampf befindet. Mit steigender Temperatur nimmt der Sättigungsdampfdruck zu und durch den Druck wird z.B. ein Federkörper bewegt, wodurch z.B. ein Ventil geöffnet oder ein Zeiger bewegt wird.



Bild 2.3: Quecksilberschalter aus Boilern

- **Quecksilberneigungs- oder -kippschalter** – das Ein- und Ausschalten des elektrischen Stromes erfolgt durch Kippen einer Quecksilber-Schaltröhre und die Verlagerung des darin enthaltenen eingeschmolzenen Quecksilbers. Die Glasampullen mit dem enthaltenen Quecksilber sind in Bauteilen wie Treppenlichtautomaten, Zeitschaltuhren u.ä. leicht zu erkennen (siehe Bild 2.4).



Bild 2.4: Quecksilberschalter – Zeitschalter

Problematischer wird es, wenn

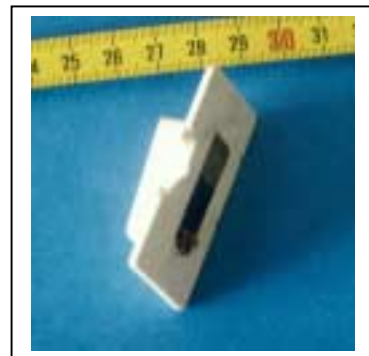
- diese Teile z.B. in **Schwimmkörper eingegossen** sind, da hier nur das unvermutet hohe Gewicht einen Hinweis auf den Gehalt an spezifisch sehr schwerem Quecksilber geben kann. So ist z.B. in Pumpenschwimmern fallweise ein Quecksilber-gefülltes Glasröhrchen im Inneren des Schwimmkörpers zu finden. Das Quecksilber gibt bei einer Schwimmerposition über der Waagrechten den Kontakt zur Pumpe oder

Bild 2.5: Pumpenschwimmer



- relativ kleine Quecksilber-Ein-Aus-Schalter **in Harz eingegossen** und mit **Kunststoffteilen umhüllt** sind. Anwendungsbeispiele sind hier z.B. Schalter für die Beleuchtung von Tiefkühltruhen wo solche Schalter im Deckel der Tiefkühltruhen angebracht sind und ab einer gewissen Neigung des Deckels den Kontakt für die Stromversorgung der Beleuchtung bieten.

Bild 2.6: Quecksilberschalter – Tiefkühltruhe



- **Quecksilberrelais** – bestehen aus elektrisch und magnetisch leitenden, mit Quecksilber benetzten Kontaktzungen. Diese werden von einem Glasrohr umgeben. Das Glasrohr ist mit Schutzgas befüllt. Ein äußeres Leitblech dient zur magnetischen Abschirmung gegen Störfelder. Zum Teil sind die Schalter in Kunststoff eingegossen. Einsatzgebiete dieser Schalter waren z.B. in der Tele-Kommunikationstechnik und in hochwertigen EDV-Geräten gegeben.

Das Erkennen dieser Bauteile ist schwierig, da sie nur zum Teil mit der Kennung „Quecksilber“ oder „Mercury“ gekennzeichnet sind. Weitere Hinweise sind Aufschriften wie „High speed module“, „Danger, do not open“ oder Typenbezeichnungen mit „HG“ oder „MC“. Zum Teil sind sie über den Firmennamen CLARE oder NEC zu identifizieren. Die Besonderheit von Reedrelais ist, dass sie meistens lageabhängig einzubauen sind und in der Regel mit einem Positionierungspfeil versehen sind.



Bild 2.7: Quecksilberrelais

Zur Anwendung von Quecksilberschaltern kann zusammengefasst werden, dass diese eingesetzt wurden, wenn

- eine **hohe Sicherheit** der Schaltung gefordert war,
- **viele Schaltvorgänge** durchgeführt wurden und
- **hohe Stromflüsse** gegeben waren.

Die Anwendung von Quecksilber ist jedoch nicht mehr Stand der Technik und in neuen Geräten werden mechanische Schalter, Bimetallschalter o.ä. eingesetzt. In der Sammelware an Elektroaltgeräten können diese Schalter jedoch noch enthalten sein und werden bei einer sorgfältigen und fachgerechten Demontage auch noch vorgefunden (siehe Pkt. 2.2.2 Aufkommen).

In der Praxis des **Quecksilberrecyclings** werden Quecksilberschalter in

- Quecksilberschalter anorganisch
- Quecksilberschalter organisch

unterschieden.

Bei Quecksilberschalter anorganisch handelt es sich um Bauteile, die nur aus anorganischen Komponenten bestehen. Im engeren Sinne handelt es sich hierbei um die Glasampullen, in denen das Quecksilber in flüssiger Form enthalten ist.

Alle quecksilberhaltigen Bauteile, die neben dieser Glasampulle auch organische Komponenten, wie Kunststoffummantelungen, Harzvergussmaterialien, Kabel, Isolationsteile u.ä. enthalten, werden als Quecksilberschalter organisch bezeichnet. Diese müssen unter gezielter Oxidation der organischen Komponenten und Berücksichtigung der potentiellen Reaktionsprodukte behandelt werden.

2.1.2.2 Quecksilber

Quecksilber zeichnet sich durch seine hohe Dichte von 13,54g/cm³ und die für ein Metall besondere Eigenschaft aus, dass es bei Zimmertemperatur flüssig ist. Der Schmelzpunkt liegt bei - 38,9° C, der Siedepunkt (bzw. Sublimationspunkt) liegt bei 1 bar Umgebungsdruck bei 357° C. Durch Absenken des Umgebungsdruck kann der Siedepunkt entsprechend herabgesetzt werden, was bei der Rückgewinnung von Quecksilber durch Vakuum-Destillationsverfahren genützt wird – siehe Punkt 3.1.1 VTR.

Quecksilber ist ein Schwermetall, das als toxisch eingestuft ist. Reines metallisches Quecksilber ist an sich nicht giftig und würde – in flüssiger Form aufgenommen - vom menschlichen Organismus wieder ausgeschieden werden. Metallisches Quecksilber zeichnet sich jedoch durch einen hohen Dampfdruck sowie eine gute Wasser- und Fettlöslichkeit aus. Der Dampfdruck bewirkt, dass Quecksilber schon bei Zimmertemperatur verdampft und hohe Konzentrationen in der Luft auftreten können. Quecksilberdämpfe sind giftig. Quecksilberdampf hat in der Atmosphäre eine lange Aufenthaltszeit und kann über weite Strecken transportiert werden. Weiters sind die meisten Quecksilberverbindungen hoch giftig.

Der MAK-Wert für Quecksilber liegt bei 0,05 mg/m³ und für organische Quecksilberverbindungen – gemessen als Gesamtstaub – bei 0,01 mg/m³ (AUVA, 1995).

Die Verwendung von Quecksilber ist stark rückläufig. Anwendungsgebiet sind heute (KRANNER (2), 2001)

- ⇒ Amalgam in der Zahnmedizin ¹⁾
- ⇒ Produktion von Natronlauge und Salzsäure mittels Chloralkali-Elektrolyse
- ⇒ Quecksilberdampflampen
- ⇒ Leuchtstoffröhren
- ⇒ Relais
- ⇒ Beizen von Saatgut
- ⇒ Goldgewinnung
- ⇒ Sperrflüssigkeit im Laborbereich

Quecksilber wird nach verschiedenen Typen gehandelt, wobei in der Recyclingbranche der Reinheitsgrad an Quecksilber oft in sogenannten 9-er-Klassen angegeben wird (4-9-er Klasse entspricht 99,99 % Hg).

Tab. 2.1 zeigt einige, der von der Firma Kranner GmbH gehandelten Typen von Quecksilber sowie die erforderlichen Reinheitsgrade bzw. Maximalwerte an Verunreinigungen (KRANNER (2), 2001 siehe dazu auch Pkt. 3.3.2.1 Firma Kranner GmbH).

¹⁾ *In hochentwickelten Ländern ist der Einsatz von Amalgam stark rückläufig, in Entwicklungsländern die Anwendung von Amalgam als Zahnfüllungsmaterial jedoch gegeben.*

TYPE	BEZEICHNUNG	ELEMENTE	min/max	WERT	ANMERKUNG
1	Hg, technisch rein	Hg	min	99,99 %	Reinheit
2	DAB 7	Hg	min	99,995 %	Reinheit
3	Hg, chemisch rein	Hg	min	99,999 %	Reinheit
		Cu+Cd+Pb	max	5 ppm	Verunreinigung
		Fe+Ni+Co	max	5 ppm	Verunreinigung
		Au + Pt-Gruppe	max	-----	unter Nachweisgrenze
4	Hg, p.a. (pro analysis)	Hg	min	99,9999 %	Reinheit
		Pb	max	0,05 ppm	Verunreinigung
		Cu	max	0,05 ppm	Verunreinigung
		Fe	max	0,15 ppm	Verunreinigung
		Ni	max	0,15 ppm	Verunreinigung
		Co	max	0,15 ppm	Verunreinigung
		Cd	max	0,02 ppm	Verunreinigung
		As	max	0,006 ppm	Verunreinigung
		Mn	max	0,001 ppm	Verunreinigung
		Ca	max	0,05 ppm	Verunreinigung
		Au + Pt-Gruppe	max	-----	unter Nachweisgrenze
5	Hg, p.p. (pro polaris)	Hg	min	99,9999 %	Reinheit
		Pb	max	0,05 ppm	Verunreinigung
		Cu	max	0,05 ppm	Verunreinigung
		Fe	max	0,03 ppm	Verunreinigung
		Ni	max	0,15 ppm	Verunreinigung
		Co	max	0,15 ppm	Verunreinigung
		Cd	max	0,02 ppm	Verunreinigung
		As	max	0,006 ppm	Verunreinigung
		Mn	max	0,001 ppm	Verunreinigung
		Ca	max	0,05 ppm	Verunreinigung
		Au + Pt-Gruppe	max	-----	unter Nachweisgrenze
6	Hg, Neon (schutzbegast)	Hg	min	99,9999 %	Reinheit
		Pb	max	0,02 ppm	Verunreinigung
		Cu	max	0,02 ppm	Verunreinigung
		Fe	max	-----	unter Nachweisgrenze
		Ni	max	0,15 ppm	unter Nachweisgrenze
		Co	max	0,15 ppm	unter Nachweisgrenze
		Cd	max	0,02 ppm	Verunreinigung
		As	max	0,006 ppm	Verunreinigung
		Mn	max	0,001 ppm	Verunreinigung
		Ca	max	0,05 ppm	Verunreinigung
		Au + Pt-Gruppe	max	-----	unter Nachweisgrenze

Tab. 2.1: Quecksilbertypen und erforderliche Reinheit (Quelle: KRANNER (2), 2001)

Folgende Anwendungsbeispiele für die jeweiligen Typen werden angeführt:

Type Anwendungsbereich

1 Dampfsperren, mechanische Anwendungen, Porositätsprüfungen, Katalytik

2 Zahnmedizin, Saatgutbeize

3 Messgeräte, Relais, Schalter

4 Analysen, Präzisionsgeräte

5 Polarographie

6 Leuchtstoffröhren, Neonröhren, Atomadsorptionsanalysen

2.1.3 Flüssigkristallanzeigen (LCD)

Flüssigkristallanzeigen (LCD - Liquid Cystal Displays) gelten in Österreich derzeit als **gefährlicher Abfall** (SNr 35211, FestsetzungsVO, 2000). Sowohl in der ÖNORM S 2106 als auch in den im Bundesabfallwirtschaftsplan 1998 veröffentlichten Behandlungsgrundsätzen für die Behandlung von Elektroaltgeräten (BAWP, 1998) wird darauf hingewiesen, dass LCD sowohl aus Elektroaltgeräten als auch von bestückten Leiterplatten zu demontieren sind. Sie sollen einer Behandlung als gefährlicher Abfall – vorzugsweise thermische Behandlung – zugeführt werden.

Die Einstufung als gefährlicher Abfall und damit auch die Vorgabe zur Demontage beruht u.a. auch darauf, dass im Rahmen von umfangreichen Diskussionen zur ÖNORM S 2106 von Seiten der Hersteller keine Angaben zu den verwendeten Inhaltstoffen bereitgestellt wurden und auf Literaturangaben Bezug genommen werden musste, wo auf potentielle gefährliche Inhaltstoffe hingewiesen wurde.

Im aktuellen Verzeichnis über gefährliche Abfälle der Europäischen Union sind LCD derzeit nicht enthalten (EU, 2001 (1)), jedoch wird im vorliegenden Vorschlag für eine EU-Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte vom 22. Dez. 2000 eine Demontage und selektive Behandlung für LCD mit einer Oberfläche von mehr als 100 cm² und von hintergrundbeleuchteten Anzeigen vorgegeben.

Die Frage, ob es sich bei LCD um Bauteile mit potentiell gefährlichen Inhaltstoffen handelt, wird derzeit sowohl im Umfeld der Ausarbeitung der EU-Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte als auch auf nationaler Ebene der Mitgliedsländer heftig diskutiert.

Aktuelle Angaben der weltmarktführenden Hersteller von Flüssigkristallen weisen darauf hin, dass Flüssigkristalle als nicht gefährliche Substanzen einzustufen sind (siehe 2.1.3.2). Als gefahrenrelevante Inhaltstoffe sind jedoch quecksilberhaltige Leuchtstoffröhren als Hintergrundbeleuchtungen zu berücksichtigen.

2.1.3.1 Aufbau von Flüssigkristallanzeigen (LCD)

Die Funktionsweise von LCD beruht darauf, dass zwischen dünnen Glasscheiben und elektrischen Steuerungselementen Flüssigkristalle eingebettet sind, welche die Bilddarstellung ermöglichen. Abb. 2.1 zeigt den schematischen Aufbau eines **LCD-Panels**, die tatsächlichen Abmessungen zeigen, dass eine Flüssigkristallschicht von ca. 5 µm von zwei Glasschichten von jeweils 0,7 mm umschlossen wird. Auf diesen beiden Glasschichten befindet sich jeweils eine mehrlagige Polarisationsfilterschicht von ca. 0,2 mm. Dieser Aufbau eines LCD-Panels entspricht einer gewichtsmäßigen Zusammensetzung aus rd. 86 % Glas, rd. 13,6 % Polarisationsfilterschichten und 0,3 % andere Substanzen worin 0,1 % LC-Substanzen enthalten sind (EIJA, 2001).

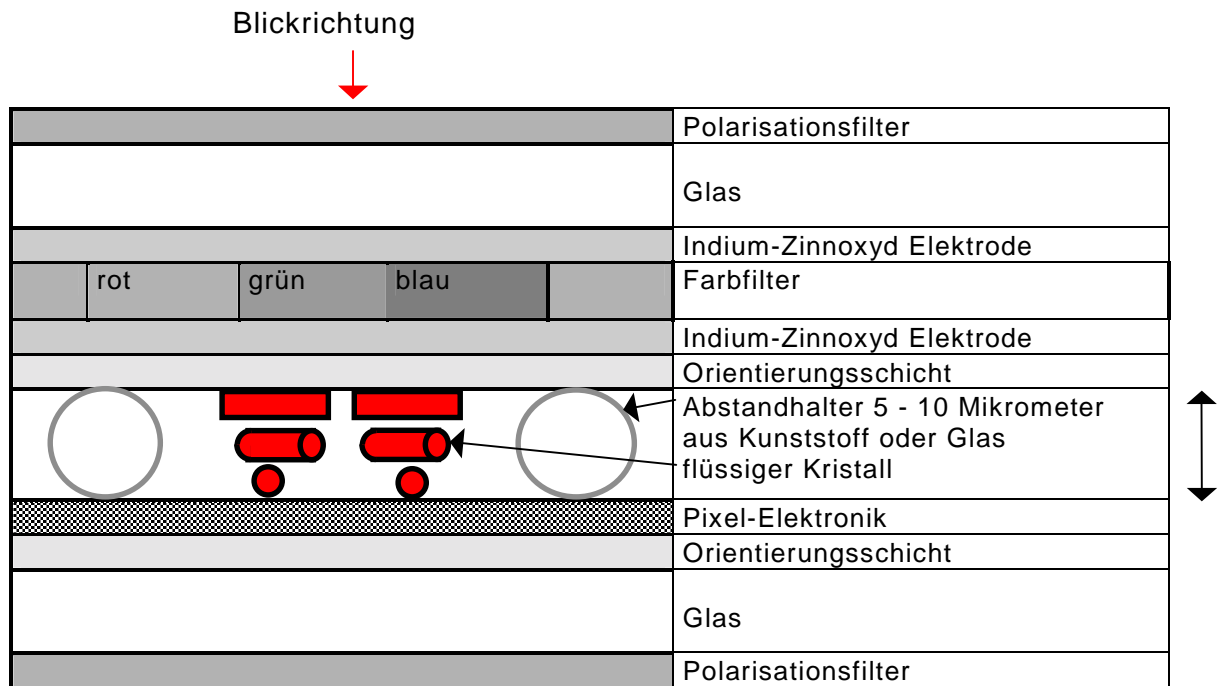


Abb. 2.1: Aufbau einer Flüssigkristallanzeige – nicht proportional (Quelle: SM-ALTDORF, 1998; EIAJ, 2001)

Das LCD-Panel stellt das Kernstück eines **LCD-Moduls** dar. Um dieses LCD-Modul aufzubauen, wird seitlich an das LCD-Panel die Steuerungselektronik angebracht. Hinter dem LCD-Panel wird ein mehrlagiges Hintergrundbeleuchtungssystem mit einer abschließenden Reflektorschicht aufgebaut, in das die Beleuchtungslampe integriert wird. Diese Teile werden mit einem Kunststoffgehäuse umhüllt.

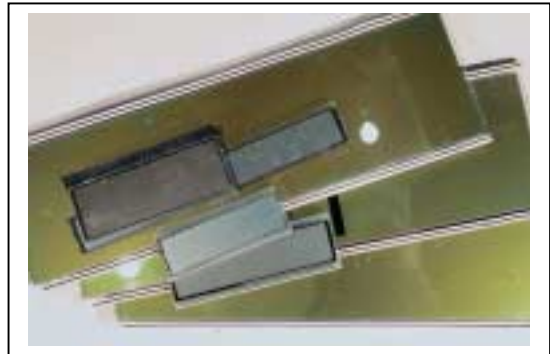


Bild 2.8: LCD-Panels und -Module

Das LCD-Modul bzw. die LC-Anzeige (Anm.: allgemein gebräuchlicher Begriff für das LCD-Modul) stellt wiederum nur einen Anteil eines **Flachbildschirmes** (z.B. Laptop- oder PC-Monitor bzw. LCD-TV-Monitor) dar, welcher darüber hinaus Gehäuseteile, Lautsprecher und Befestigungselemente bzw. Fußteile ausweist.



Bild 2.9: LCD-Modul und Flachbildschirme

Tab. 2.2 zeigt einige Beispiele für die Menge an Flüssigkristallen (LC) bzw. das Gewicht von LCD-Modulen in einigen Gerätearten. Ein 15-Zoll Monitor wiegt je nach Ausfertigung des Gehäuses, dem Gewicht von eingebauten Lautsprechern o.ä. zwischen 3 und 5 kg. Das LCD-Modul stellt somit normalerweise einen Anteil von einem Drittel bis zur Hälfte des Gewichts dar.

Geräte	LCD-Fläche	Gewicht LC	Gewicht LCD	Gewicht LCD-Modul	Verhältnis LC/LCD
	cm ²	mg	g	g	%
Mobiltelefon	7,5	4,5	2,5	5	0,180%
Navigationssystem	108	65	65	200	0,100%
15-Zoll LCD-Monitor	700	420	500	1500	0,084%

Tab. 2.2: Gewicht von LC und LCD in einigen Gerätearten (Quelle: BECKER et al., 2000)

Die Schadstoffrelevanz der Flüssigkristalle steht derzeit im Mittelpunkt der Diskussionen, inwieweit LCD als gefahrenrelevanter Bauteil anzusehen sind (siehe Pkt. 2.1.3.2). Neben diesen Flüssigkristallen enthalten LCD bzw. Geräte mit LCD jedoch auch Komponenten, welche eine gezielte Erfassung von Geräten mit LCD und eine fachgerechte Demontage jedenfalls erforderlich machen:

- („Leuchtende“) LCD enthalten für die erforderliche Hintergrundbeleuchtung **Leuchtstoffröhren**, welche **quecksilberhaltig** sind. Diese Leuchtstoffröhren sind in das LCD-Modul eingebaut und eine Demontage des Gerätes wäre jedenfalls erforderlich, wenn nicht der gesamte Flachbildschirm bzw. der Teil des Gerätes welcher die LCD enthält als gefährlicher Abfall behandelt wird. Quecksilberfreie Leuchtstoffröhren bzw. alternative Hintergrundbeleuchtungen wurden bereits entwickelt. Sie werden jedoch nach Angaben von Experten (z.B. Dr. Werner Becker – Merck oder Sebastian Stiegler – Sharp, FEEI Meeting in Wien, 21. Feb. 2001) noch nicht eingesetzt. Gleichlautende Angaben wurden z.B. von einem Vertreter von Sony im März 1999 gemacht (EMPA-Meeting in Altdorf, Schweiz, 25. März 1999). Im Position-Paper von ORGALIME wird der Bedarf nach einer besonderen Behandlung der quecksilberhaltigen Leuchtstoffröhren akzeptiert (ORGALIME, 2000). Von einem Vertreter von ORGALIME (Sebastian Stiegler) wird davon berichtet, dass die namhaften Hersteller von LCD derzeit an Maßnahmen zur einheitlichen Kennzeichnung und zur leichteren Demontage der Hintergrundbeleuchtung arbeiten.
- Weiters enthalten Geräte mit LCD meist eine/n **Stützbatterie bzw. -akkumulator** (z.B. die Speicherung eingestellter Werte bei Stromausfall), welche/r oft auf Leiterplatten im Umfeld der LCD angebracht sind. Auch hier ist eine getrennte Erfassung der Geräte und die Demontage der Batterie bzw. eine entsprechende Behandlung jedenfalls erforderlich.

2.1.3.2 Schadstoffrelevanz der Flüssigkristalle

Im Bezug auf die Beurteilung der potentiellen Schadstoffrelevanz der Flüssigkristalle lag das Hauptproblem lange darin, dass seitens der Hersteller der Flüssigkristalle bzw. der LCD keine Angaben zu den verwendeten Komponenten bzw. zu deren Toxizität vorgelegt wurden.

Verschiedene Autoren wiesen darauf hin, dass es Hinweise darauf gäbe, dass einige Flüssigkristallsubstanzen giftig bzw. krebserregend seien, dass bei hoher thermischer Belastung Spaltprodukte (aromatische Verbindungen, fluorierte Kohlenwasserstoffe z.B. aus ferroelektrischen Flüssigkristallverbindungen) entstehen würden, welche gesundheitsschädlich sind und dass Farbd Displays weiters kanzerogene Azo-Farbstoffe enthalten könnten (u.a. SCHMIDTMANN, 1993, MÜLLER, 1994).

Nach aktuellen Angaben von Merck werden diese Angaben bestritten und darauf verwiesen, dass es sich um Fehlinterpretationen und unbestätigte Angaben handle, für die jeglicher Verweis auf Untersuchungsmethoden fehle.

Im Rahmen eines Meetings zur Meinungsbildung über die Schadstoffrelevanz von LCD im FEEI Wien am 21. Feb. 2001 wurden von Vertretern der Firma Merck die nachfolgend kurz zusammengefassten Fakten präsentiert (BECKER, 2001).

Der oft genannte Verweis auf 20.000 bzw. 50.000 **mögliche Flüssigkristallsubstanzen** (u.a. BLECHSCHMIDT 1998, PRÖSEL, 1999) wird dahingehend präzisiert, dass so viele Substanzen bekannt seien, welche flüssigkristalline Eigenschaften besitzen, dass dies jedoch nicht der Zahl an Substanzen entspricht, die für die Produktion von Flüssigkristallen eingesetzt werden.

- Nach Angaben von TAKATSU et al., 2000 (in dieser Publikation sind Vertreter aller namhaften LC-Hersteller vertreten) wurden mehr als **1.000 LC-Substanzen** für die Entwicklung von LC-Mixturen verwendet und mehr als 10.000 LC-Mixturen wurden vermarktet. Im Jahr 1997 seien 715 LC-Substanzen produziert worden, für das Jahr 2000 wird diese Zahl mit 600 abgeschätzt (BECKER, 2001). Um den gewünschten Anwendungsbereich zu erzielen werden LC-Mischungen gewöhnlich aus (8) 10 bis 25 (35) verschiedenen LC-Substanzen hergestellt. Bei der Firma Merck sind rd. 500 LC-Substanzen verfügbar, rd. 300 LC-Substanzen werden laufend produziert und je nach Kundenwunsch und –spezifikation zu LC-Mixturen verarbeitet

Zur oft genannten Frage nach dem **Graubereich an LC-Hestellern** wird auf die Marktanteile der namhaften LC-Hersteller verwiesen, wonach Merck rd. 60 %, Chisso rd. 26 % und Daiippon Ink. rd. 11 % des Marktes abdecken.

- Rd. 3 % der LC-Substanzen werden von einem chinesischen Hersteller auf den Markt gebracht. Dieser Hersteller produziert vor allem bereits patentfreie Substanzen der anderen Hersteller bzw. versucht patentierte Produkte der genannten Hersteller zu kopieren. Diese Substanzen wurden dem jeweiligen Testverfahren der Hersteller unterzogen (BECKER, 2001).

Zur Frage der **Schadstoffrelevanz von Flüssigkristallen** wird auf Ergebnisse aus einem breit angelegten Untersuchungsprogramm zur **Humantoxizität** und **Mutagenität** und zu den **haut- und augenreizenden Eigenschaften** der hergestellten Substanzen verwiesen, welches in den letzten Jahren durchgeführt wurde. Die wesentlichen Ergebnisse daraus sind ² (BECKER, SIMON-HETTICH, 2000):

- Von den 318 der im Jahr 1999 produzierten LC-Substanzen wurden 220 Einzelsubstanzen ³ und 14 Mixturen auf deren akute **Toxizität** geprüft:
 - 211 Substanzen wurden als nicht gesundheitsschädlich (LD50 > 2000 mg/kg) klassifiziert,
 - 8 Substanzen wurden als gesundheitsschädlich (LD50 200 – 2000 mg/kg) klassifiziert. Es handelt sich hierbei um technisch wichtige Substanzen. Sie werden zu einem Anteil von < 10 % in Mischungen eingesetzt, wodurch die Mischungen als nicht gesundheitsschädlich einzustufen wären,
 - eine Substanz erwies sich als toxisch und wurde in der Folge nicht auf den Markt gebracht,
 - keine der untersuchten Mischungen erwies sich als gesundheitsschädlich.
- Von den 108 Substanzen, die bezüglich **Hautreizungen** getestet wurden, erwiesen sich 3 als ätzend und 9 als reizend, 96 zeigten keinen Effekt. Jene Substanzen, die als ätzend eingestuft werden mussten, werden zu einem Anteil von < 10 % in Mischungen eingesetzt, wodurch die Mischungen als nicht ätzend einzustufen wären.

² Anm.: leicht abweichende Zahlen der Stellungnahme des Umweltbundesamtes Berlin über die Ökotoxizität von Flüssigkristallen in Flüssigkristallanzeigen (UBA-D, 2000) beziehen sich auf Ergebnisse, die bis zum Jahr 1998 erzielten worden waren.

³ Es wird darauf verwiesen, dass es sich bei jenen Substanzen, welche die Differenz zwischen den geprüften 220 Substanzen und den produzierten Substanzen darstellen, um Substanzen aus homologen Reihen handelt und dass nachgewiesen wurde, dass homologe Reihen ein gleichbleibendes Toxizitätsverhalten aufweisen, wobei jene Verbindungen mit kürzeren Alkylketten immer die höchste Toxizität aufweisen und insbesondere diese Verbindungen untersucht wurden.

- Von den 58 Substanzen, die bezüglich **Augenreizung** getestet wurden, erwiesen sich 11 als reizend, 47 zeigten keinen Effekt.
- Von jenen 200 Substanzen die bezüglich **Mutagenität** getestet wurden, zeigte eine eine genverändernde Wirkung und wurde nicht produziert. 199 Einzelsubstanzen und alle 14 untersuchten Mischungen zeigten keine genverändernde Wirkung.

Weiters führt ein Vertreter der Firma Merck an, dass sich die drei namhaften LC-Hersteller in einem **Arbeitsprogramm zur Vereinheitlichung** des Untersuchungsprogramms und zum **Austausch von Informationen** zusammengeschlossen haben. Sie hätten sich weiters dazu verpflichtet, keine toxischen oder mutagene Substanzen zu verwenden (BECKER, 2001). Tab. 2.3 zeigt die Ergebnisse aus der Prüfung der toxischen und mutagenen Eigenschaften der drei Hersteller Merck, Chisso und Dainippon Ink.

	Substanzen getestet	Substanzen verwendet
Toxizität	588	544
- keine Effekte	562	522
- gesundheitsschädlich	25	22
- toxisch	1 *)	0
Mutagenität	615	540
-nicht mutagen	614	540
-mutagene Wirkung	1*)	0

*) Substanzen von Merck – nicht in Verkehr gesetzt

Tab. 2.3: Ergebnisse zur Untersuchung von LC-Substanzen (Quelle: BECKER, 2001)

Weiters haben die drei Hersteller in Abstimmung mit dem UBA Berlin ein Untersuchungsprogramm betreffend **Ökotoxikologie** von LC-Substanzen durchgeführt. Hier wurden 10 – vom UBA Berlin ausgewählte – Einzelsubstanzen und eine Mischung nach international anerkannten Untersuchungsmethoden der Daphnie-Immobilisierung und der Algen-Wachstumshemmung untersucht. Die erzielten Ergebnisse zeigen, dass keine der ausgewählten Substanzen oder die Mischung bis zu deren maximaler Wasserlöslichkeit eine negative ökotoxikologische Wirkung zeigen (BROSCHARD et al., 2000).

Die hier dargestellten Ergebnisse haben das UBA Berlin überzeugt und besondere Anforderungen zur Behandlung von LCD aufgrund des Anteils an Flüssigkristallen werden als nicht gerechtfertigt angesehen (UBA-D, 2000).

Von einigen Experten wird jedoch zum Teil kritisiert, dass

- keine toxikologischen Untersuchungen von unabhängigen Instituten vorliegen
- die Frage der Bioakkumulation von LC-Substanzen noch nicht geklärt ist
- zum Verhalten von Flüssigkristallen in Verbrennungsanlagen lediglich bekannt ist, dass sie bei Temperaturen ab 800 °C zerfallen. Details dazu, welche Reaktionsprodukte ggf. zu erwarten sind, liegen nicht vor (HIEBER, PRÖSLER, 1999). Einige Angaben dazu siehe Pkt. 3.4.2.1.

Zu einem weiteren Kritikpunkt, dass keine Angaben über das **Verhalten von LCD in Deponien** vorliegt, legte Merck eine Untersuchung vom Fresenius Institut vor, welches eine Mischprobe an LCD unterschiedlicher Hersteller und verschiedener Typen einer Eluatuntersuchung unterzogen hat und die Deponierfähigkeit auf einer Hausmülldeponie bestätigte (BECKER, SIMON-HETTICH, 2000).

Zu den Inhaltstoffe von **alten LCD's** (Anm.: wie aus der derzeitigen Sammelwaren anfallen können) liegen derzeit wenige Informationen vor. Im Rahmen eines Internationalen Kongresses im September 2000 in Berlin hat eine Vertreterin von Merck neue Untersuchungsmethoden für LCD vorgestellt (siehe SIMON-HETTICH B., BECKER W., 2000). Nach Informationen aus dem Fachkreis hat sie im Rahmen dieser Veranstaltung auch von einem Projektvorhaben von Merck berichtet, im Rahmen dessen die gefahrenrelevanten Inhaltstoffe von 100 "alten Displays" erhoben hätten werden sollen. Nach Angaben innerhalb dieses Beitrages (keine veröffentlichte Publikation) konnten nur zu 26 Displays die Inhaltstoffe auf Basis bestehender Daten eruiert werden. Die enthaltenen Substanzen wurden als nicht gefährlich eingestuft.

Im Rahmen der selben Veranstaltung wurde jedoch auch von anderen aktuellen Ergebnissen berichtet, welche mit unterschiedlichen Testmaterialien und alternativen Untersuchungsmethoden erzielt wurden. Hier wurden LCD älterer Generation (Sammelware), LC-Mixturen älterer Generation und neue LC-Mixturen untersucht. Es konnten sowohl bei den LCD, bei den älteren LC-Mixturen und auch bei einer „moderneren“ LC-Mixturen nachgewiesen toxische Effekte werden (RAU F. et al, 2000).

Diese Ergebnisse werden von Vertretern der Firma Merck heftigst kritisiert und es wird angeführt, dass es sich um eine international nicht anerkannte Untersuchungsmethode mit Leuchtbakterien handelt, welche für die Untersuchung von Abwasser aber nicht für die Toxizitätsbestimmung von Einzelsubstanzen angewandt werden kann. Weitere Verfahrensmängel, Irrtümer und Fehlinterpretationen sollen hier enthalten sein (BECKER, 2001).

Die Schadstoffrelevanz von Flüssigkristallen kann nach Meinung der Autorin innerhalb dieser Studie zu den Behandlungsmöglichkeiten nicht abschließend beurteilt werden. Das dargestellt Untersuchungsprogramm der namhaften Hersteller der LC-Substanzen wird als sehr positiv beurteilt. Zur abschließenden Beurteilung der offenen Fragen zur Bioakkumulationsfähigkeit, zur Schadstoffrelevanz von „alten LCD und zum Verhalten in thermischen Prozessen wären weitere Erkenntnisse z.B. von Umwelttoxikologen erforderlich.

Auch unter Berücksichtigung dessen, dass die angeführten Tests bezüglich Schadstoffrelevanz als sehr kostenintensiv eingestuft werden, sollten unter Berücksichtigung des prognostizierten hohen Marktpotentials für Flachbildschirme seitens der Hersteller von LC-Substanzen und Geräten mit LC-Modulen weitere Schritte gesetzt werden wie z.B.

- die Testung bzw. toxikologische Angaben zu möglichst allen neuen LC-Substanzen,
- eine Positiv-Kennzeichnung von LC-Modulen und Geräten, welche nachgewiesenermaßen keine Substanzen mit gesundheitsschädlichen Eigenschaften enthalten,
- Kooperation bei der Untersuchung bzw. Bereitstellung von Informationen zu alten LCD,
- Erfahrungsaustausch mit unabhängigen Untersuchungsanstalten.

Der Bedarf nach einer gezielten Erfassung der Geräte und einer fachgerechten Demontage bleibt aus dem Gesichtspunkt, dass in LC-Modulen quecksilberhaltige Hintergrundbeleuchtungen enthalten sind und Batterien in deren Nahbereich positioniert sein können, uneingeschränkt gegeben.

2.1.3.3 Erfahrungen aus der Sammlung von LCD

Bei einem Verwertungsunternehmen in der Schweiz wurden im Rahmen eines internen Projektes das Aufkommen an Flachbildschirmen in der Sammelware und deren Inhaltstoffe untersucht und in einem internen Bericht zusammengefasst (SM-ALTDORF, 1998):

Zum **Zustand** der Flachbildschirme bei Anlieferung wird angeführt, dass

- der Zustand der Flachbildschirme bei der Anlieferungen sehr unterschiedlich ist,
- bei vielen Flachbildschirmen das Glas zerbrochen ist,
- viele Flachbildschirme komplett mit Kunststoffrahmen und Leiterplatten angeliefert werden, bei anderen handelt es sich nur um die LC-Anzeige
- die Flüssigkeit teilweise ausgetreten ist (*Anm. diese Angabe wird von einem Vertreter von Merck als physikalisch wenig nachvollziehbar beurteilt, da LC auf Grund der Kapillarwirkung zwischen den Glasplatten und deren Adhäsionskräfte nicht aus LCD austreten, dies könne ggf. nur durch längeres Klopfen auf die LCD erzielt werden*),
- die häufigsten Flachbildschirme, die zur Entsorgung angeliefert wurden, Produkte der Firmen IBM, Sharp, Toshiba, NEC, OKi, Mitsubishi, Panasonic, Epson und Sii sind,
- Warnhinweise auf gefährliche Inhaltstoffe meist auf der Rückseite der LC-Module⁴ angebracht sind, allerdings seien diese erst nach einer entsprechenden Demontagetiefe erkennbar.

Es wird auf Flachbildschirme mit **radioaktivem Material** hingewiesen, wonach sich auf einigen Flachbildschirmen (z.B. von IBM) ein Hinweis auf eine nicht gefährliche Menge von Nickel befindet und dass diese Teile zu IBM retourniert werden müssten. Bei Messungen mit dem Geigerzähler wurde jedoch kein Zeigerausschlag festgestellt.

Es wird weiters angemerkt, dass auf einigen Flachbildschirmen (z.B. von Toshiba und Epson) ein Hinweis auf **quecksilberhaltige Leuchtstoffröhren** steht. Weitere Flachbildschirme (z.B. einige Bildschirme von IBM) enthalten **allgemeine Warnhinweise** auf Leuchtstoffröhren und es wird darauf verwiesen, dass bei der Entsorgung die lokalen Vorgaben zu berücksichtigen seien.

Weiterführende Überlegungen zur Behandlung von LCD wurden bei der Firma SM-Altendorf mit Mai 1998 zurückgestellt, da SWICO die Entsorgung in Kehrrechtverbrennungsanlagen zuließ.

⁴ siehe Anmerkungen zum Aufbau einer LC-Anzeige – Seite 15

2.2 Aufkommen der definierten Bauteile in der Sammelware in Österreich

In vielen Regionen Österreichs werden Elektroaltgeräte getrennt gesammelt und einer Behandlung zugeführt. Für die Behandlung der Elektroaltgeräte haben sich in Österreich Behandlungsbetriebe etabliert, welche die Behandlung im Sinne der ÖNORM S 2106 weitgehend erfüllen. Einige dieser Betriebe konnten Angaben zum jährlichen Aufkommen der hier definierten Bauteile bereitstellen. Diese Angaben wurden mit Ergebnissen aus der Demontage von Elektroaltgeräten im Rahmen der Pilotprojekte ergänzt.

2.2.1 Kondensatoren

Nach den Angaben der Demontagebetriebe werden Kondensatoren meist ab einer „ungefähren Daumengröße“ demontiert. Kondensatoren werden derzeit als Mischfraktion von PCB-haltigen Kondensatoren und Elektrolytkondensatoren gesammelt und an Sammler für gefährliche Abfälle weitergegeben.

Das durchschnittliche Aufkommen beträgt bei der Demontage von Bildschirm- und Elektrokleingeräten **rd. 0,6 %** der Geräte-Inputmenge. Bei der Demontage von Großgeräten aus der kommunalen Sammlung fallen **0,2 bis 0,3 %** an Kondensatoren an (SALHOFER, GABRIEL, 1996; GABRIEL, SALHOFER, 1998).

Unter Berücksichtigung der innerhalb der EU angestrebten Sammelmenge von 4 kg Elektroaltgeräten pro Einwohner und Jahr und einer Verteilung nach Gerätekategorien wie im PILOTPROJEKT BREGENZ erzielt, würde dies einem jährlichen Gesamtaufkommen an Kondensatoren von **rd. 110 t** in Österreich entsprechen.

Zum Aufkommen an PCB-haltigen Kondensatoren wird seitens des UBA abgeschätzt, dass z.B. aus dem Bereich der Leuchtbalken noch bis zum Jahr 2014 mit einem jährlichen PCB-Emissionspotential von > 1.000 kg zu rechnen ist. Für Waschmaschinen sinkt das PCB-Emissionspotential im Jahr 2004 erstmals unter 100 kg (MADERNER, HOBIGER, 1996).

Unter Berücksichtigung dessen, dass Elektrogeräte immer kompakter gebaut werden und auch die verwendeten Kondensatoren immer kleiner gefertigt werden, ist unter Beachtung der Größenabgrenzung für die Demontage von Elektrolytkondensatoren von 2,5 cm Kantenlänge mit einem **Sinken der Mengen** zu rechnen.

2.2.2 Quecksilberschalter

Von den Demontagebetrieben wird angegeben, dass das Aufkommen an Quecksilberschaltern stark vom Input-Material abhängig ist und dass diese nur fallweise vorzufinden seien.

Bei der Demontage von „Elektronikschrott“ (Elektrokleingeräte, Bildschirmgeräte und z.T. Geräte und Anlagenteile aus dem Gewerbe) fallen rd. 0,0001 % bis 0,001 % Quecksilberschalter bezogen auf die Input-Menge an. Ein Betrieb, der auch in größerem Umfang Kühlgeräte und Tiefkühltruhen demontiert, gibt den Anteil an Quecksilberschaltern bezogen auf den Gesamtinput mit rd. 0,05 % an.

Bei der Demontage von Großgeräten aus der kommunalen Sammlung können vor allem sehr alte Boiler Quecksilberschalter enthalten. Weiters kommen Quecksilberschalter in Thermostaten und Zeitschaltuhren bzw. Treppenlichtautomaten vor. Im Bereich des Elektronikschrotts aus dem Gewerbe bzw. der Industrie ist vor allem bei Anlagenteilen aus der Telekommunikation oder auf Leiterplatten von hochwertigen EDV-Geräten mit quecksilberhaltigen Bauteilen zu rechnen.

Im PILOTPROJEKT BREGENZ betrug der Anteil an Quecksilberschaltern in Großgeräten aus der kommunalen Sammlung in den beiden Projektphasen 0,0001 bzw. 0,001 %.

Unter Berücksichtigung der innerhalb der EU angestrebten Sammelmenge von 4 kg Elektroaltgeräten pro Einwohner und Jahr und einer Verteilung nach Gerätekategorien wie im PILOTPROJEKT BREGENZ erzielt, kann das jährliche Gesamtaufkommen an quecksilberhaltigen Bauteilen aus Elektroaltgeräten (ohne Kühl- und Gefriergeräte) mit rd. **100 kg** in Österreich abgeschätzt werden. Aus dem Bereich der Kühl- und Gefriergeräte könnten rd. 100 kg an Quecksilberschaltern hinzukommen.

Der Einsatz von Quecksilberschaltern ist nicht mehr Stand der Technik und Quecksilberschalter werden schon seit längerer Zeit durch andere Schaltmechanismen ersetzt. Die Tendenz des Einsatzes wird als stark sinkend eingestuft (siehe auch GABSKE, MEYER, 2000).

Es ist demnach und auch unter Berücksichtigung dessen, dass die Schalteinrichtungen der Telekommunikationsbetriebe laufend ersetzt werden, mit einem **Sinken der Mengen** an quecksilberhaltigen Bauteilen aus der Demontage von **Elektroaltgeräten** zu rechnen. In Spezialmessgeräten und anderen Anwendungsformen (siehe auch Pkt. 2.1.2.2) wird Quecksilber jedoch noch immer eingesetzt und ist bei der Sammlung und Verwertung dieser Teile gezielt zu erfassen.

2.2.3 LCD

Kleine LCD werden derzeit von den Demontagebetrieben in unterschiedlichem Ausmaß getrennt erfasst. Von einigen Betrieben werden sie unabhängig von der Größe demontiert, andere Betriebe haben individuelle Größen gewählt, ab denen LCD demontiert werden. Größere Flachbildschirme fallen derzeit erst in seltenen Fällen an.

Bei den befragten Demontagebetrieben betrug das durchschnittliche jährliche Aufkommen bei der Demontage von Bildschirm- und Elektrokleingeräten 0,002 % bis 0,03 % bezogen auf das Geräte-Input-Gewicht.

Unter Berücksichtigung der innerhalb der EU angestrebten Sammelmenge von 4 kg Elektroaltgeräten pro Einwohner und Jahr, einer Verteilung nach Gerätekategorien wie im Pilotprojekt Bregenz erzielt und einem angenommenen Mittelwert von 0,01 % LCD in Elektroklein- und Bildschirmgeräten, kann das derzeitige Aufkommen an LCD mit **rd. 1,3 t** abgeschätzt werden.

Anders als bei den zuvor genannten Bauteilen ist bei LCD mittel- bis langfristig mit einem **stark steigenden Aufkommen** zu rechnen. Dazu einige Marktprognosen:

- Die Welt-Jahresproduktion an Flüssigkristallsubstanzen stieg von rd. 16 t im Jahr 1992 auf rd. 27 t im Jahr 1995 bzw. rd. 40 t im Jahr 1998 (TAKATSU et al., 2000). Für das Jahr 1999 werden rd. 50 t bzw. für 2000 rd. 60 t angegeben (BECKER, 2001).
- In Japan werden von Sharp schon derzeit rd. 25 % aller TV-Geräte als Flachbildschirme verkauft (SHARP, 2001). Es wird jedoch allgemein angenommen, dass dieser Trend in Europa erst zeitverzögert einsetzen wird.
- Schätzungen der Stanford Resources besagen, dass im Jahr 1998 etwa 95 Prozent aller Desktop Computer noch mit einem Monitor mit Kathodenstrahlröhren bestückt waren. Es wird jedoch erwartet, dass bis zum Jahr 2003 der Anteil von LCD und anderen Flachbildschirmtechnologien beim Einsatz mit Desktop-PC's auf 15 Prozent ansteigen wird (MONITOR, 1998).
- Marktprognosen der Firma Merck als Hersteller von LC-Substanzen besagen, dass mit einem Anstieg des Marktes für Flachbildschirme von 19,7 Mrd. US-\$ im Jahr 1999 auf 44,9 Mrd. US-\$ im Jahr 2005 gerechnet wird. Die höchste Wachstumsrate für den Einsatz von Flachbildschirmen wird im Bereich der PC-Monitore erwartet (+ 34 % zwischen 1999 und 2005). Flachbildschirme im TV-Bereich werden von derzeit rd. 200.000 Stück auf rd.

6 Mio. Stück im Jahr 2005 steigen. Der Weltmarkt für Notebooks wird von rd. 14 Mio. Stück im Jahr 1998 auf rd. 37 Mio. Stück im Jahr 2003 steigen (GEHLHAUS et al., 2000).

- Neben diesen klassischen Anwendungsbereichen kommen größere LCD verstärkt in der Informationstechnologie (vgl. Info-Screens in U-Bahnen), als Teile von Navigationssystemen (z.B. im Fahrzeugbereich), in Video- und Digitalcameras und im Sub-Notebookbereich (z.B. Palmtops) zur Anwendung.

Als Nutzungsdauer werden durchschnittlich 5 bis 6 Jahre vorgegeben, im Bereich der LCD-Monitore 7 bis 8 Jahre. Die Lebensdauer übersteigt diesen Wert jedoch deutlich (BECKER, 2001).

Da derzeit keine konkreten Vorhersagen und Abschätzungen zum kalkulierten **Umrüstungsverhalten** für Flachbildschirme im TV- und PC-Bereich und den Einsatz in den anderen Bereichen und insbesondere zum **Ausmusterungsverhalten** nach der gewünschten Nutzungsdauer dieser Geräte vorliegen, können keine Aussagen zum potentiellen quantitativen Aufkommen als „Alt“-LCD gemacht werden.

2.3 IST-Situation der Sammlung, Weiterleitung und Behandlung der Bauteile in Österreich

2.3.1 Kondensatoren

Kondensatoren werden nach Angaben der Demontagebetriebe für Elektroaltgeräte derzeit als Mischfraktion von PCB-haltigen Kondensatoren und Elektrolytkondensatoren gesammelt und an Sammler für gefährliche Abfälle weitergegeben.

In Österreich verfügten im Dezember 2000 in Summe **35 Betriebe** über die Genehmigung zur Behandlung von PCB-haltigen Kondensatoren (SNr 54110) (UBA, 2000). Bei diesen Betrieben handelt es sich zum überwiegenden Teil um Betriebe, die als traditionelle Sammler für gefährliche Abfälle agieren. Es sind jedoch auch Abfalldispositionsunternehmen und Betriebe aus dem Bereich des Sekundärrohstoffhandels enthalten.

Weiters verfügen **133 Betriebe** über die Genehmigung zur Behandlung von Elektrolytkondensatoren (SNr 35209) (UBA, 2000). Hierunter sind neben Sammlern für gefährliche Abfälle viele Betriebe aus dem Bereich der Abfallsammlung, des Sekundärrohstoffhandels und der Autoverwertungsbetriebe sowie Shredderbetreiber Kabelverwerter und einige Deponiebetreiber enthalten.

Nach einer Befragung einer Stichprobe dieser Betriebe, leiten diese Betriebe Kondensatoren an Behandlungsbetriebe weiter. Von den Sammlern für gefährliche Abfälle wird zum überwiegenden Anteil angegeben, dass Kondensatoren zur Anlage für die thermische Entsorgung von gefährlichen Abfällen der Fernwärme Wien weitergegeben werden. Zum Teil wird die Option der Anlieferung an eine Untertagedeponie in Deutschland offen gehalten und je nach Marktsituation über den Entsorgungsweg entschieden.

Von der **Fernwärme Wien** wird angegeben, dass Kondensatoren nach verschiedenen Qualitätsklassen übernommen und in der Anlage am Standort Simmering (ehemals EBS) thermisch behandelt werden – siehe Pkt. 3.1.2.3. bzw. Pkt. 3.2.6.

Die Firma **SMK** hat über ein Konzept berichtet, wonach Kondensatoren mechanisch behandelt werden könnten – siehe Pkt. 3.2.2.

2.3.2 Quecksilberschalter

Quecksilberschalter werden nach Angaben der Demontagebetriebe getrennt gesammelt und meist in kleineren Kunststoffbehältern aufbewahrt. Sie werden oft als Anschauungsobjekte für allgemeine Informationstätigkeiten oder die Schulung des Personals genutzt. Da nur sehr geringe Mengen anfallen, werden sie meist über längere Zeiten zwischengelagert und nur in sehr unregelmäßigen Zeitabständen weitergegeben.

Von den bekannten Sammlern und Behandlern für Elektroaltgeräte in Österreich wird die Firma Kranner GmbH (vgl. Pkt. 3.3.2.1) als potentieller Übernehmer für die Quecksilberschalter angegeben. Ein Betrieb leitet sie nach eigenen Angaben an ein Partnerunternehmen in Deutschland weiter bzw. wird von einem Betrieb, der sowohl als Demontagebetrieb als auch als Sammler für gefährliche Abfälle agiert, eine potentielle Anlieferung an einen Quecksilberrecyclingbetrieb in Deutschland genannt.

Von einigen Betrieben wird angegeben, dass das Quecksilber aus den Glasampullen der Quecksilberschalter entleert und nur das flüssige Quecksilber weitergegeben wird.

In Österreich verfügten im Dezember 2000 in Summe **52 Betriebe** über die Genehmigung zur Behandlung von quecksilberhaltigen Abfällen (SNr 35326) (UBA, 2000). Die Kenntnis dieser Betriebe aus anderen Projekten und eine stichprobenartige Befragung von Betrieben ergab, dass es sich hierbei um Betriebe handelt, welche

- als **Abfallsammler** bzw. **Sammler für gefährliche Abfälle** agieren. Es sind jedoch auch Betriebe aus dem Bereich des Sekundärrohstoffhandels bzw. Autoverwertungsbetriebe enthalten. Nach deren Angaben leiten diese Betriebe quecksilberhaltige Abfälle an Behandlungsbetriebe (Verwertungs-/Entsorgungsbetriebe) weiter,
- **Leuchtstoffröhren** übernehmen und behandeln. Nach deren Angaben übernehmen sie keine quecksilberhaltigen Bauteile aus Elektroaltgeräten,
- quecksilberhaltige Abfälle aus dem **zahnmedizinischen Bereich** übernehmen, nach deren Angaben übernehmen sie quecksilberhaltige Bauteile aus Elektroaltgeräten nicht.

Der österreichweit bekannteste Sammler und Behandler für quecksilberhaltige Abfälle und auch am öftesten genannte potentielle Übernehmer von quecksilberhaltige Bauteile ist die Firma **Kranner GmbH** in Wien. Nach Angaben der Firma Kranner werden neben verschiedenen anderen quecksilberhaltigen Abfällen auch quecksilberhaltige Bauteile aus dem Bereich der Elektroaltgeräte übernommen und zum Teil innerbetrieblich behandelt – siehe Pkt. 3.3.2.1. Zur Übernahme von quecksilberhaltigen Abfällen hat eine Vertreterin der Firma Kranner GmbH angeführt, dass von österreichischen Betrieben der „Entsorgungsbranche“ in unregelmäßigen Zeitabständen flüssiges Altquecksilber angeliefert wird. Quecksilberhaltige Bauteile aus dem Bereich der Elektroaltgeräte wurden in den letzten 2 Jahren kaum angeliefert.

Weiters hat ein Vertreter der Firma **Chemtec**, welche am Standort der Fernwärme Wien (vormals EBS) eine Batterierecyclinganlage errichtet hat, angegeben, dass von diesem Betrieb auch quecksilberhaltige Bauteile aus dem Bereich der Elektroaltgeräte übernommen und behandelt werden könnten – siehe Pkt. 3.3.3.1.

Nach Angaben der **Fernwärme Wien** werden quecksilberhaltige Abfälle nur nach Voranmeldung und Analyse der Abfälle übernommen – siehe Pkt. 3.3.4.

2.3.3 LCD

LCD werden bei den Demontagebetrieben für Elektroaltgeräte derzeit nur in sehr geringen Mengen erfasst. Sie werden je nach Mengenaufkommen in Kleingebinden oder Spannringfässern gesammelt und zwischengelagert. Als potentieller Abnehmer wird die Fernwärme Wien am Standort Simmering (ehemals EBS) genannt.

In Österreich verfügten im Dezember 2000 in Summe **136 Betriebe** über die Genehmigung zur Behandlung von Flüssigkristallanzeigen (SNr 35211) (UBA, 2000). Bei diesen Betrieben handelt es sich zum überwiegenden Teil um traditionelle Sammler für gefährliche Abfälle. Jedoch ist hier auch eine große Anzahl an Betrieben aus dem Bereich des Sekundärrohstoffhandels und der Autoverwertungsbetriebe enthalten. Weiters sind Abfallsammler, Shredderbetreiber, Kabelverwerter und einige Deponiebetreiber enthalten.

Von der **Fernwärme Wien** werden LCD in der Anlage am Standort Simmering (ehemals EBS) thermisch behandelt – siehe Pkt. 3.1.2.3 bzw. Pkt. 3.4.2.2.

3 Mögliche Behandlungsverfahren

3.1 Allgemeine Beschreibung von Verfahren bzw. Anlagen

Unter diesem Punkt werden Verfahren oder Anlagen beschrieben, mit oder in welchen mehrere der angeführten Bauteile aus Elektroaltgeräten behandelt werden, um aus den jeweiligen Kapiteln auf diese Verfahren bzw. Anlagen verweisen zu können.

3.1.1 Vakuumthermisches Recycling

3.1.1.1 Verfahrensprinzip

Bei der thermischen Behandlung von Abfällen unter atmosphärischen Druck werden durch Oxidation und chemische Reaktionen Reaktionsprodukte gebildet, die aus den Abgasen durch komplexe Prozesse abgeschieden werden müssen. Ein einfaches bekanntes physikalisches Prinzip macht es jedoch möglich, Materialien durch Verwendung von reduziertem Druck und Temperatur voneinander zu trennen. Es trifft für alle Elemente und organischen bzw. anorganischen Verbindungen zu, dass deren Siede- bzw. Verdampfungstemperatur mit abnehmendem Druck sinkt. Das Prinzip der Absenkung des Siedepunktes bei vermindertem Umgebungsdruck ist für die Verdampfung von chlorierten Kohlenwasserstoffen, Quecksilber, Cadmium, Zink und Blei und für die dadurch mögliche gezielte Abscheidung dieser Schadstoffe anwendbar.

Zum Beispiel hat Quecksilber bei 1 bar Umgebungsdruck einen Siedepunkt von 357 °C, bei 100 mbar liegt dieser Siedepunkt bei rd. 260 °C, bei 10 mbar bei rd. 180 °C und bei 1 mbar bei rd. 120 °C. Abb. 3.1 zeigt diesen Verlauf der Siedetemperatur unter unterschiedlichen Druckverhältnissen für Quecksilber und andere relevante Elemente des vakuumthermischen Recyclings. Innerhalb des vakuumthermischen Recyclingprozesses werden die Phasen der Druckabsenkung, Erwärmung / Evakuierung und Abkühlung / Kondensation durchlaufen. Abb. 3.2 zeigt dieses Prinzip für das Beispiel der PCB-Abtrennung.

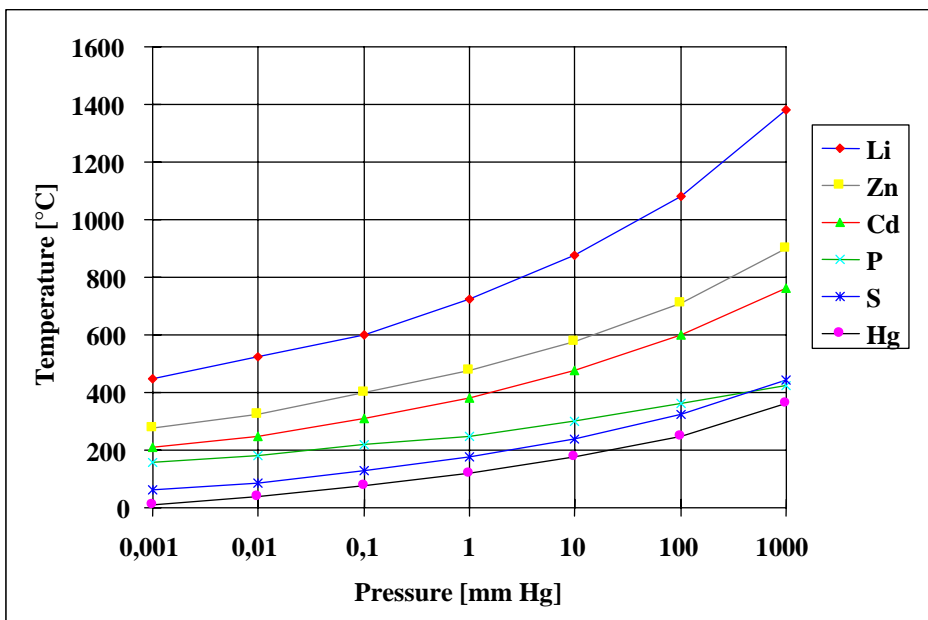


Abb. 3.1: Siedepunktskurven für relevante Elemente des VTR-Verfahrens (Quelle: ALD)

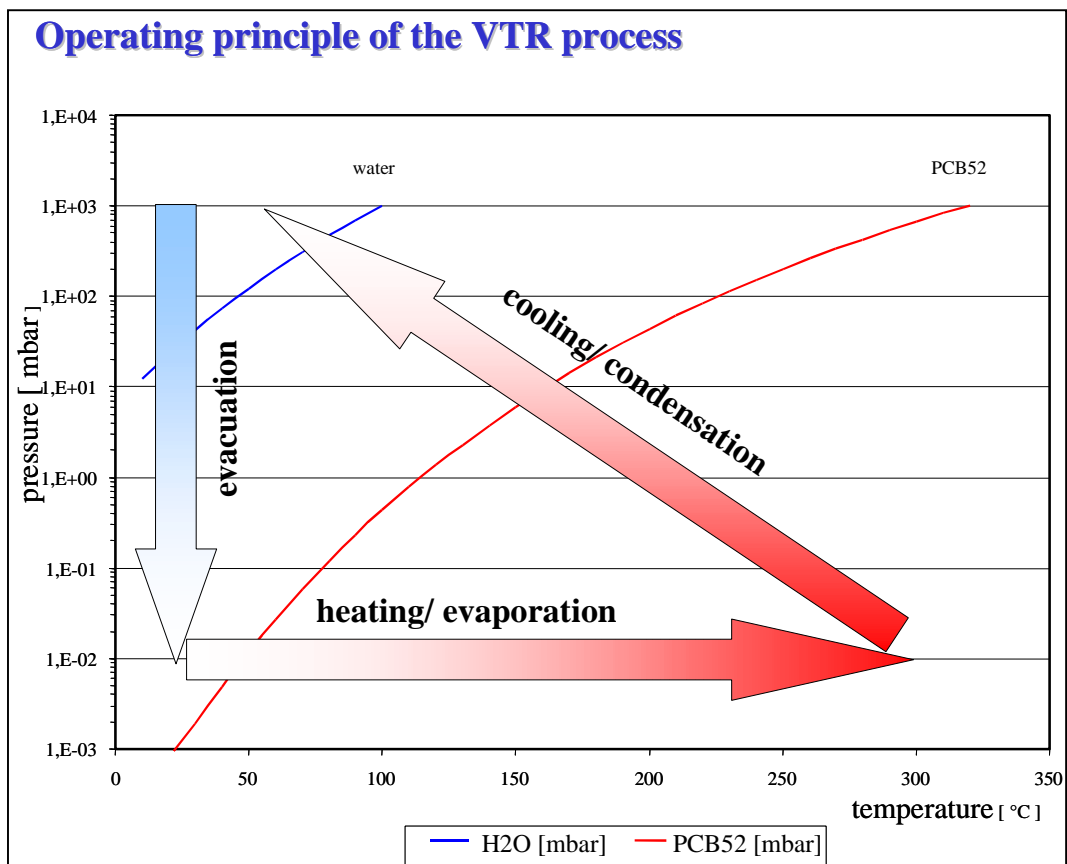


Abb. 3.2: VTR-Prinzip im Bezug auf PCB (Quelle: ALD)

Nach Angaben eines namhaften Anlagenbauers ist der vakuumthermische Recyclingprozess allgemein für folgende Separationen anwendbar (ALD, 2001):

<i>Phasen</i>	<i>Anwendungsbeispiel</i>
flüssig / fest	PCB-haltige Öle von Metall
fest / fest	Cadmium aus Ni/Cd-Batterien
flüssig / fest	Quecksilber aus quecksilberkontaminierten Abfällen
flüssig / fest	Quecksilber aus Aktivkohle
flüssig / flüssig	Öl aus Wasser
gasförmig / fest	Kohlenwasserstoffe aus Aktivkohle

Nach Angaben des Anlagenbauers sind folgende Vorteile dieses Recyclingprozesses anzuführen (ALD – MELBER A. et al., 2001):

- man ist nicht gezwungen mit hohen Temperaturen oder mit Chemikalien zu arbeiten,
- die Behandlung des Abgases ist einfach, da die Abgasmenge annähernd Null ist,
- die laufenden Kosten sind niedrig, da keine Zusatzstoffe benötigt werden und keine neuen Abfälle produziert werden,
- der Energieverbrauch ist niedrig, da niedrige Arbeitstemperaturen vorherrschen und die Ofengestaltung geringe Energieverluste garantiert.

3.1.1.2 Anlagenbauer

Die Firma **ALD** ist nach eigenen Angaben der weltweit führende Anbieter von Verfahren und Dienstleistungen auf dem Gebiet der Vakuumprozesstechnik. Die Kernkompetenzen von ALD liegen in der **Entwicklung von Verfahren** und dem **Design von Anlagen**. Diese Anlagen werden z.T. gemeinsam mit den potentiellen Anlagenbetreibern (Pilotkunden) entwickelt und von

ALD Vakuum Technologies AG
 Wilhelm-Rohn-Strasse 35
 D- 63450 Hanau
 Tel.: 0049/6181/307-0
www.ald-vt.com

Kooperationspartnern in der

Zulieferindustrie nach ALD-Konzepten gebaut (ALD, 2001).

Unter der Vakuumprozesstechnik als Schlüsseltechnologie stellen die Vakuum-Metallurgie, die Vakuum-Wärmebehandlung und das vakuumthermische Recycling die drei technologischen Säulen der ALD-Anlagen dar. Hierunter wird verstanden:

- **Vakuum-Metallurgie** → die Herstellung hochreiner Werkstoffe und extrem leistungsfähiger Materialien und Legierungen
- **Vakuum-Wärmebehandlung** → die Härtung von präzisen, hochbelasteten Bauteilen
- **Vakuumthermisches Recycling** → Verfahren zur emissionsfreien Trennung von kontaminierten Abfällen unter Wiedergewinnung der Ausgangsstoffe

Vakuumthermische Recyclinganlagen (siehe Pkt. 3.1.1.3 - Anlagenprinzip) wurden von ALD für die Behandlung von quecksilberhaltigen Abfällen, Nickel-/Cadmium-Akkumulatoren und die Behandlung von PCB-haltigen Transformatoren und Kondensatoren entwickelt.

Die vakuumthermische Anlage für die Behandlung von **Hg-haltigen Abfällen** wurde von ALD gemeinsam mit der Firma GMR, Gesellschaft für Metallrecycling mbH, Leipzig konzipiert, wobei ALD die Erfahrungen als Vakuum-Spezialist und die Firma GMR das Know-How als Spezialist im Recycling von Quecksilber-Materialien einbrachte. Die Anlage wird seit Februar 1998 betrieben. Sie kann für das Recycling von Hg-Batterien, Leuchtstofflampen und Hochdrucklampen, Hg-Gleichrichtern, Thermometern und Relais, Zahn amalgam und Rückständen der Chlorchemie eingesetzt werden und erlaubt maximale Chargengrößen von 3 Tonnen (siehe Pkt. 3.3.2.2– Firma GMR).

Eine Anlage für die Reinigung von **PCB-haltigen Abfällen** wurde von ALD über ein Joint Venture Unternehmen in Japan installiert. Das Verfahren ist sowohl vom Japanischen Gesundheitsministerium als auch vom Ministerium für internationalen Handel und Industrie (MITI -Ministry of International Trade and Industry) anerkannt worden. Ein Anlage zur Aufarbeitung von **Nickel/Cadmium-Batterien** wird von der Firma ACCUREC in Mülheim betrieben (ALD, 2001).

Ein weiterer Anlagenbauer für vakuumthermische Recyclinganlagen ist die Firma **MRT** in Schweden. Nach allgemeinen Informationen von MRT werden diese Anlagen für die Aufarbeitung von Leuchtstoffröhren und quecksilberhaltigen Batterien eingesetzt. Sie wurden jedoch auch für die Behandlung von anderen quecksilberhaltigen Bauteilen konzipiert (UBA, 1989) – siehe Anlagenprinzip - MRT, Seite 31. Ein Betreiber einer MRT-Anlage, die Firma Trienekens Neuss (siehe Pkt. 3.3.2.4) arbeitet derzeit jedoch nur Knopfzellen mit dieser Anlage auf. Die Prozessparameter für die Behandlung von quecksilberhaltigen Bauteilen aus Elektroalgeräten müssten bei Bedarf bestimmt werden. Von MRT wurden leider keine weiterführenden Angaben bereitgestellt.

MRT System AB
 Kaliumvägen 3
 S-371 50 Karlskrona
 Sweden
www.mrtsystem.com

Eine einfache Destillationsanlage ohne Oxidationsstufe wurde von der TU Wien entwickelt und wird derzeit von der **Firma Kranner** in Wien für die Destillation von anorganischen quecksilberhaltigen Abfällen betrieben – sh. Pkt. 3.3.2.1.

3.1.1.3 Anlagenprinzip

➤ Anlagenprinzip - ALD

Die Vakuumthermischen Recyclinganlagen der Firma ALD bestehen im wesentlichen aus einer horizontalen Vakuumkammer, welche über ein motorgetriebenes Ladesystem beschickt werden kann (vgl. Anlagenprinzip Abb. 3.3).

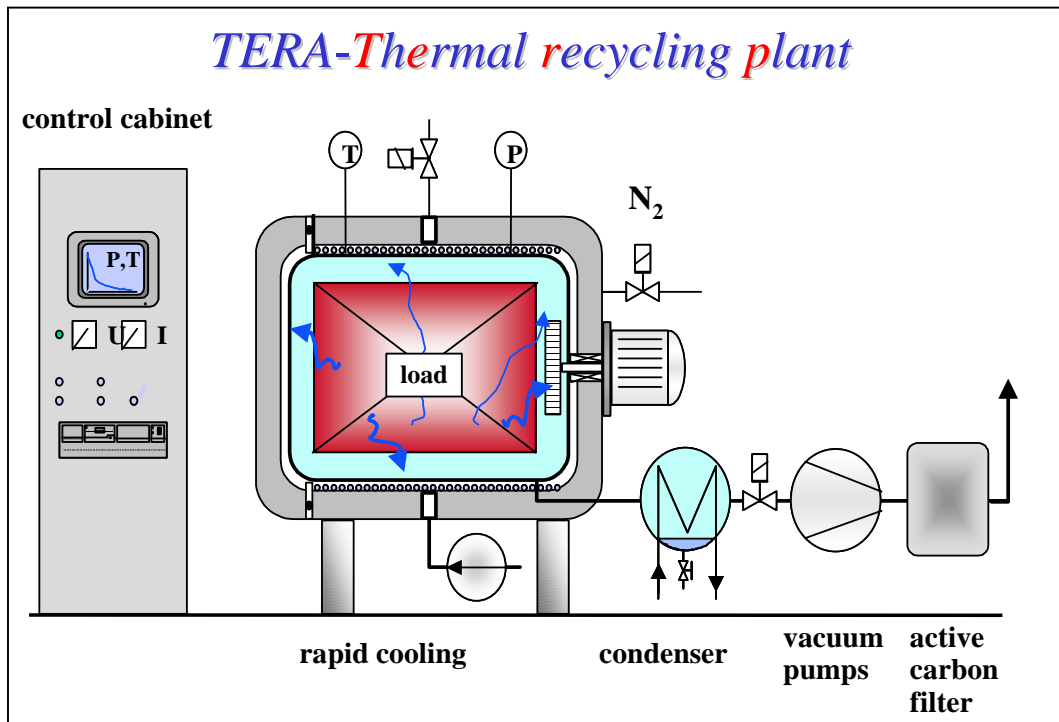


Abb. 3.3: Anlagenprinzip VTR-Anlage (Quelle: ALD)

Die Prozessparameter wie Temperatur und Druck können nach dem jeweiligen Anwendungsfall gewählt und geregelt werden. Das in der Vakuumkammer entstehende Prozessgas wird über Kondensatoren geführt. Hinter den Kondensatoren sind spezielle Systeme von Vakuumpumpen installiert. Die Vakuumdichtheit dieser Anlage wird durch die Leckrate von weniger als 10^{-1} mb³/s spezifiziert.

Während des Prozesses wird kein Inertgas verwendet, so dass der endgültige Druck nach der Quecksilberabscheidung unter 1 mbar sein kann. Behandlungstemperaturen unter 350 °C sind z.B. ausreichend, um einen Quecksilbergehalt von unter 10 mg/kg in Batterien bzw. Knopfzellen zu erzielen. Für andere Anwendungen ist die Anlage für eine max. Temperatur von 650 °C ausgelegt.

Durch die Verwendung eines Öl-Heizsystems wird die Mindesttemperatur aller Röhren und Flansche/Verbindungen, die aus der Anlage herausführen, über der Kondensationstemperatur von Quecksilber gehalten. Dadurch wird eine Abscheidung von Quecksilber an unerwünschten Stellen vermieden.

Um Materialien behandeln zu können, die neben **Quecksilber** auch **Kunststoffe** bzw. **Kohlenwasserstoffe** enthalten, enthält die Anlage eine Oxidationsstufe, welche verhindert, dass neben Quecksilber auch Kohlenwasserstoffe kondensieren könnten. Die beim Erwärmungsprozess entstehenden Kohlenwasserstoffverbindungen werden hierfür über eine in den Ofen integrierte Oxidationsröhre geführt, wo der Dampf auf 850 °C aufgeheizt und die im Dampf enthaltenen Kohlenwasserstoffverbindungen unter Zudosierung von reinem Sauerstoff oxidiert werden. Der verbleibende Sauerstoffgehalt wird hinter dem Kondensator gemessen. Dies erlaubt eine laufende Kontrolle der vollständigen Oxidation der

Kohlenwasserstoffe und gewährleistet, dass ausschließlich Wasser und Quecksilber kondensiert werden. Wasser und Quecksilber können anschließend leicht separiert werden (z.B. Scheidtrichter).

Durch ein Konvektionskühlsystem können kurze Behandlungszeiten erzielt werden. Nachgeschaltete jod- oder schwefelimpregnierte Aktivkohlefiltereinheiten verhindern Emissionen an Quecksilber. Das Vakuumpumpensystem erlaubt das Erreichen eines Vakuums mit 0,1 mbar bei einer maximalen Temperatur von 650 °C in der Reaktionskammer.

Die Oxidationsröhre ist innen in den Ofen integriert, was eine Nutzung der Heizenergie für die Oxidation im Gesamtprozess erlaubt. Die Oxidationsröhre ist für die Oxidation von rund 3 % des Chargeninputs ausgelegt. Die Behandlung von Materialien mit höherem Gehalt an organischen Anteilen resultiert in längeren Behandlungszeiten.

Der Dampf wird in einem Plattenwärmeaustauscher kondensiert. Die Platten des Wärmeaustauschers können bei Bedarf im Vakuumofen gereinigt werden. Das Quecksilber und das Wasser werden in Lagertanks mit einer Kapazität von 500 l gesammelt.

Der Vorteil der hier erläuterten Anlage TERA 80/80/300 ist, dass große quecksilberkontaminierte Teile wie z.B. Bogen- gleichrichter (siehe Abb. 3.4) behandelt werden können, ohne dass eine spezielle Vorbehandlung erforderlich ist.



Abb. 3.4: Anlage zur Behandlung von quecksilberhaltigen Abfällen (Quelle: ALD)

Für Quecksilberknopfzellen und für quecksilberkontaminiertes Glas, Thermometer und Schalter wird von einer Behandlungszeit von rd. 24 Stunden ausgegangen um einen Quecksilbergehalt von < 10 ppm zu erzielen.

Bei der vakuumthermische Behandlung von quecksilberhaltige Batterien ist in der Regel **keine Vorbehandlung** erforderlich, was einen der bedeutenden Verfahrensvorteile darstellt. Bei quecksilberhaltigen Bauteilen, wie sie aus Elektroaltgeräten anfallen können, ist nach Angaben der Firma GMR als Anlagenbetreiber ein Brechen oder Anbohren erforderlich, um ein Ausdampfen des Quecksilbers zu ermöglichen - Firma GMR – Pkt. 3.3.2.2.

Bei Anlagen oder Bauteilen, die **PCB-haltige Betriebsmittel** enthalten, werden Anlagen nach dem gleichen Verfahrensprinzip verwendet. Als Filter werden hier Aktivkohlefilter verwendet, welche jedoch nur als zusätzliche Sicherheit gedacht sind. Messungen des Abgases vor der Aktivkohle haben gezeigt, dass bereits im Rohgas alle Vorgaben bezüglich PCDD und PCDF unterschritten werden.

Das vakuumthermische Recycling bietet hier eine Möglichkeit, PCB-haltige Öle sowohl von Metallteilen als auch von Holz, Kunststoffen und Papier abzutrennen. Sowohl **Transformatoren** als auch **Kondensatoren** können ohne vorherige Demontage oder andere Vorbehandlungsstufen in der VTR-Anlage behandelt werden. Die Teile werden in den Vakuumofen eingebracht und unter reduziertem Druck erwärmt. Organische Verbindungen werden unter vollständiger Oxidation verbrannt, PCB-haltige Öle werden abgedampft und kondensiert (siehe

Abb. 3.2 VTR-Prinzip im Bezug auf die PCB-Abscheidung, Seite 27) und es verbleiben Metallteile mit anhaftenden Pyrolysekoks bzw. –kohlenstaub, welcher vor Einsatz der Aluminiumfraktionen in Sekundäraluminiumhütten durch entsprechende mechanische Zerkleinerungs- und Separationsverfahren (Sichtung) abgetrennt wird.

Ein speziell gestalteter Dampfkondensator stellt sicher, dass 100 % des PCB innerhalb des Systems kondensiert wird. Detaillierte Untersuchungen haben bestätigt, dass während der Behandlung keine Dioxine gebildet werden und dass durch die VTR-Technologie Metallteile bis zu einem PCB-Gehalt von < 0,01 mg/kg abgereinigt werden können. Im Routinebetrieb werden Transformatoren und Kondensatoren auf PCB-Gehalte < 1 ppm gereinigt, so dass die erzielten Metalle in die Verwertung eingebracht werden können. Die kondensierten schadstoffhaltigen Öle werden nach dem Stand der Technik entsorgt.

Eine derartige Anlage für die Reinigung von PCB-haltigen Abfällen wurde von ALD über ein Joint Venture Unternehmen in Japan installiert. Das Verfahren ist sowohl vom Japanischen Gesundheitsministerium als auch vom Ministerium für Industrie (MITI) anerkannt worden – siehe Pkt. 3.2.3, Vakuumthermische Behandlung von Kondensatoren

➤ **Anlagenprinzip - MRT**

Das MRT-Verfahren arbeitet nach allgemeinen Angaben über einen zwei-stufigen Prozess einer Vakuumdestillation und einer Nachverbrennung (UBA, 1989). Quecksilber wird aus der Abluft mittels Kühlfallen rückgewonnen. Quecksilberreste werden mittels Kohlefilter abgeschieden. Hinter dem Aktivkohlefilter befindet sich das Vakuumpumpensystem.

Quecksilberhaltige Abfälle werden in eine Trommel mit einem Inhalt von rd. 120 l gefüllt und in dieser Trommel in die Destillationsanlage eingebracht. Danach wird das gesamte System mittels Vakuumpumpen evakuiert (Druck ca. 100 mbar). Je nach zu verarbeitenden Abfall wird anschließend ein Prozessablauf (Druck-Temperatur-Verlauf) gewählt und automatisch geregelt.

Diese automatische Verfahren besteht im wesentlichen aus zwei Schritten, der Verbrennungsphase und der Quecksilber-Verdampfungsphase:

Verbrennungsphase

Die organischen Komponenten von Batterien und andere quecksilberhaltige Abfälle, welche während der Aufheizphase aus den Abfällen ausgetrieben werden, werden in einer Nachbrennkammer bei ca. 850 °C und unter Zudosierung von Sauerstoff verbrannt. Um eine ausreichende Verbrennung von 95 bis 99 % zu erreichen, wird der Druck in der Nachbrennkammer auf ca. 500 mbar erhöht. Mit steigender Temperatur in der Behandlungskammer wird der verdampfte organische Anteil im Abfall verbrannt und gleichzeitig nimmt die Quecksilberkonzentration in den Dämpfen zu. Das Quecksilber wird gemeinsam mit dem Wasser in den Kühlfallen kondensiert und abgeschieden.

Wenn die Temperatur 450 bis 500 °C überschritten hat, sind nur noch wenige organische Substanzen in den Gasen enthalten. Die Sauerstoffzufuhr in die Nachbrennkammer wird gedrosselt und die Temperatur wird auf 500 °C stabilisiert. Damit ist die Verbrennungsphase abgeschlossen.

Quecksilber-Verdampfungsphase

Bei einer Temperatur von 500 °C ist bereits der größte Anteil des Quecksilbers verdampft. Um Restgehalte an Quecksilber zu entfernen, wird der Druck pulsierend zwischen 100 und 500 mbar verändert (sogen. Atemzyklus). Das Pulsieren wird durch Zuführung von Stickstoffgas in die Vakuumkammer erreicht. Nach mindestens vier Stunden ist fast das gesamte Quecksilber entwichen und die Behandlung wird mit der Abkühlphase von etwa 3 bis 5 Stunden beendet.

Die Emissionswerte der Anlage betragen für Luft ca. 0,02 mg Hg/m³, der Quecksilbergehalt im festen Rückstand beträgt 0,004 mg Hg/kg.

Von der Firma Trienekens Neuss wird eine derartige Anlage betrieben, jedoch werden hier ausschließlich Knopfzellen behandelt – siehe Pkt. 3.3.2.4. Von der Firma MRT wurden leider **keine weiterführenden Angaben** wie z.B. zur erforderlichen Vorbehandlung von Teilen oder Neuerungen betreffen Verfahrenstechnologie bereitgestellt.

3.1.2 Anlagen zur thermischen Behandlung von Abfällen

Anlagen zur thermischen Behandlung sollen hier grob danach unterschieden werden, ob **spezielle Abfallarten** eingesetzt werden und eine **Gewinnung von Produkten** (z.B. zum Einsatz im Bereich der stofflichen Verwertung) im Vordergrund steht oder ob es sich um Anlagen handelt, bei denen die Inertisierung von Materialien und / oder die Zerstörung von gefährlichen Inhaltstoffen den Hauptzweck der Anlage darstellen.

Unter diesem Gesichtspunkt werden hier Batterierecyclinganlagen betrachtet, welche die in dieser Studie betrachteten Bauteile aus Elektroaltgeräten übernehmen. Weiters wird die Anlage der Fernwärme Wien zur Behandlung von gefährlichen Abfällen kurz und allgemein dargestellt.

Es ist nicht Ziel dieser Studie, weiterführende Betrachtungen zu diesen Anlagen bzw. zur Unterscheidung einer Behandlung oder Entsorgung von Abfällen durchzuführen. Es soll lediglich auf jene verfahrenstechnischen Einrichtungen eingegangen werden, die im Bezug auf die hier genannten Bauteile bestehen.

3.1.2.1 Batterierecyclinganlage der Firma BATREC

Die Firma Batrec AG betreibt auf dem Gelände der Pulverfabrik in Wimmis, Schweiz eine **Batterie-recyclinganlage** mit einer Jahreskapazität von 3.000 t. Die Technologie dieser Anlage wurde in Zusammenarbeit mit Sumitomo Heavy Industries Ltd. Japan entwickelt.

BATREC AG Postfach 20 CH-3752 Wimmis Tel.: 0041/33/657-0 www.batrec.ch

In dieser Anlage können alle Arten an Batterien wie Zink-Kohle- und Alkali-Manganbatterien als auch Lithium- und Nickel-Cadmium-Akkumulatoren und Knopfzellen aufgearbeitet werden. Weiters werden alle Arten an quecksilberhaltigen Bauteilen übernommen und das enthaltene Quecksilber rückgewonnen. Kondensatoren werden ebenfalls übernommen.

Wie aus dem Flussbild der **Batrec-Anlage** (Abb. 3.5) ersichtlich, werden die Inputmaterialien über einen Vorbunker in einen Schachtofen eingebracht. Hier werden die organische Komponenten der eingebrachten Abfälle bei rund 700 °C pyrolysiert. In dieser Stufe wird auch der größte Anteil der Quecksilberverbindungen reduziert und leicht flüchtiges Quecksilber geht in die Gasphase über.

Die festen Reststoffe aus dem Schachtofen werden in einen Induktions-Schmelzofen übergeführt, wo die vorhandenen Oxidformen der Metalle (Fe, Zn, Mn) geschmolzen und zu ihrer metallischen Form reduziert werden. Der im Schmelzofen entstehende Metaldampf wird in einen Zink-Kondensator übergeführt, wo Zink mit geringen Anteilen an Nickel und Cadmium abgeschieden wird. Das Zink (durchschnittlich 98,5 % Zn) wird über Metallhändler auf dem Weltmarkt verkauft. Die Abluft aus dem Zink-Kondensator wird über einen Wäscher und einen Heißluftgenerator wieder dem Schachtofen zugeführt.

Die im Schmelzofen verbleibenden flüssigen Rückstände werden als Ferromanganlegierung mit geringen Anteilen an Nickel und Kupfer kontinuierlich abgestochen und in Formen gegossen. Ferromangan wird als Legierungsstoff für die Stahlherstellung verkauft. Die Schlacke aus dem Schmelzofen wird abgezogen und fällt als einziger Reststoff dieses Behandlungsverfahren an. Sie wird auf Schweizer Deponien abgelagert.

Weiters werden auch **Kondensatoren** aus dem Bereich der Elektroaltgeräte übernommen. Es kann sich hier sowohl um PCB-haltige als auch um Elektrolytkondensatoren handeln bzw. ist eine Trennung dieser Kondensatorarten nicht erforderlich.

Die organischen Komponenten der übernommenen Abfälle werden im Verfahren der Firma Batrec zerstört, das in den Kondensatoren enthaltene Aluminium trägt nach Angaben eines Vertreters der Firma Batrec zur Verflüssigung der Schlacke bei. Andernfalls müssten andere aluminiumhaltige Materialien gezielt zudosiert werden (BATREC, 2001).

Nach Angaben eines Vertreters der Firma Batrec ist für die meisten quecksilberhaltigen Abfälle und Bauteile sowie für die Kondensatoren **keine Vorbehandlung** erforderlich und diese Teile werden im Schachtofen bei 700 °C aufgeschlossen.

Für dickere quecksilbergefüllte Schalter (d.h. dort wo Quecksilber in eine Glasröhre eingefüllt ist) wird eine eigene Vorbehandlungsstufe betrieben, die im wesentlichen einen Brecher und Destillationsanlage umfasst.

Metall- oder kunststoffummantelte quecksilberhaltige Bauteile müssen nicht vorbehandelt werden, sondern werden in den Schachtofen eingebracht. Kunststoff wird pyrolysiert, Metalle werden entweder im Schachtofen oder im Induktions-Schmelzofen gesichert geschmolzen und Quecksilber verdampft und abgeschieden.

Die wesentlichen **Produkte** dieses Verfahrens sind Ferromangan und Zink. Als Reststoff fällt Schlacke mit einem Anteil von rd. 3 % an. Das abgeschiedene Quecksilber liegt mit einer Reinheit von 99,99 % vor und wird an Spezialfirmen zur weiteren Aufarbeitung weitergeleitet.

Als **Übernahmepreise** für quecksilberhaltige Abfälle wird der Bereich von 2,50 SFr und 10 SFr pro kg genannt. Sie sind von der Materialqualität und dem Sortieraufwand abhängig.

Für quecksilberhaltige Bauteile aus der Demontage von Elektroaltgeräten liegen die Übernahmekosten zwischen **SFr 4,- bis SFr 6,- pro kg**. Zum selben Tarif werden Kondensatoren übernommen. Quecksilberhaltige Abfälle und Kondensatoren können als Mischfraktion übergeben werden.

3.1.2.2 Batterierecyclinganlage der Firma Chemtec

Von der Batterierecyclinganlage der Firma Chemtec am Standort der Fernwärme Wien Simmering sollen in Zukunft auch **quecksilberhaltige Abfälle** übernommen werden. Zum angewendeten Verfahren siehe **Pkt. 3.3.3.1**, Seite **68** im Kapitel Behandlungsverfahren für quecksilberhaltige Bauteile.

3.1.2.3 Thermische Entsorgung von gefährlichen Abfällen der Fernwärme Wien, Werk Simmeringer Haide

Die thermische Anlage der Fernwärme Wien für die Sonderabfallbehandlung im Werk Simmeringer Haide (ehemals EBS) verfügt über die Genehmigung zur Übernahme fast aller Arten an gefährlichen Abfällen.

Fernwärme Wien Ges.m.b.H.
Spittelauer Lände 45
A-1090 Wien
Tel. 313 26 – 0
www.fernwaerme.co.at

Abfälle können sowohl als Schüttgut oder als Fassware angeliefert werden und gelangen dann entweder über den Bunker oder die Fassaufgabe in eine der beiden unabhängig von einander zu betreibenden Drehrohrofenanlagen. Im Drehrohrofen herrscht eine Temperatur von rd. 1.200 °C. Durch die Gestaltung des Drehrohrofens (4 Meter Durchmesser, 14 Meter Länge, 3° Neigung) und einer Umdrehungszahl von weniger als 1 U/Min. verbleibt der Abfall rd. eine Stunde im Ofenraum. Die Verweilzeit des Heizgases beträgt mindestens 2 Sekunden. Die entstehende Schlacke wird über einen Nassentschlacker ausgetragen und wird nach einer Groabtrennung von Metallen deponiert.

Nach Nutzung der Wärme des Rauchgases in der Dampfkesselanlage (vgl. Abb. 3.6) werden die Rauchgase über einen Elektrofilter geführt, wo Asche abgeschieden wird. Die Abluft aus dem Elektrofilter durchläuft eine vierstufige Gaswäsche. Danach wird die Abluft wieder auf 108 °C aufgeheizt und über einen Aktivkohlefilter endgereinigt.

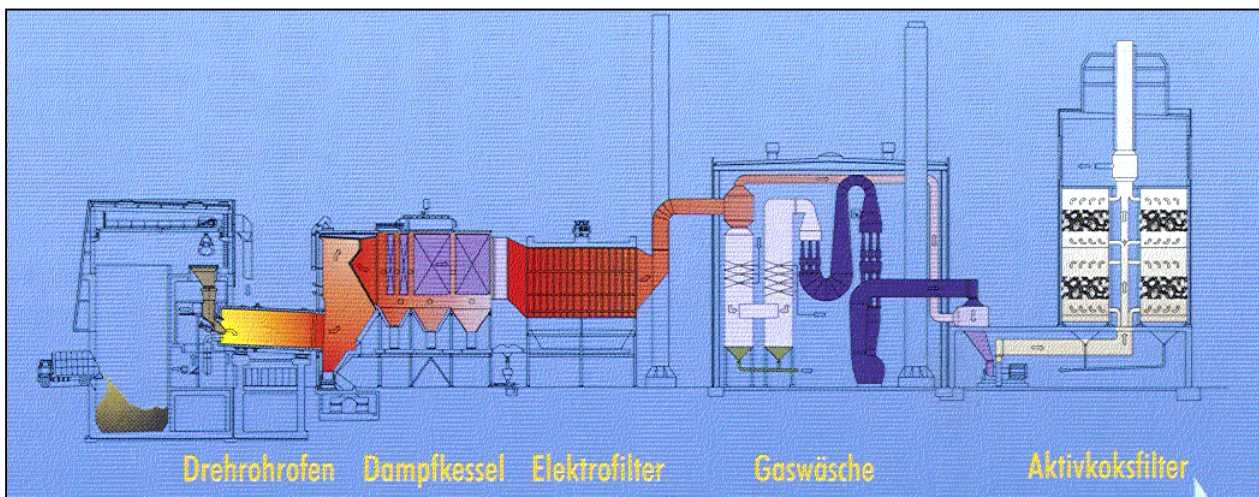


Abb. 3.6: Anlagenskizze der Sonderabfallbehandlung in der Anlage der Fernwärme Wien, Simmering (Quelle: Fernwärme Wien, 2001)

Quecksilber wird wie andere Schwermetalle und ggf. vorhandene gasförmige Schadstoffe, in der vierstufigen Nasswäsche-Anlage abgeschieden. Die hier aus dem Rauchgas entfernten und in wässriger Lösung vorliegenden Schadstoffe werden in einer Abwasserbehandlungsanlage ausgefällt. Der Schlamm aus der Abwasserbehandlungsanlage wird mit Kammerfilterpressen entwässert. Der Filterkuchen wird auf inländische Deponien der Eluatklasse III verbracht (MA 48, 1998).

Die Aktivkohlefilter dienen zur Abscheidung von Dioxinen und Furanen. Nach den Standzeiten des Filters wird das Filtermaterial dem Ofenprozess zugeführt.

Die Fernwärme Wien übernimmt am Standort Simmering **Kondensatoren** nach unterschiedlichen Größenklassen und Inhaltstoffen und Übernahmepreise von **ATS 9,80 bis ATS 25,80 pro kg** (sh. Pkt. 3.2.6).

An der Übernahme von **LCD** ist man interessiert (sh. Pkt. 3.4.2.2), da Glas generell als Schlackebildner genützt werden kann.

Für **quecksilberhaltige Abfälle** besteht zwar die Genehmigung zur Behandlung, sie werden jedoch nur gegen Anfrage, Bemusterung und Analyse übernommen (sh. Pkt. 3.3.4). Wesentlich dafür ist, dass keine gesonderte Quecksilberabscheidungsstufe in die Rauchgasreinigung integriert ist, und das enthaltene Quecksilber unmittelbar in die Filterschlämme der Abgas- bzw. Abwasserreinigung übergeführt wird. Es wird angegeben, dass bei Anfragen zur Übernahme an quecksilberhaltigen Abfällen an Quecksilberrecyclingbetriebe verwiesen werden würde.

Allgemein werden bei der Fernwärme Wien – Simmering den Übernahmepreisen

- Wiegegeld von ATS 115,- pro Nettogewicht (=Differenzwiegung)
- Gebühren pro Begleitscheinsatz von ATS 58,- pro Begleitschein
- 10 % Mehrwertsteuer

hinzugerechnet.

3.1.3 Untertagedeponien

3.1.3.1 Allgemeines

In Untertagedeponien können Abfälle abgelagert werden, die auf Grund ihres Schadstoffgehaltes und Wasserlöslichkeit der Schadstoffe von einer obertägigen Deponierung ausgeschlossen sind.

Im Interesse der **Sicherheit** der **Untertagedeponie** und der dort beschäftigten **Bergleute** gelten für die Einlagerung in Untertagedeponien jedoch die folgenden Bedingungen, welche die einzulagernde Abfälle erfüllen müssen:

- *nicht explosibel (unter Ablagerungsbedingungen)*
- *nicht selbstentzündlich (unter Ablagerungsbedingungen)*
- *nicht selbstgänglich brennbar (unter Ablagerungsbedingungen)*
- *Abfälle dürfen bei Ablagerung zu keinen Reaktionen neigen, die eine selbständige Ausgasung bzw. Gasbildung im Behältnis bedingen*
- *Abfälle dürfen nicht penetrant riechen*
- *Abfälle dürfen nicht flüssig sein und müssen mindestens eine stichfeste Konsistenz aufweisen*
- *Abfälle dürfen nicht in schädlicher Weise mit dem Salzgebirge reagieren*
- *Abfälle dürfen nicht volumenvergrößernd sein*
- *Abfälle dürfen nicht radioaktiv sein*
- *Abfälle dürfen keine Erreger übertragbarer Krankheiten enthalten oder hervorbringen können*
- *Abfälle müssen in dicht verschlossenen Behältnissen (Fässer, Container bzw. Schützcontainer oder Big-Bags in bergbauhygienisch unbedenklicher, staubdichter und schwerentflammbarer Ausführung) verpackt sein.*

Übernahmebedingungen der UTD Herfa-Neurode (K+S, 2001)

Abfälle, welche diese Bedingungen nicht erfüllen, dürfen in Untertagedeponien nicht eingelagert werden. Nach den allgemeinen Informationen zur Untertagedeponie Herfa-Neurode dürfen Abfälle aus Sammlungen (undefinierbare Mischungen) nicht angenommen werden (K+S (2), 2001).

Es wird darauf hingewiesen, dass bei Abfällen, die durch diese Rahmenbeschränkungen zunächst nicht angenommen werden können und die sich auch auf anderem Wege nicht umweltverträglich beseitigen lassen, von Fall zu Fall durch gemeinsam mit den Behörden festzulegenden Verfahren (z.B. zusätzliche chemische Behandlung, besondere Konditionierung und/oder Verpackung) die Voraussetzungen für die sichere Ablagerung in der Untertagedeponie geschaffen werden können (K+S (1), 2001).

Für jeden einzelnen Abfall wird in Abhängigkeit von dessen Eigenschaften die **Verpackung** individuell festgelegt. Die Verpackung muß den mechanischen Belastungen standhalten und korrosionsbeständig gegenüber dem Abfall sein. Eine Korrosion von außen ist nach einer Einlagerung in der UTD nicht möglich, da die Grubenwetter bei einer relativen Feuchte zwischen 15 und 40 % extrem trocken sind. Kriterien für die Verpackungsauswahl sind die Eigenschaften des Abfalls wie:

- die Toxizität
- der pH-Wert des Abfalls
- der Restfeuchte-Anteil
- der Feinstaub-Anteil

Standardverpackung der UTD ist das 200-l-Stahlblechfass mit eingelegtem starkwandigem PE-Sack. Weiters sind Stahlbehälter in anderer Form und Fassungsvermögen und Big-Bags fallweise zugelassen. PCB-kontaminierte Transformatoren dürfen unter Berücksichtigung der Gefahrgutvorschriften auch ohne weitere Verpackung eingelagert werden.

Bei den Untertagedeponien in Deutschland **Herfa-Neurode**, **Zielitz** und **Heilbronn** handelt es sich um adaptierte Hohlräume ehemaliger Salzbergwerke. Das Endlagergut wird in Untertagedeponien nach Stoffgruppen getrennt in Einlagerungsräumen verwahrt. Nachdem ein Einlagerungsraum verfüllt ist, wird er abgemauert. Über einen gewissen Zeitraum ist die **Auslagerung** von Abfällen möglich, was z.B. in Herfa-Neurode bisher acht Mal durchgeführt wurde, um die Abfallsubstanzen einem gezielten Einsatz in Produktionsprozessen zuzuführen. Für längere Zeiträume (mehrere hundert Jahre) wird davon ausgegangen, dass die Trennziegelmauern verfallen und die Abfälle vollkommen von Salz umschlossen werden (BRENDDEL, 2000).

Exkurs Bergversatz

Neben den Untertagedeponien übernehmen Bergwerksbetriebe bergfremde Materialien und auch überwachungsbedürftige Abfälle als Bergversatzmaterialien (siehe dazu auch Tab. 3.1). Im Fall des Bergwerkes Hattdorf handelt es sich um einen anderen Teil des Salzbergwerkes, in dem sich auch die Untertagedeponie Herfa-Neurode befindet (und welche vom selben Eigentümer betrieben wird). Demnach sind die geologischen und hydrogeologischen Voraussetzungen gleich. Wesentliche Unterschiede ergeben sich jedoch aus dem erforderlichen Genehmigungsverfahren, dem erforderlichen Verfahren zur Prüfung der angelieferten Abfälle und der Art des Einbaus. Dadurch ergeben sich Unterschiede in den Übernahmepreisen von DM 470,- pro t in der Untertagedeponien Herfa-Neurode und DM 250,- bis DM 300,- pro t bei Einsatz als Versatz in Hattdorf.

In Deutschland ist derzeit eine heftige Diskussion über die Ablagerung von Abfällen als Bergversatzmaterial (=Verwertung) oder die Ablagerung im Sinne der Beseitigung im Gange. Endlagerexperten schätzen „die Masse der in unterirdischen Hohlräumen zu deponierenden Sonderabfälle“ (Anm. überwachungsbedürftige und besonders überwachungsbedürftige Abfälle – vgl. D- BGBl. 47/1996) auf 300.000 bis 1.000.000 Tonnen jährlich. Von diesen Sonderabfallmengen werden etwa 160 000 Tonnen pro Jahr in den drei deutschen Untertagedeponien Heilbronn, Zielitz und Herfa-Neurode abgelagert, wovon ein knappes Drittel aus der Schweiz stammt (BRENDDEL, 2000).

Zu Frage, ob Sonderabfälle zum Versatz eingesetzt werden dürfen und dem Verlangen danach, dass für derartige Versatzbergwerke die selben Umweltprüfungen wie für jede andere Deponie gelten müssten (*u.a. Abmahnung der deutschen Bundesregierung durch die EU*), wird oft angeführt (*u.a. Antwort der deutschen Bundesregierung an die EU*), dass es sich um Maßnahmen aus „bergbausicherheitlichen Gründen“ handle, die weniger der „Verfüllung von Hohlräumen“, sondern vor allem der „Stabilisierung des Gebirges“ dienen. Der Versatz von Sonderabfällen sei in Deutschland überdies nur erlaubt, wenn sich diese möglichst vollständig vom Grundwasser abschirmen ließen. Hierfür kämen als Wirtsgestein Steinsalz (z.B. Kali) oder Fels (z.B. Tonstein) in Betracht. Hattdorf wäre damit rechtlich gedeckt, Kohlebergwerke jedoch nicht (BRENDDEL, 2000).

Nach einer Zusammenfassung des Forschungszentrum Karlsruhe GmbH wurden in Deutschland im Jahr 1994 ca. 2 Mio. t Reststoffe und Abfälle in untertägigen Hohlräumen entsorgt. Davon wurden ca. 1,7 Mio. t zu Versatzzwecken eingebracht und somit „verwertet“ (vorwiegend mineralische Reststoffe und Abfälle - davon ca. 20 Prozent überwachungsbedürftig) und ca. 0,2 Mio. t in den Anlagen Herfa-Neurode und Heilbronn abgelagert. Im Jahr 1996 wurden mit ca. 0,16 Mio. t in den UTD Herfa-Neurode, Heilbronn und Zielitz geringere Mengen abgelagert. Auch die als Versatz eingebrachte Menge bergbaufremder Abfälle ging auf ca. 1,5 Mio. t zurück, allerdings nahm der Anteil überwachungsbedürftiger Abfälle mit rund 0,5 Mio. t auf über 30 Prozent zu. Dieser Trend

setzte sich in den Jahren 1997 und 1998 fort, in denen 1,7 bzw. 1,9 Mio. t bergbaufremde Abfälle versetzt wurden. Der Anteil überwachungsbedürftiger Abfälle stieg auf ca. 40 Prozent im Jahr 1997 bzw. über 45 Prozent im Jahr 1998. Ein erheblicher Anteil der versetzten Abfälle wird aus Ländern importiert, in denen keine untertägige Entsorgungseinrichtungen vorhanden sind (FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE, 1998). Tab. 3.1 zeigt diese Angaben und die daraus ermittelten Werte im Überblick.

		1994	1996	1997	1998
Versatz mit bergbaufremden Materialien	t	1.700.000	1.500.000	1.700.000	1.900.000
davon überwachungsbedürftige Abfälle	%	20%	33%	40%	45%
überwachungsbedürftige Abfälle	t	340.000	500.000	680.000	855.000
Übernahme von Sonderabfällen in den Untertagedeponien	t	200.000	160.000	172.610	

Tab. 3.1: Untertägige Ablagerung von Abfällen in Deutschland

3.1.3.2 Standorte für untertägige Ablagerung von Abfällen

Für das Jahr 1998 wird von 22 Bergwerken ausgegangen, die bergbaufremde Abfälle für Verfüll- und Versatzzwecke einsetzen. Neben den oben angeführten in Betrieb befindlichen Untertagedeponien (Heilbronn, Zielitz und Herfa-Neurode) wurde im Jahr 1997 die UTD Niederrhein (Bergwerk **Borth** in Nordrhein-Westfalen) als weitere untertägige Abfallentsorgungsanlagen planfestgestellt und werden konkrete Planungen für eine Untertagedeponie in salinarem Wirtsgestein in Niedersachsen (Bergwerk **Riedel**) verfolgt.

Abb. 3.7 zeigt die Standorte der Untertagedeponien in Deutschland. Neben den in Betrieb befindlichen und geplanten Untertagedeponien für „nicht radioaktive Abfälle“ (UTD) zeigt die Karte Standorte von in Betrieb befindlichen Entsorgungseinrichtungen für radioaktive Abfälle („repository“) sowie Standorte, an denen Forschungs- und Entwicklungs-Arbeiten realisiert werden (FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE, 1998).

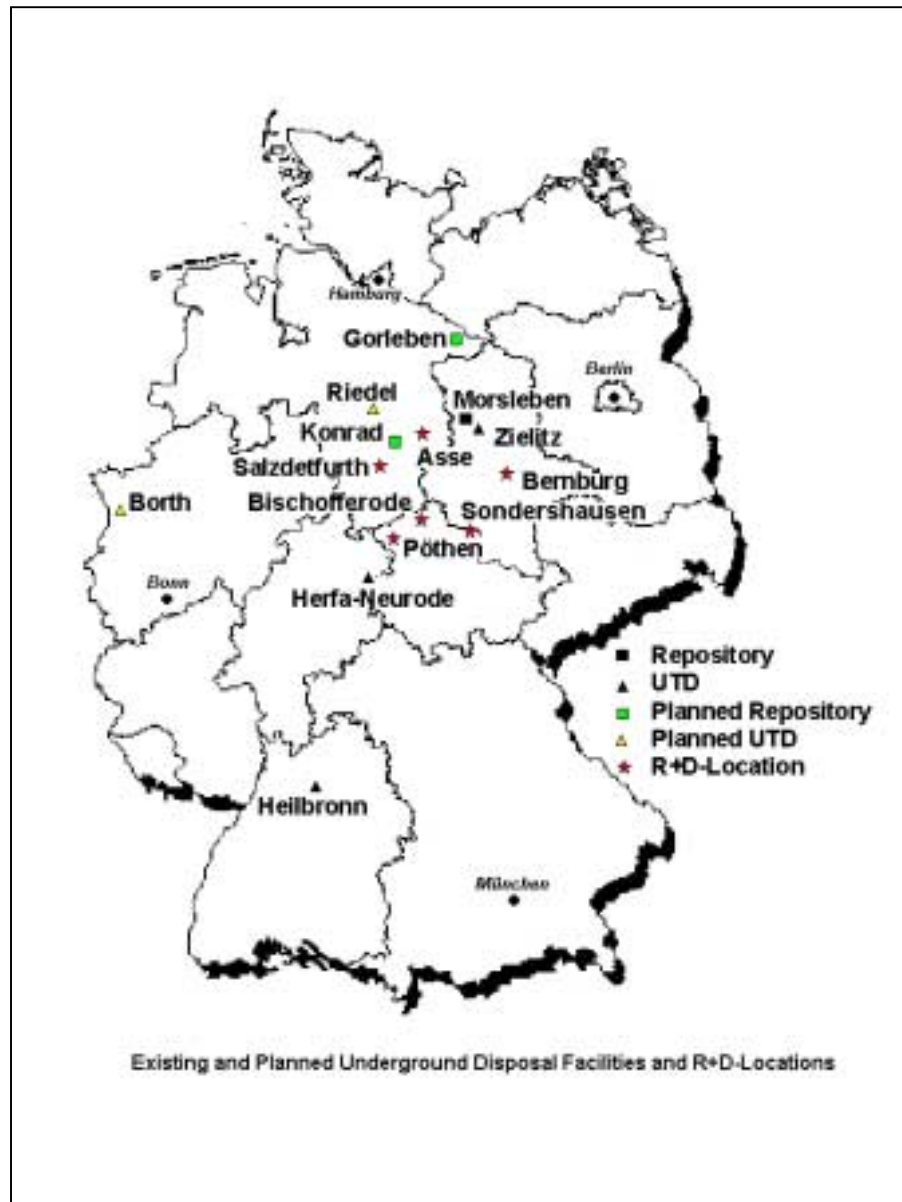


Abb. 3.7: Standorte der Untertagedeponien in Deutschland
(Quelle: FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE, 1998)

Im Rahmen der Recherchen wurde auf eine weitere UTD im **Elsass, Frankreich** verwiesen, wo jedoch keine Abfälle aus dem Ausland übernommen werden (GERGES, 2001)

3.1.3.3 Übernahmebedingungen der UTD

➤ Herfa-Neurode / Zielitz

Die Untertagedeponien **Herfa-Neurode** und **Zielitz** werden von der Firma KALI UND SALZ ENTSORGUNGS-GmbH, einer Tochter der K+S Aktiengesellschaft Salz AG betrieben. Neben diesen beiden Untertagedeponien werden vier weitere Standorte in Bernburg, Wintershall, Unterbreizbach und Hattdorf betrieben, welche als Untertage-Verwertungsanlagen eingestuft werden. Für alle Standorte übernimmt die **Kali und Salz Entsorgung GmbH** in Kassel die Koordination, das Marketing und den Vertrieb. Die Abfallanalytik wird im eigenen Kaliforschungs-Institut durchgeführt.

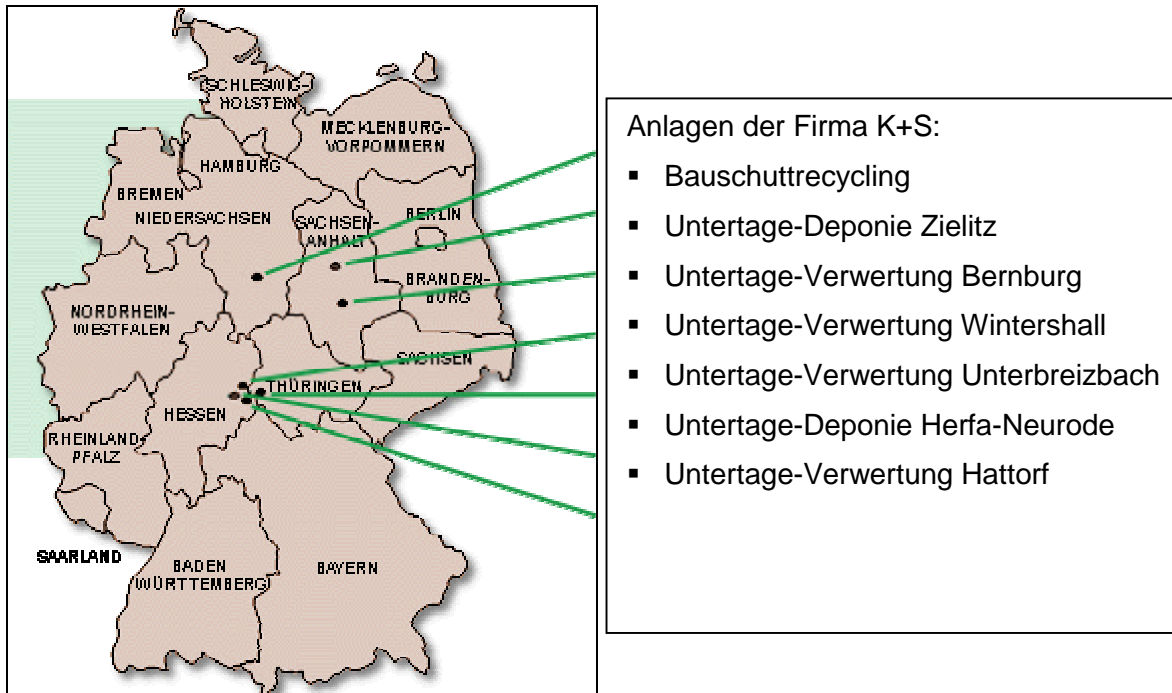


Abb. 3.8: Anlagen der Firma K + S (Quelle: K+S (2), 2001)

Die **UTD Herfa-Neurode** ist seit 25 Jahren in Betrieb. Sie befindet sich in einem abgebauten Grubenfeld des Kaliwerks Werra in Hessen, in einer 300 Meter mächtigen standfesten Salzformation in rund 800 Meter Tiefe. Im Anschluss an die UTD wird das Versatzbergwerk Hattdorf betrieben.

Im Wesentlichen können hier die im Anhang C der TA Abfall, Teil I aufgeführten Abfallarten, die als Entsorgungshinweis in der Spalte UTD mit der Präferenz 1 bzw. 2 versehen sind, eingelagert werden. In der UTD werden diese zu rd. 20 Stoffgruppen zusammengefasst (beispielhaft, relevante Gruppen fett):

- Hochhalogenierte Kohlenwasserstoffe
- **Quecksilber** - Reste aus Recyclingverfahren von Batterien, Organische Hg-verbindungen aus der Aufbereitung von Erdgas, Rückstände aus der Chlorelektrolyse
- Trockenstoffe wie Leuchtstoffröhrenbruch, PCB-haltige Feststoffe,...
- Laborchemikalien
- Rückstände aus der Rauchgasreinigung
- **Kondensatoren** – PCB-haltige Leistungskondensatoren aus Elektroanlagen
- Transformatoren – Transformatoren, die als Kühl- und Isoliermittel Chlophen (PCB) enthalten haben

1995 wurde die **UTD Zielitz** als zweite Untertage-Deponie der K+S Unternehmensgruppe in Betrieb genommen. Die Einlagerungskammern befinden sich hier in ca. 400 Meter Tiefe. Auch hier kann ein großer Bereich an Abfallarten abgelagert werden z.B.

- *Metallhaltige Abfälle*
- *Verunreinigte Böden*
- *Arsenhaltige Abfälle*
- *Chemierückstände*
- **Quecksilberhaltige Abfälle**

Beide Anlagen der Firma K+S sind DIN EN ISO 9002 zertifiziert und als Entsorgungsfachbetrieb anerkannt.

Das Endlagergut wird nach Stoffgruppen getrennt verwahrt. Die Abfälle werden vor der Übernahme beprobt und Muster der eingelagerten Abfälle in einem Archiv verwahrt. Die Proben werden mit dem Ort der Endlagerstätte gekennzeichnet und sowohl Herkunft der Abfälle, Ankunftsdatum, der vom Anlieferer deklarierte Inhalt und der hauseigene Laborbericht werden über ein Codesystem erfasst (K+S 2001, BRENDEL 2000).

Abfälle werden generell in Big Bags, Fässern und Metallcontainern übernommen. Die Verpackung und Kennzeichnung der Abfälle muss vom Anlieferer vorgenommen werden. In Herfa-Neurode können auch staubförmige pneumatisch förderbare Abfälle übernommen werden, wo sie in einer obertägigen Anlage in Silos entleert in BigBags abgefüllt werden.

Als **Mindestmenge** für die Übernahme von Abfällen gilt **1 Tonne**. Kali und Salz übernimmt keine Sammleraktivitäten sondern agiert nur als Übernehmer der Abfälle bei der Anlage. Die Anlieferung erfolgt über Abfallsammler.

Der Übernahmepreis (frei Haus) liegt bei **€ 240,- pro t (rd. ATS 3.300,-/t)**. Auch wenn geringere Mengen angeliefert werden, wird der Preis für die Mindestmenge verrechnet.

➤ **Heilbronn**

Die Untertagedeponie **Heilbronn** gehört zu SÜDWESTDEUTSCHE SALZWERKE AG, welche seit über hundert Jahren die Salzgewinnung an den beiden Bergwerksstandorten Heilbronn und Bad Friedrichshall-Kochendorf betrieben hat und seit 1994 nur noch in der Grube Heilbronn betreibt. Die durch bergbauliche Tätigkeiten entstanden Hohlräume werden heute als Versatzbergwerke und als Untertagedeponie genutzt. Für die Vermarktung und kaufmännische Abwicklung dieses Geschäftszweiges wurde im Jahr 1992 Tochtergesellschaft **UEV - Umwelt, Entsorgung und Verwertung GmbH** gegründet.

Abfälle werden sowohl auf der Grundlage bergrechtlicher Betriebsplanzulassungen in der Grube Bad Friedrichshall-Kochendorf als Versatzmaterial verwertet, als auch auf der Grundlage abfallrechtlicher Genehmigungen in der Untertagedeponie Heilbronn beseitigt (vgl. Abb. 3.7 Anlagenskizze). Abfälle, die aus technischen oder rechtlichen Gründen nicht als Versatzmaterial verwertbar sind, werden in der Untertagedeponie beseitigt.



Abb. 3.9: UTD Heilbronn (Quelle: UEV, 2001)

Die Genehmigung zur Ablagerung von Abfällen in der Untertagedeponie Heilbronn umfasst ca. 250 Abfallschlüsselnummern nach dem Europäischen Abfallkatalog, worunter auch die als besonders überwachungsbedürftig eingestuft Abfallarten (vgl. D-BGBl. 47/1996) Transformatoren und **Kondensatoren, die PCB** oder PCT enthalten (Abfallschlüsselnummer 16 02 01) und Leuchtstoffröhren u.a. **quecksilberhaltige Abfälle** (Abfallschlüsselnummer 20 01 21) enthalten sind (UEV, 2001).

Als Gebinde kommen Big Bags, Stahl- oder Kunststoff-Fässer bzw. Stahl- oder Kunststoff-Container in Betracht. Vor der Ablagerung ein Abfalls werden Informationen zur Abfallentstehung, Analysen und Stoffproben angefordert. Es erfolgt eine routinemäßige Eingangskontrollen bei der Übernahme von Abfällen (UEV, 2001).

Für die Anlieferung von Abfällen aus **Österreich** besteht ein **Exklusivvertrag** mit der Firma ASA, Himberg. Angaben der Firma ASA zur Übernahme und Weiterleitung der jeweiligen Abfallarten sind bei den entsprechenden Behandlungsarten für diese Abfallarten zusammengefasst.

3.2 Verfahren zur Behandlung von Kondensatoren

Wie unter Pkt. 2.3.1 zur Sammlung und Weiterleitung erwähnt, werden Kondensatoren aus Elektroaltgeräten fast ausschließlich als Mischfraktion aus PCB-haltigen Kondensatoren und anderen Kondensatoren wie Elektrolytkondensatoren erfasst. Bei den hier dargestellten Behandlungsverfahren handelt es sich einerseits um eine

- **Vorbehandlung zur Trennung von Kondensatormischfraktionen** für eine nachfolgende spezifische Behandlung der unterschiedlichen Kondensatorarten – Pkt. 3.2.1 bzw. Ansätze zur visuellen Unterscheidung Pkt. 3.2.2

und um

- **Behandlungsverfahren für Kondensatorarten und Kondensatormischfraktionen** Pkt. 3.2.2 bis 3.2.7.

3.2.1 Trennung von Kondensatormischfraktionen

Die Firma Enretec Polychemie in Velten im Nordwesten von Berlin hat ein Anlage zur **magneto-hydrostatischen Separation** von Mischfraktionen entwickelt, mit welcher Mischungen von **Kleinkondensatoren** auf Grund des Dichteunterschiedes der unterschiedlichen Kondensatortypen getrennt werden können.

Enretec Polychemie Entsorgungs- und Recycling-Technik GmbH Kanalstraße 17 D-16727 Velten Tel.: 0049/3304/3919-0 www.enretec.de
--

Hintergrund für die Entwicklung dieses Verfahrens war das Ziel, Kondensatormischfraktionen in Fraktionen mit PCB-haltigen Kondensatoren und eine Fraktion mit gesichert PCB-freien Kondensatoren zu trennen, um so eine wesentlich geringere Menge an PCB-haltigen Kondensatoren einer Entsorgung als gefährlichen Abfall zuführen zu müssen. Die PCB-freien Kondensatoren - hauptsächlich Elektrolytkondensatoren mit einem hohen Anteil an Aluminium - können danach einer entsprechenden Vorbehandlung (z.B. Shredderung, Abtrennung der Elektrolyte) für die Verwertung in der Sekundäraluminiumhütte zugeführt werden.

Die Firma Enretec arbeitet hauptsächlich im Bereich des Kunststoffrecyclings. Für die Auftrennung der Kondensatoren wurden Patente angekauft, die **Trennflüssigkeiten** für diese Anlage und das **Anlagenkonzept** entwickelt. Der Bau der Anlage wurde bei einer anerkannten Firma in Auftrag gegeben.

Am Standort der Firma Enretec wurde eine Pilotanlage in Betrieb genommen. In den letzten Jahren wurden mehrere Tonnen an Inputmaterial versuchsweise aufgearbeitet und der Trennerfolg dieses Verfahrens dargestellt. Das Verfahren und die Zielerreichung wurde vom Umweltbundesamt Brandenburg anerkannt.

Die Firma Enretec agiert nicht als Demontagebetrieb für Elektroaltgeräte oder als Sammler für Kondensatoren, sondern man ist an der gezielten Aufarbeitung von vorgesammelten Kondensatoren (Kondensatoren aus der Sammlung, Lagerrestbestände o.ä.) interessiert. Weiters besteht auch das Interesse, das Know-How für diese Anlage bzw. das Anlagenkonzept weiterzugeben und die erforderlichen Trennflüssigkeiten zu liefern.

➤ **Verfahren**

Das Verfahren zur Trennung der Kondensatormischungen basiert auf **Dichteunterschieden** von PCB-haltigen und PCB-freien Kondensatoren, welche u.a. durch umfangreiche Versuche an der TU Berlin bestimmt wurden (siehe Pkt. 2.1.1.1 – Unterscheidungsmerkmale Kondensatoren, BARGHOORN, 1988). Das Verfahren der **Magneto-Hydrostatischen Separation** wurde als dafür geeignet angesehen und es wurde bereits 1995 eine Versuchsapparatur für diesen Anwendungsfall von der Ikosta GmbH i.L., der Dr. Böhme Recycling GmbH und der Lepkojus Innovations-Gesellschaft vorgestellt (GÜNTHER, GIESEL, 1996). Abb. 3.10 zeigt das Verfahrensprinzip. Die Patente für dieses Verfahren wurden von der Firma Enretec angekauft, welche schon damals als möglicher Hersteller des Trennmediums und potentieller Anlagenbetreiber genannt wurde.

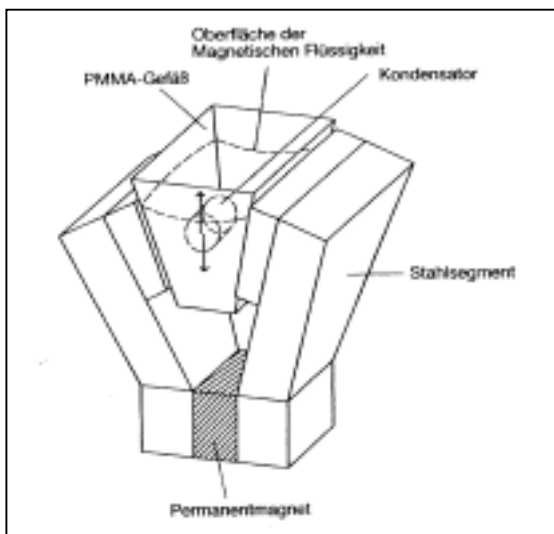


Abb. 3.10: Verfahrensprinzip Magneto-Hydrostatische Separation (Quelle: GÜNTHER, GIESEL, 1996)

Für die Trennung der Kondensatormischungen werden magnetische Trennflüssigkeiten (sogenannte Magnetofluide) aus Eisenoxiden und Tensiden⁵ eingesetzt. Durch das veränderliche, extern angelegte Magnetfeld können Magnetfeld- und Druckänderungen hervorgerufen werden. Die Druckänderung hat einen zusätzlichen Auftriebseffekt nicht-magnetischer Körper in der magnetischen Flüssigkeit zur Folge, wenn das angelegte Magnetfeld in vertikaler Richtung nach oben

abnimmt. Durch die Regelung der Spannung kann die „Dichte“ des Trennmediums variiert und auf Dichtewerte in sehr genauen Bereichen eingestellt werden (z.B. $1,525 \text{ g/cm}^3$).

Die Dichte des Trennmediums wird dahingehend eingestellt, dass **gesichert PCB-freie Kondensatoren** als „Schwimmfraktion“ erzielt werden. Die spezifisch schwereren PCB-haltigen Kondensatoren sinken im Trennmedium ab und werden als „Sinkfraktion“ getrennt erfasst.

Die Anlage besteht aus

- einem Beschickungsförderband (es ist vorgesehen, dass hier eine Sichtkontrolle des Inputmaterials erfolgt),
- einem im Querschnitt dreieckigen Trennbecken mit dem stationären Trennmedium, extern angeordneten Magneten, Paddelförderer für die Schwimmfraktion und Stegförderer für die Sinkfraktion,
- 2 Austragbändern für die Outputfraktionen und
- einem Wäscher für die Kondensatoren

Die Schwimmfraktion der PCB-freien Kondensatoren wird nach der Separation gewaschen und kann so einer Vorbehandlung für das Aluminiumrecycling zugeführt werden. Die PCB-haltigen Abfälle werden entsprechend entsorgt.

⁵ Anmerkung: Die Tenside verhindern das Absetzen der Oxide

Ein verfahrenstechnischer Vorteil liegt nach Angaben der Firma Enretec darin, dass ein Trennmedium auf Wasserbasis verwendet wird, welches eine einfache Reinigung der Outputfraktionen ermöglicht. Das Trennmedium wird in einer Destillationsanlage aufkonzentriert und anschließend im Kreislauf geführt.

Die Anlage ist für einen Durchsatz von 500 kg / h ausgelegt und wurde bewusst einfach, klein und kompakt konzipiert. Sie kann auch als mobile Anlage eingesetzt werden. Das Know-How besteht vor allem in der Zusammensetzung der Trennflüssigkeit und der Dimensionierung der Magnete. Die gegebene Beckendimensionierung hat sich als günstig erwiesen. Im Betrieb ist lediglich die Dichte der Trennflüssigkeit auf die gewünschten Trennergebnisse voreinzustellen und über die angelegte Spannung entsprechend zu regeln.

➤ **Erzielte Ergebnisse**

Die Analyse der erzielten Fraktionen aus den versuchsweisen Aufarbeitungen von verschiedensten Mischfraktionen zeigten, dass alle Kondensatortypen durch dieses Verfahren trennbar sind (ENRETEC, 2001).

Versuche haben gezeigt, dass eine sehr gute Trennschärfe erzielt werden kann und dass gesichert PCB-freie Fraktionen erzielt werden können. Auch in der „PCB-haltigen Fraktion“ waren sehr geringe Anteile an PCB-freien Kondensatoren enthalten. Kleine Schrauben und kleine Aufbauten an Kondensatoren beeinträchtigen die Trennung nicht, größere Aufbauten wie Befestigungselemente, Leiterplatten etc. müssen jedoch abgetrennt werden (Sichtkontrolle am Beschickungsband und/oder genaue Abstimmung der Qualitätskriterien mit den Anlieferern erforderlich).

Die Ausbeuteergebnisse aus der Separation verschiedenster Inputmaterialien an Kondensatoren aus verschiedenen Bereichen (v.a. Kondensatoren aus der Demontage von Elektroaltgeräten aller Gerätekategorien und z.T. Produktionsrück- bzw. Lagerrestbestände) zeigten, dass **rund 5 %** des Inputs der Fraktion der **PCB-haltigen Kondensatoren** zuzuordnen waren. Nur dieser Anteil war als gefährlicher Abfall zu entsorgen (Untertagedeponie oder thermische Entsorgung als gefährlicher Abfall).

Für die Fraktion der **PCB-freien Kondensatoren** wurden Aufarbeitungs- bzw. Verwertungsmöglichkeiten gesucht. Entscheidend ist hier der Aluminiumgehalt der Kondensatoren, der einen Einsatz in Sekundäraluminiumhütten als zielführend erscheinen lässt. Gemeinsam mit ausgewählten Sekundäraluminiumhütten wurde die erforderliche Aufarbeitung dieser Fraktion der PCB-freien Kondensatoren erprobt. Die Qualitätskriterien der Sekundäraluminiumhütte an das Input-Material bedingen, dass Kondensatoren einer spezielle Vorbehandlung unterzogen werden müssen, welche eine Zerkleinerung (Shredderung), die Abtrennung von Störstoffen wie Fremdmetalle und Isolationsmaterialien und die Abtrennung der Elektrolyte umfasst.

Nach Angaben der Firma Enretec konnten Sekundäraluminiumhütten gefunden werden, die diese Vorbehandlungsstufen beherrschen bzw. über geeignete Partnerbetriebe für diese Vorbehandlung verfügen und es wurde die kostenlose Übernahme dieser Fraktion in Aussicht gestellt (Stand 2000). Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die kostenlose Übernahme von den potentiellen Erlösen aus dem Aluminiumanteil abhängig ist, welche die Kosten für die Vorbehandlung abdecken müssen. Demnach sind diese Übernahmebedingungen vom jeweiligen Aluminium-Preis abhängig (ENRETEC, 2001).

➤ **Behandlungskosten**

Die Behandlungskosten werden mit **DM 500 bis DM 800,- / t** Inputmaterial angegeben und beziehen sich auf

- eine kalkulierte Durchsatzmengen von **rd. 500 t / Jahr**
- die gegebenen Ausbeuteergebnisse
- die gegebenen Übernahmekosten für die PCB-haltigen Kondensatoren und die kostenlose Weiterleitung der PCB-freien Kondensatoren

Die **Investitionskosten** für die Anlage werden mit rd. **DM 100.000 bis 150.000,-** abgeschätzt.

➤ **Einsatzbereiche**

Durch dieses Verfahren können Mischfraktionen von Kondensatoren gesichert in eine Fraktion mit PCB-freien Kondensatoren und in eine Fraktion mit PCB-haltigen Kondensatoren aufgetrennt werden.

Es bestand auch das Konzept, die Anlage als mobile Anlagen im Bereich der Untertagedeponien einzusetzen und hier die zwischengelagerten Mischfraktionen an Kondensatoren aufzutrennen. Derzeit fehlen dazu jedoch die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen (die Ablagerungskosten sind derzeit zu gering).

Das Verfahren ist auch für die Separation von **Metall-Mischfraktionen** wie z.B. der Auftrennung von NE-Mischfraktionen aus der Aufarbeitung von Elektroaltgeräten oder Kabeln, der Abtrennung von Schwermetallen wie z.B. Blei oder der Abtrennung von Edelmetallen aus (Cu-)Mischfraktionen geeignet. Hier wird von der Firma Enretec derzeit der potentielle Einsatzbereich der Anlage mit höherer Wertschöpfung gesehen.

➤ **Probleme und offene Fragen**

Als problematisch erweisen sich außenliegende ferromagnetische Bestandteile wie Gehäusematerialien, Befestigungsschrauben, -muttern und -halterungen. Diese können zu einem Zusetzen des im Magnetfeld befindlichen Trennspaltes führen. Innere Kondensatorbestandteile aus Eisen oder Nickel stören dagegen wenig.

Weiters muss die Aufgabe von beschädigten PCB-haltigen Kondensatoren als äußerst problematisch angesehen werden, da PCB austreten und sich aufgrund der chemischen Zusammensetzung des Trennmediums in diesem verhältnismäßig gut lösen (GÜNTHER, GIESEL, 1996). Nach Angaben der Firma Enretec gewährleistet ein speziell entwickeltes Qualitätssicherungssystem den Zustand der magnetischen Flüssigkeit hinsichtlich der PCB-Belastung bzw. der chemischen und physikalischen Eigenschaften.

➤ **Wirtschaftliche Aspekte / Prognosen**

Derzeit wird die Anlage zur Trennung der Kondensatormischfraktionen nicht betrieben. Wesentlicher Hinderungsgrund sind die sehr niedrigen Übernahmepreise der Untertagedeponien in Deutschland, welche sich nach Angaben eines Vertreters der Firma Enretec in den letzten 3-4 Jahren auf ein Viertel bis Fünftel des vorherigen Wertes reduziert haben.

Chancen für den Einsatz dieser Technologie werden erst dann gesehen, wenn rechtliche Vorgaben die verstärkte Wertstoffrückgewinnung vorgeben oder die Kosten für die Ablagerung der Mischfraktionen an Kondensatoren wieder steigen bzw. die potentiellen Erlöse aus der Rückgewinnung von Aluminium steigen.

Das Verfahrensprinzip ist jedoch geprüft und anerkannt und kann jederzeit umgesetzt werden.

3.2.2 Abtrennung der Elektrolyte und mechanische Aufarbeitung

Die Firma SMK ist ein österreichweit bekanntes Unternehmen, das im Bereich der mechanischen Auftrennung von Kabeln und Nichteisenmetallverbunden tätig ist.

Salzburger Metall- & Kabelverwertungs-GesmbH
 Wahastraße 3
 A-5111 Bürmoos
 Tel.: +43/6274/7598
 Fax: +43/6274/7567

Seit mehreren Jahren beschäftigt man sich auch mit der Demontage von Elektroaltgeräten und der spezifischen mechanischen Aufarbeitung von Fraktionen aus der Demontage und von Elektrokleingeräten.

➤ Verfahren

Basierend auf dem breit gefächerten und tiefgehenden Know-How zur mechanischen Aufarbeitung von Nichteisenmetallverbunden (vgl. SALHOFER et al., 2000) wurde ein Konzept zur **mechanischen Aufarbeitung** von Kondensatoren entwickelt, welches auf der Abtrennung der Dielektrikums- bzw. Elektrolytflüssigkeiten aus den Kondensatoren und der anschließenden mechanischen Separation von Aluminium von Reststoffen wie Kunststoffen, Gummi und Isolationsfolien basiert (NAGL, 2001).

Als Anlagenkomponenten wären hierfür erforderlich:

- ein kleiner Langsamläufer (Rotorschere, Einwellenzerkleinerer o.ä.) als **Vorzerkleinerungseinheit** - mit der die Kondensatoren durch schneidende Beanspruchung zerkleinert werden und
- eine Hochdruck-**Pelletierpresse** - mit der die enthaltenen Flüssigkeiten mit einem Druck von 300 bis 1000 kg/cm² ausgepresst werden.

Die abgetrennten Flüssigkeiten müssten einer entsprechenden Entsorgung zugeführt werden. Die verbleibenden Pellets könnten in der bestehenden Anlage feinmechanisch aufgetrennt und das Aluminium abgetrennt werden.

Inwieweit eine vorherige Unterscheidung von potentiell PCB-haltigen Kondensatoren und anderen Kondensatoren vor dieser Behandlung durchgeführt werden sollte⁶ bzw. könnte⁷, müsste durch Versuchsaufarbeitungen dahingehend erhoben werden, ob die Reststoffe aus der Aufarbeitung der als „PCB-frei“ eingestuft Kondensatoren PCB oder andere Schadstoffe enthalten, die eine Entsorgung als gefährlicher Abfall erforderlich machen würden. Wenn dies der Fall wäre, wäre eine vorherige Unterscheidung der Kondensatoren hinfällig.

Eine mechanische Aufarbeitung der Elektrolytkondensatoren **ohne** vorheriges **Abpressen der Elektrolyte** sei nicht möglich, da es bei der mechanischen Aufarbeitung durch die enthaltenen Phosphorsäure zu einer sehr hohen Brandgefahr kommt (eine Tatsache, die durch negative Erfahrungen von Mitbewerbern belegt sei).

Bei den angeführten Anlagenkomponenten handelt es sich um Standardanlagenkomponenten, die am Markt erhältlich sind.

⁶ vgl. Pkt. 2.1.1.2 - Elektrolytkondensatoren – die genaue Zusammensetzung der Elektrolyte ist derzeit nicht bekannt

⁷ Nach Angaben des Geschäftsführers der Firma SMK ist eine Unterscheidung der Kondensatoren aufgrund der Herkunft bzw. des Aussehens, des Spannungsbereiches und der Kapazität der Kondensatoren möglich. Eine Unterscheidung nach der Dichte wird als weniger geeignet eingestuft, da Aufbauten auf Kondensatoren diese Trennung negativ beeinflussen würden und auch PCB-frei Kondensatoren durch Harz-Eingussmaterialien o.ä. ein hohes spezifisches Gewicht aufweisen können und damit eine Zuordnung von PCB-freien Kondensatoren zur Fraktion PCB-haltig erfolgen würde.

➤ **Investitions- und Übernahmekosten**

Die **Investitionskosten** für die erforderlichen Anlagenkomponenten werden mit rd. **1 Mio. ATS** abgeschätzt.

Unter Berücksichtigung der Anlagen-, Energie- und sonstigen Aufarbeitungskosten und einer **Mindestmenge** der Aufarbeitung von **20 t pro Monat** würden sich die Übernahmekosten für Kondensatoren belaufen auf:

- rd. **ATS 20,- pro kg** bei einer Entsorgung aller Reststoffe als gefährlicher Abfall
- rd. **ATS 10,- pro kg** bei einer Entsorgung der Reststoffe als nicht gefährliche Abfälle

➤ **Abfallwirtschaftliche Aspekte**

Es wird angemerkt, dass es bei einer mechanischen Aufarbeitung von **Leiterplatten** mit einem **großen Anteil an Kondensatoren** zur einer Verteilung der Inhaltstoffe der Kondensatoren über die Reststoffe der mechanischen Aufarbeitung kommt.

Die enthaltenen Aluminium-Fractionen gehen bei einer Anlagenkonzeption wie bei der Firma SMK (mit integrierter Verkugelungsstufe) zu einem nicht unerheblichen Anteil über die Kupfer-Fraktion verloren⁸⁾.

Bei alternativen Verfahren zur mechanischen Aufarbeitung und Separation gehen insbesondere die Aluminiumfolien aus Kondensatoren aufgrund des sehr niedrigen spezifischen Gewichtes und der blättrigen Struktur in die Reststofffraktion über und werden mit dieser weitergeleitet, entsprechend behandelt und gehen sowohl bei der thermischen Behandlung als auch bei der Deponierung verloren.

Mit dem hier skizzierten Verfahren könnten der Anteil, der als **gefährlicher Abfall** zu entsorgenden Fraktionen, stark auf

- die als PCB-haltig selektierten Kondensatoren (vgl. Pkt. 3.2.1 – Separationsergebnisse Firma Enretec: rd. 5 % PCB-haltige Kondensatoren im Input-Material)

und / oder

- den Anteil an Elektrolyt- bzw. Dielektrikumsflüssigkeiten (< 30 %) bzw. Elektrolyten plus Reststoffe von max. 50 %

reduziert werden (vgl. Zusammensetzung Elektrolytkondensatoren Pkt. 3.2.4).

Ein **Anteil von rd. 50 % Aluminium** aus den Kondensatoren (vgl. 3.2.4 Zusammensetzung Elektrolytkondensatoren; Schätzungen NAGL, 2001) könnte separiert und in den Sekundär-aluminiumkreislauf rückgeführt werden.

⁸⁾ Als Beispiel wird hier die Aufarbeitung einer Leiterplatten-Mischfraktion mit einem Anteil von rd. 20 % Aluminium genannt. Nach Erfahrungswerten kann rd. 12 % Aluminium separiert werden, 7 bis 8 % und hier vor allem sehr feine Teile aus Bauteilen und Kleinkondensatoren werden mit der Kupferfraktion erfasst. Aluminium wird in der Kupferhütte oxidiert und kann nicht rückgewonnen werden.

➤ **Wirtschaftliche Aspekte / Prognosen**

Um die angeführten Durchsatzmengen von 20 t pro Monat erreichen zu können, wären jedenfalls auch andere ähnliche Abfälle wie z.B. Produktionsabfälle von Kondensatoren mit aufzuarbeiten – vgl. Pkt. 2.2.1 - potentiell mögliches Aufkommen an Kondensatoren aus EAG in Österreich (!) rd. 10 t pro Monat. Diese würden jedoch derzeit als Kondensatoren „PCB-frei“ oder über die Fraktion Werkstättenabfälle (vgl. Übernahmepreise Fernwärme Wien von ATS 9,80 bzw. ATS 6,98 pro kg – FERNWÄRME WIEN, 2001) thermisch entsorgt.

Wie Projektansätze aus der Vergangenheit zeigen, sind potentielle Interessenten nur dazu bereit, unwesentlich mehr als alternative Entsorgungskosten zu bezahlen. Diesem Projektansatz wird nur dann eine Chance gegeben, wenn durch entsprechende Vorgaben der stofflichen Verwertung der Vorzug gegeben wird.

➤ **Option kryotechnische Aufarbeitung**

Als weitere Option wäre eine **kryotechnische Aufarbeitung** (Zerkleinerung und Separation in Stickstoff-gekühlten Anlagenteilen) von flüssigkeitsbehafteten Abfällen prinzipiell denkbar. Um eine solche Anlage entsprechend auszulasten und Übernahmekosten in ähnlicher Höhe wie oben genannt zu ermöglichen, wäre eine **Mindestmenge** von **200 bis 300 t pro Monat** erforderlich. Solche Mengen an Input-Materialien könnten nur dann erzielt werden, wenn ölhaltige Gebinde, Ölfiler u.ä. mitaufgearbeitet werden würden. Diese Abfallarten würden jedoch derzeit in anderen Anlagen mit einfachen Zerkleinerungseinheiten vorzerkleinert und anschließend für eine Deponierung konditioniert oder ggf. als Werkstättenabfälle unter Verlust der Metalle thermisch entsorgt.

3.2.3 Vakuumthermische Behandlung von Kondensatoren

Von der Firma ALD (vgl. Pkt. 3.1.1.2, Seite 28) wurde eine Anlage zum vakuumthermischen Recycling entwickelt, die für die Behandlung von PCB-haltigen Geräten und Bauteilen ausgelegt wurde (siehe auch VTR-Verfahren Pkt. 3.1.1). Angestrebter Hauptanwendungsbereich ist die Behandlung von **Transformatoren**. Durch dieses Verfahren können vorentleerte Transformatoren so weit von PCB befreit werden, dass eine Untertagedeponierung nicht erforderlich ist. Wesentlich ist auch, dass durch dieses Verfahren sowohl Metallteile als auch Kunststoffe, Holz und Papier von PCB befreit werden können, ohne dass eine thermische Behandlung im Hochtemperaturbereich erfolgen muss.

Die Behandlung von PCB-haltigen **Kondensatoren** wird als weiteres wesentliches Anwendungsgebiet für diese Anlage gesehen.

➤ Verfahren

Dem Prinzip nach handelt es sich um eine Anlage, in der schadstoffhaltige Komponenten von Abfälle unter vermindertem Druck abgetrennt werden können. Durch die Absenkung des Umgebungsdruckes wird der Siedepunkt der enthaltenen Elemente und Verbindungen herabgesetzt.

Abb. 3.2, Seite 27 zeigt das Operationsprinzip bei der Abscheidung von PCB und die Dampfdruckkurven für PCB und Wasser.

Kleinkondensatoren aus dem Bereich der Elektroaltgeräte können ohne Vorbehandlung in die Anlage eingebracht werden. Vorhandene Dichtungsmassen werden während des Aufheizprozesses pyrolysiert und die enthaltenen PCB-haltigen Verbindungen werden entsprechend der Dampfdruckkurve ausgetrieben. Die PCB-Verbindungen werden anschließend in einem Kondensator abgeschieden und aufgefangen. Der hier verwendete speziell gestaltete Dampfkondensator stellt nach Angaben der Firma ALD sicher, dass 100 % des PCB innerhalb des Systems kondensiert wird. Neben Dichtungsmassen werden Papier- und Kunststoffisolationsfolien von Kondensatoren ebenfalls pyrolysiert und bleiben als feiner Pyrolysekoks bzw. -kohlenstoffstaub an den verbleibenden Metallen haften.

Vor einem Einsatz des enthaltenen Aluminiums in der Sekundäraluminiumhütte muss eine mechanische Aufarbeitung der festen Fraktionen aus dem VTR-Verfahren folgen, im Rahmen welcher der feine Koks durch Sichtungsschritte abgeschieden wird.

Eine derartige **Anlage** für die Reinigung von PCB-haltigen Abfällen wurde von ALD über ein Joint Venture Unternehmen in **Japan** installiert und dient hier u.a. für die Behandlung von potentiell PCB-haltigen Kleinkondensatoren aus dem Bereich der Beleuchtungstechnik / Leucht balken. Das Verfahren ist sowohl vom Japanischen Gesundheitsministerium als auch vom MITI anerkannt worden.

➤ Ergebnisse

Nach Angaben von ALD haben detaillierte Untersuchungen bestätigt, dass während der Behandlung keine Dioxine gebildet werden und dass durch die VTR-Technologie Metallteile bis zu einem PCB-Gehalt von < 0,01 mg/kg abgereinigt werden können.

Im Routinebetrieb werden Transformatoren und Kondensatoren auf **PCB-Gehalte < 1 ppm** gereinigt. Die erzielten Metalle können so einer Verwertung im Stahlwerk (Transformatoren) bzw. in der Sekundäraluminiumhütte zugeführt werden. Die kondensierten schadstoffhaltigen Öle werden nach dem Stand der Technik entsorgt.

➤ Übernahmekosten

In Europa ist derzeit keine derartige Anlage installiert. Die potentiellen Übernahmekosten für Kleinkondensatoren werden von ALD mit rd. **DM 3.000 bis DM 4.000 pro Tonne** abgeschätzt.

3.2.4 Pyrolyse

Am Institut für Siedlungswasserbau und Abfallwirtschaft in Stuttgart wurden grundlegende Untersuchungen zur Wertstoff-Rückgewinnung aus Aluminium-Elektrolytkondensatoren mittels Pyrolyse durchgeführt (KIM, THOMANETZ, 1995). Die Zusammensetzung der Elektrolytkondensatoren zweier Typen unterschiedlicher Hersteller wurde wie folgt bestimmt:

- 49,4 % Aluminium (Gehäuse + Folien)
- 29,7 % Papier getränkt mit Elektrolyt
- 13,1 % Bitumen-Vergußmasse
- 4,5 % Verschlusskappe
- 2,9 % PVC-Mantelfolie
- 0,5 % Gummidichtung

Die Ergebnisse aus der versuchsweisen Behandlung der Elektrolytkondensatoren mittels einer Labor-Pyrolyseapparatur zeigten, dass

- das enthaltene Aluminium (ca. 50 % des Input) ohne Verluste in metallischer blanker Form vorlag und
- daran anhaftenden Pyrolysekoks (rd. 11 %) ließ sich durch Abklopfen leicht entfernen.
- Wässriges Kondensat (rd. 17 % wässriges Destillat und rd. 17,5 % Kondensat organisch) fiel mit rd. 35 % und heizwertreiches Pyrolysegas mit rd. 5 % an.

Es wurde jedoch auf das Problem hingewiesen, dass als Hüllmaterial um den Aluminiumbecher des Elektrolytkondensators oft **PVC** verwendet wird und dass aus PVC während der Pyrolyse korrosiver Chlorwasserstoff und ggf. unerwünschte chlorierte organische Verbindungen gebildet werden, welche sich in den Pyrolysefolgeprodukten wiederfinden. Zur Frage, ob und inwieweit sich solche PVC-Pyrolyseprodukte durch Zugabe von Calciumchlorid einbinden oder eliminieren lassen, wären weiterführende Untersuchungen erforderlich.

Es wird hier zusammenfassend bewertet, dass die Pyrolyse grundsätzlich eine interessante Möglichkeit zur Behandlung von Elektrolytkondensatoren unter Rückgewinnung des Wertstoffs Aluminium sei. Durch die Reduktion des Abfallaufkommens auf rd. 11 % Pyrolysekoks, welcher ggf. sogar als Schwarzpigment verwertet werden könnte, könnten Entsorgungskosten eingespart werden. Das wässrige Kondensat und das Pyrolysegas müsste jedoch einer Verbrennung zugeführt werden. Voraussetzung hierfür wäre allerdings die o.e. Elimination von Chlorverbindungen.

Zur möglichen Pyrolysereaktoren im technischen Maßstab wird angeführt, dass sie entweder chargenweise oder kontinuierlich zu beschicken wären und die Beschleunigung so konzipiert werden müssten, dass die Reaktorbeschickung mit unzerkleinerten Al-Elektrolytkondensatoren erfolgen könnte.

Diesbezüglich wäre allerdings zu prüfen, ob die Elektrolytkondensatoren durch eine geeignete Maßnahme vor dem Eintrag in den Pyrolysereaktor mit einem Loch oder Schlitz versehen werden müssten, um einen temperaturbedingten Druckanstieg innerhalb des Elektrolytkondensators mit der Folge des Zerreißen des Elektrolytkondensators im Pyrolysereaktor zu verhindern (KIM, THOMANETZ, 1995).

Soweit bekannt, wurden diese Versuche nicht fortgesetzt und es wird derzeit **keine Anlage** für die gezielte Behandlung von Kondensatoren im technischen Maßstab betrieben. Anlagen, die im industriellen Maßstab die Pyrolyse von Buntmetall-haltigen Verbunden einsetzen wollten, wurden zum Teil wieder eingestellt bzw. nicht planumgesetzt (vgl. SALHOFER et al., 2000).

Im weit gefassten Sinne kann jedoch die nachfolgende Batterierecyclinganlage der Firma Batrec als Pyrolyseanlage angesehen werden.

3.2.5 Thermische Behandlung gemeinsam mit Batterien

Die Firma Batrec AG betreibt in Wimmis, Schweiz eine **Batterierecyclinganlage** mit einer Jahreskapazität von 3.000 t – siehe **Pkt. 3.1.2.1**, Seite **33**. Hier werden neben allen Batteriearten und Knopfzellen auch Kondensatoren und quecksilberhaltige Abfälle aus dem Bereich der Elektroaltgeräte übernommen und gemeinsam mit Batterien aufgearbeitet.

Kondensatoren werden bei diesem Verfahren bewusst als **Quelle für Aluminium** eingesetzt, welches zur Einstellung der Schlackequalität (Verflüssigung der Schlacke) erforderlich ist. Andernfalls müssten andere aluminiumhaltige Materialien gezielt zudosiert werden (BATREC, 2001). Die Schlacke wird deponiert.

Es ist **keine Vorbehandlung** der Kondensatoren erforderlich, da Kunststoff im Schachtofen bei 700 °C pyrolysiert werden und Metalle entweder im Schachtofen oder im Induktions-Schmelzofen gesichert geschmolzen werden.

Als **Übernahmepreise** für Kondensatoren werden mit **SFr 4,- bis SFr 6,- pro kg** angegeben. Sie können als Mischfraktion mit quecksilberhaltigen Abfällen übergeben werden – siehe Pkt. 3.3.3.2, Seite 72.

3.2.6 Thermische Entsorgung als gefährlicher Abfall

Für PCB-haltige Kondensatoren ist nach der ÖNORM S 2106 eine thermische Behandlung als gefährlicher Abfall erforderlich. Für Elektrolytkondensatoren steht die thermische Behandlung als Option neben einer Verwertung offen.

In Österreich steht für die thermische Behandlung von gefährlichen die Anlage der Fernwärme Wien am Standort Simmering (vormals EBS) zur Verfügung. Nach Angaben der Fernwärme Wien werden Kondensatoren nach folgenden Gruppen und Konditionen übernommen:

- **Kondensatoren groß:** diese Kondensatoren müssen in ein 200 l Fass passen und gilt demnach eine Größenbegrenzung von einer max. Höhe von 98 cm. Weiters sollte die Wandstärke im Regelfall 3 mm nicht überschreiten. Diese Kondensatoren werden über die Fassaufgabe in das Drehrohr eingebracht. Die Übernahmekosten betragen **ATS 25.800,- pro t** und es ist ein Fasszuschlag von ATS 375,- pro Fass hinzuzurechnen.
- **Kondensatoren klein:** Kondensatoren mit einer Kantenlänge < 20 cm (Anm.: anteilmäßig geringe Mengen können eine Kantenlänge von ca. 30 cm aufweisen) werden als Schüttgut übernommen.

Die Übernahmekosten für **Kleinkondensatoren** richten sich nach dem **PCB-Gehalt**. Dieser wird vom Kunden/Anlieferer deklariert. Als „nicht PCB-haltig“ deklarierte Anlieferungen von Kondensatoren werden stichprobenartig auf deren Inhaltstoffe analysiert. Folgende Übernahmepreise wurden genannt (siehe auch Pkt. 3.1.2.3 allgemeine Kosten):

- nicht PCB-haltige Kondensatoren → **ATS 9.800,- pro t**
- PCB-haltige Kondensatoren → **ATS 21.400,- pro t**

3.2.7 Untertagedeponierung

Die Untertagedeponien in Deutschland übernehmen Kleinkondensatoren aus dem Bereich der Elektroaltgeräte als Fassware (siehe dazu auch Pkt. 3.1.3 – Untertagedeponien).

Wesentlich ist, dass die Untertagedeponien der Firma K+S (Herfa-Neurode und Zielitz) für die Übernahme eine **Mindestmenge** von **1 Tonne** vorgeben, nicht als Sammler für die Fraktionen agieren und demnach für Betriebe aus dem Bereich der Demontage von Elektroaltgeräten meist ein vorgelagerter Sammler für gefährliche Abfälle erforderlich ist.

Die Übernahmekosten der Untertagedeponien der Firma K+S werden mit **€240 pro Tonne** (rd. ATS 3.300,- pro t) angegeben. Die entsprechende Verpackung und Kennzeichnung der übergebenen Fässer obliegt dem Anlieferer.

Die kaufmännisch Abwicklung der zur SÜDWESTDEUTSCHE SALZWERKE AG gehörenden Untertagedeponie **Heilbronn** obliegt der Tochtergesellschaft UEV - Umwelt, Entsorgung und Verwertung GmbH. Für die Übernahme von Abfällen aus Österreich wurde ein **Exklusivvertrag** mit der Firma **ASA**, Himberg geschlossen.

Die Übernahmekosten für Kleinkondensatoren wurden von der Firma ASA mit **ATS 14,- pro kg** angegeben. Die Firma ASA agiert in Österreich als Sammler für gefährliche Abfälle und es können demnach auch kleinere Mengen abgegeben werden. Nach Angaben der Firma ASA werden Kondensatoren je nach Marktsituation und Mengenaufkommen entweder an die Untertagedeponie oder aber zur thermischen Entsorgung weitergeleitet (sh. Pkt. 3.2.6).

3.2.8 Überblick Technologien und Kosten

Die Tabellen Tab. 3.2 und Tab. 3.3 sollen einen Überblick über die angeführten Verfahren zur Behandlung von Kondensatoren bieten.

In Tab. 3.2 wurde eine Bewertung aus abfallwirtschaftlicher Sicht (AW) mit aufgenommen. Die abfallwirtschaftlich vorteilhaften Verfahren, welche zum Teil erst als Konzept- oder im Pilotmaßstab vorliegen bzw. in Europa derzeit nicht verfügbar sind, welche sich jedoch durch eine **Rückgewinnbarkeit des Aluminiums** für eine stoffliche Nutzung auszeichnen, haben im Vergleich zur thermischen Behandlung als gefährlicher Abfall und zur Untertagedeponierung den Nachteil der verhältnismäßig hohen Kosten.

Bei der thermischen Behandlung gemeinsam mit Batterien wird das Aluminium aus Kleinkondensatoren für die Einstellung der Schlackequalität genutzt. Für die thermische Behandlung gemeinsam mit Batterien oder anderen gefährlichen Abfällen bzw. für die Untertagedeponierung stellen Kondensatoren aus der Behandlung von Elektroaltgeräten eine Minorkomponente dar und es stehen ausreichende Kapazitäten zur Verfügung.

VERFAHREN ZUR BEHANDLUNG VON KONDENSATOREN

Verfahren > Prinzip	Status (Land)	Vorteil	Nachteil	AW
Vorbehandlung				
Magneto-Hydrostatische Separation > Trennung der Kondensatoren aufgrund der spezifischen Dichte	Verfahren erprobt und anerkannt - derzeit nicht in Betrieb (D)	nur rd. 5 % des Aufkommens als PCB-haltige Fraktionen als gefährliche Abfälle zu behandeln, 95 % nach weiterer Vorbehandlung zur stofflichen Verwertung (rd. 50 % Al)	außenliegende ferromagnetische Bestandteile an Kondensatoren stören, Aufgabe von beschädigten PCB-haltigen Kondensatoren problematisch, Behandlungsbedarf für PCB-haltige Kondensatoren, weitere Vorbehandlung der PCB-freien Kondensatoren vor Al-Hütte erforderlich	++
Behandlung				
Mechanische Behandlung von Kondensatormischfraktionen > Auspressen der Elektrolyte, mechanische Aufarbeitung der Rückstände	Konzept (A)	gezielte Erfassung von gefährlichen Abfällen, nur Elektrolyte und/oder Isoliermaterialien als gefährlicher Abfall zu entsorgen rd. 50 % Wertstoff-Ausbeute (v.a. Al) zur stofflichen Verwertung	Behandlungsbedarf für PCB-haltige Kondensatoren, Behandlungsbedarf der Reststoffe nicht geklärt, erforderliche Mindestmengen derzeit nicht verfügbar	++
Vakuumthermisches Recycling > Austreiben von Elektrolyten unter verminderten Druck, mechanische Aufarbeitung der festen Restfraktionen	Verfahren erprobt und in Japan anerkannt, Anlage in Japan in Betrieb	PCB-haltige Öle getrennt erfasst, weitere flüchtige organische Inhaltstoffe gezielt oxidiert, gereinigtes Aluminium für eine stoffliche Verwertung verfügbar	in Europa derzeit keine Anlage verfügbar	+++
Pyrolyse > Austreiben der organischen Komponenten und Nachverbrennung	Verfahren im Labormaßstab erprobt (D)	organische Inhaltstoffe inertisiert, Aluminium für Schlackequalität erforderlich	mögliche Chlor-haltige Pyrolyseprodukte, derzeit keine Anlagen verfügbar, hoher spezifischer Energieeinsatz	+
Thermische Behandlung > Thermische Behandlung gemeinsam mit Batterien	in Betrieb (CH)	organische Inhaltstoffe inertisiert, Aluminium für Schlackequalität erforderlich	Aluminium stofflich verloren	++
Thermische Behandlung > Thermische Entsorgung als gefährlicher Abfall	in Betrieb (A)	organische Inhaltstoffe inertisiert	Aluminium stofflich verloren	+
Untertagedeponierung > Ablagerung in UTD, als Zwischenlagerung eingestuft	in Betrieb (D)	Abschluss von der Umwelt	als Zwischenlagerung eingestuft, Verlust von Al	o

Tab. 3.2: Überblick - Verfahren zur Behandlung von Kondensatoren

Verfahren	Anmerkung	ATS/kg		€/kg	
		von	bis	von	bis
Magneto-Hydrostatische Separation	Vorbehandlungsschritt, weitere Behandlungsschritte erforderlich, Durchsatzmengen 500 t/a	3,5	5,6	0,25	0,41
Mechanische Behandlung von Kondensatormischfraktionen	gemeinsame Aufarbeitung mit anderen ölhaltigen Abfällen möglich, Mindestmenge 240 t/a	10,0	20,0	0,73	1,45
Vakuumthermisches Recycling	in Europa keine Anlage verfügbar - Schätzung der Übernahmekosten	21,0	28,0	1,53	2,03
Pyrolyse	keine Anlage verfügbar - Versuchsstadium	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Thermische Behandlung gemeinsam mit Batterien	Kondensatoren als Aluminium-Quelle	32,0	48,0	2,33	3,49
Thermische Entsorgung als gefährlicher Abfall	Kleinkondensatoren - nicht PCB-haltig, Schüttgut bis 20 cm Kantenlänge		9,8		0,71
	Kleinkondensatoren - PCB-haltig, Schüttgut bis 20 cm Kantenlänge		21,4		1,56
	größere PCB-haltige Teile, Fassgut - < 98 cm Höhe, Mantelstärke max. 3 mm		25,8		1,87
Untertagedeponierung	Mindestanliefermenge 1 t		3,3		0,24
	Exklusivanlieferer ASA		14,0		1,02

Tab. 3.3: Überblick - Kosten der Behandlung von Kondensatoren

3.3 Verfahren zur Behandlung von Hg-haltigen Bauteilen

3.3.1 Vorabtrennung von flüssigem Quecksilber

Eine Vorabtrennung von flüssigem Quecksilber erscheint vor allem für solchen Bauteile als relevant, wo flüssiges Quecksilber in leicht zu demontierenden Glasröhren enthalten ist (d.h. Glasröhren mit größerem Durchmesser z.B. Quecksilberdampfdruck- oder –neigungsschalter – siehe Seite 9). Aus dünnen Glasröhrchen, in denen eine Kapillarwirkung auftritt, ist Quecksilber auf manuellen Wege nicht zu trennen.

Bei diesem Arbeitsschritt werden die Glasröhren gebrochen und das flüssige Quecksilber wird abgossen. Als wesentliche Aspekte treten hier auf:

- Frage der Genehmigung
- Fragen der Arbeitssicherheit
- die Behandlung/Entsorgung der verbleibenden Reststoffe

Quecksilberhaltige Bauteile gelten als **gefährliche Abfälle** und dürfen nur von hierzu berechtigten Unternehmen behandelt werden. In Österreich verfügen zahlreiche Sammler für gefährliche Abfälle, einige bekannte Demontagebetriebe für Elektroaltgeräte und Betriebe aus dem Bereich des Sekundärrohstoffhandels und der Autoverwerter über die Genehmigung zur Behandlung von quecksilberhaltigen Abfällen - siehe Pkt. 2.3.2. Die Frage, ob aus quecksilberhaltigen Bauteilen das Quecksilber abgetrennt wird, bejahen nur wenige und das nur auf informeller Basis. Offiziell wird die Weiterleitung der Bauteile an entsprechende Quecksilberbehandlungsbetriebe oder an Entsorgungseinrichtungen angegeben.

Nach Angaben aus der Praxis ist die Abtrennung von flüssigem Quecksilber als **einfacher Arbeitsschritt** durchzuführen. Bei der Firma Kranner GmbH (siehe auch Pkt. 3.3.2.1) werden hierfür die Glasröhren vorsichtig aufgebrochen und das flüssige Quecksilber z.B. mittels Trichter in einen Auffangbehälter übergeführt (Anm.: für andere Sammler würde die Firma Kranner entsprechende Quecksilberflaschen anbieten). Diese Tätigkeit wird über einer Kunststoffwanne durchgeführt um fallweise austretendes Quecksilber in dieser Wanne aufzufangen. Die gebildeten Quecksilberkugeln können anschließend mit einem Pinsel zusammengeführt und mittels Trichter in das Sammelgefäß für das flüssige Quecksilber übergeführt werden.

Der teilweise gestellten Forderung, dass für diese Tätigkeit ein Abzug mit einer entsprechenden Quecksilberfalle (z.B. Ionenaustauscher) erforderlich wäre, stehen laut Angaben der Firma Kranner Erfahrungen aus der Praxis gegenüber, wonach Untersuchungen gezeigt hätten, dass bei dieser Tätigkeit auch bei höheren Raumtemperaturen und in normal belüfteten Räumen der MAK-Wert für Quecksilber von $0,05 \text{ mg/m}^3$ (AUVA, 1995) bedeutend unterschritten wird.

Entscheidend dafür, dass es zu keiner erhöhten Diffusion von Quecksilber kommt, sei es, den **Höhenabstand** zum bereitgehaltenen Auffangbehälter oder zu der zu verwendenden Sicherheitsauffangwanne so gering wie möglich zu halten um damit einem Aufspritzen von sehr kleinen Tropfen mit hoher Oberfläche, hoher Oberflächenenergie und damit hohem Diffusionspotential und damit die Bildung von Quecksilberdämpfen zu vermeiden (KRANNER (1), 2001).

Weiters wird das Vorhalten von Quecksilbersorptionsmitteln vorgegeben, die Qualität der angebotenen Sorptionsmitteln wird von Anwendern aus der Praxis kritisch hinterfragt, da die angebotenen Produkte die angestrebten Amalgame von Quecksilber erst bei erhöhten Temperaturen bilden würden (KRANNER (1), 2001).

Entscheidend ist, dass das **Glas** auch nach der Abtrennung des Quecksilbers noch mit **Restmengen an Quecksilber** behaftet ist und dass dieses bei einer fachgerechten Vorgangsweise entweder zur vakuumthermischen Abtrennung des Quecksilbers weitergeleitet oder einer Entsorgung als gefährlicher Abfall (z.B. Untertagedeponie) zuzuführen ist. Erfolgt die Abtrennung von Quecksilber aus quecksilberhaltigen Bauteilen auf inoffiziellm Weg, wäre zu hinterfragen, wo die Rückstände nach der Abtrennung des flüssigen Quecksilbers verbleiben.

3.3.2 Destillation unter vermindertem Druck (Vakuumdestillation)

Das Prinzip der Destillation von quecksilberhaltigen Abfällen basiert auf den chemischen Eigenschaften von Quecksilber. Quecksilber ist als Metall bei Zimmertemperatur flüssig/fest und sublimiert (Übergang von der festen in die gasförmige Phase) bei einem Umgebungsdruck von 1 bar bei 357° C, was auch bei der Gewinnung des Quecksilbers genutzt wird. Unter vermindertem Umgebungsdruck sinkt der Sublimationspunkt (vgl. Siedepunkt, wenn als Flüssigkeit betrachtet). Dieses - für alle Elemente und Verbindungen gültige - Prinzip wird schon seit langer Zeit für die Destillation und Reinigung von Quecksilber angewandt.

In Deutschland hat die Firma ALD das Verfahren des Vakuumtechnischen Recyclings (VTR-Verfahren) weiterentwickelt und konzipiert Anlagen für die Behandlung von quecksilberhaltigen Abfällen - zur allgemeinen Beschreibung dieses Verfahrens siehe **Pkt. 3.1.1**. Im Bereich der Recyclingtechnologien ist dieses Verfahren und verschiedene andere Anlagenkonzeptionen für die Destillation von quecksilberhaltigen Abfällen in Anwendung.

In Österreich gilt die Firma Kranner GmbH als das bekannteste Unternehmen zur Übernahme von quecksilberhaltigen Abfällen. Unter den erhobenen Unternehmen in Österreich war es auch das einzige, das quecksilberhaltige Bauteile aus dem Bereich der Elektroaltgeräte zur vakuumthermischen Behandlung übernimmt. Andere befragte Betriebe übernehmen entweder nur Leuchtstoffröhren oder Amalgamreste aus dem Dentalbereich – siehe Pkt. 2.3.2.

In Deutschland konnten die Firmen GMR, NQR und Trienekens als Betriebe mit einer vakuumthermischen Aufarbeitungsanlagen recherchiert werden.

Im Folgenden sollen diese Firmen und deren Vorgangsweise kurz dargestellt werden.

3.3.2.1 Kranner GmbH

Die Firma Kranner GmbH ist in einem weiten Bereich des Handels mit Altmetallen tätig. Ein umsatzmäßig kleines Teilgeschäftsfeld stellt die Übernahme von quecksilberhaltigen Abfällen dar. Diese werden zum Teil innerbetrieblich aufgearbeitet. Flüssiges Altquecksilber wird nass-chemisch gereinigt und bei Bedarf über eine Reindestillationsstufe weiter aufgearbeitet. Es wird mit Quecksilber in verschiedenen Reinheitsstufen gehandelt – siehe auch Pkt. 2.1.2.2 Qualitätsklassen.

Kranner GmbH - Altmetalle, Recycling
 Dresdner Str. 26a; Pf 195
 A-1201 Wien
 Tel. (++43) (1) 332 20 20-0
 E-Mail: office@kranner.com
www.kranner.com

➤ **Übernahme und Weiterleitung**

Nach vorliegenden Firmeninformationen werden folgende quecksilberhaltige Abfälle übernommen (*Anm.: Fraktionen, die aus dem Bereich der Elektroaltgeräte stammen können, wurden fett dargestellt*) (KRANNER (2), 2001):

- **Altquecksilber**, verunreinigt, metallisch
- Thermometer, sortenrein
- **Hg-hältige Relais**, sortenrein
- **Kippschalter**, sortenrein
- Thermometer, **Relais und Kippschalter gemischt**
- Hg-hältige Abfälle aus der Kommunalsammlung
- mit Hg versetztes Sintergestein aus der Porositätsprüfung
- Leuchtstoffröhren
- Trockenamalgam
- trockene Hg-Verbindungen (z.B. Salze)

Hg-hältige Flüssigkeiten, feuchte, amalgamhaltige Rückstände aus dem Abscheider des Zahnarztstuhls, Filter, Aktivkohle, Ionenaustauscher, sowie Hg-kontaminiertes Erdreich werden nicht übernommen.

Für die Sammlung und Zwischenlagerung von quecksilberhaltigen Abfällen verfügt die Firma Kranner GmbH und über ein genehmigtes **Lager** für 10 t quecksilberhaltige Abfälle. Für die Behandlung von – vor allem anorganischen - quecksilberhaltigen Abfällen steht eine ältere genehmigte **Vakuumdestillationsanlage** zur Verfügung.

Nach Angaben der Firma Kranner GmbH könnten prinzipiell alle oben genannten anorganischen quecksilberhaltigen Abfälle innerbetrieblich aufgearbeitet werden. Als wesentlich für die erfolgreiche Abtrennung von Quecksilber aus Abfallmaterialien in der Vakuumdestillationsanlage wird jedoch angeführt, dass es sich um eine entsprechende **Menge** von **einheitlichem Inputmaterial** handeln muss, da die Prozessparameter (Druck, Temperatur, Zeit) auf das jeweilige Inputmaterial eingestellt werden müssen. Für die Behandlung innerhalb des Hauses wird von einer **Mindestmenge** von **500 kg** ausgegangen.

Potentielle Anlieferer werden dahingehend informiert, dass schon bei der Sammlung von quecksilberhaltigen Abfällen eine Unterscheidung nach

- quecksilberhaltigen Abfällen - anorganischen
- quecksilberhaltigen Abfällen - organischen

vorgenommen werden sollte. Wesentlicher Unterschied ist, dass aus quecksilberhaltigen Abfällen - anorganisch (d.h. ausschließlich Quecksilber und anorganische Komponenten wie Glas, Metall oder Stein) das Quecksilber in der betriebseigenen Vakuumdestillationsanlage abdestilliert werden kann. Quecksilberhaltige Abfälle mit organischen Anteilen müssen entweder an Behandlungsanlagen mit einer entsprechenden Verbrennungsstufe

weitergeleitet werden oder müssten als quecksilberhaltige Abfälle einer Entsorgung in Untertagedeponien zugeführt werden.

Es wird darauf hingewiesen, dass jede **Vermischung** von quecksilberhaltigen Materialien wie z.B. das gemeinsame Sammeln von Abfällen der unterschiedlichen Gruppen oder das Zuordnen von Handschuhen, Kehrrichtmaterialien, Bindemitteln mit Quecksilber o.ä. **vermieden** werden soll. Liegen quecksilberhaltige Abfälle in einer solchen Mischung vor, könnten diese nicht den Anforderungen der Aufarbeitung entsprechend sortiert werden und müssten an eine entsprechende Untertagedeponie zur Entsorgung weitergeleitet werden.

Auch das vielschichtige **Verpacken** von quecksilberhaltigen Bauteilen als Schutz gegen einen potentiellen Bruch wird **nicht empfohlen**, da die Gesamtmenge als quecksilberhaltiger Abfall übernommen und auch Verpackungsmaterialien als potentiell quecksilberhaltig entsorgt werden müsste. Für die Sammlung und Zwischenlagerung werden von einem Vertreter der Firma Kranner dicht schließende, bruchfeste Kunststoffgebinde empfohlen. Für den Transport - oder ggf. den Versand - müssten entsprechend genehmigte Gebinde wie UN-Fässer oder Gefahrgutkartons verwendet werden. Bei der Verwendung von UN-Fässern sollte ein Kunststoffeinlegesack verwendet werden um die Fässer nach der Entnahme des Sackes mit den quecksilberhaltigen Abfällen einer weiteren Nutzung zuführen zu können.

Aus dem Bereich der **quecksilberhaltigen Bauteile** aus **Elektroaltgeräten** wird demnach folgende Unterscheidung für die Sammlung empfohlen:

- Quecksilberhaltige Bauteile anorganische – z.B. Kippschalter, Neigungsschalter o.ä. wo das Quecksilber in einem Glasröhrchen enthalten ist,
- Quecksilberhaltige Bauteile mit organischen Komponenten wie Harz, Kunststoffe, Lack – z.B. kunststoff-ummantelte Neigungsschalter, wo die Glasampulle mit Quecksilber in Harz eingegossen ist, metall-ummantelte Schalter mit einem Kunststoffkern,
- Geräte, wo ein Demontageschritt zur Abtrennung der quecksilberhaltigen Komponenten erforderlich ist z.B. Zeitschalter, Thermostate o.ä.

Übernommene quecksilberhaltige Abfälle werden innerhalb des Hauses **kontrolliert** und ggf. enthaltene Fehlzuordnungen werden korrigiert um einheitliche Inputmaterialien für die Aufarbeitung zu erzielen. Derzeit stellt quecksilberhaltiges Sintergestein aus der Porositätsprüfung die Hauptmenge der Übernahme an quecksilberhaltigen Abfällen dar. Dieses Material wird in der Vakuumdestillationsanlage aufgearbeitet (siehe Aufarbeitung).

Werden bei anderen Materialien (z.B. Glasbruch aus der Vorbehandlung der quecksilberhaltigen Bauteile – siehe Vorbehandlung) die erforderlichen Mindestmengen an einheitlichen quecksilberhaltigen Abfällen für die Aufarbeitung nicht erreicht oder wird die innerbetriebliche Aufarbeitung als ökonomisch nicht vorteilhaft eingestuft, werden diese quecksilberhaltigen Fraktionen an Partnerfirmen in Deutschland (u.a. GMR – siehe Pkt. 3.3.2.2) zur Aufarbeitung und Quecksilberrückgewinnung weitergegeben.

Ist aufgrund einer zu starken Vermischung von unterschiedlichsten quecksilberhaltigen Abfällen eine Zuordnung zu Fraktionen zur Aufarbeitung nicht möglich, müssten diese Abfälle einer Entsorgung in Untertagedeponien zugeführt werden. Durch die laufende Information der Kunden ist es jedoch gelungen, auf die erforderliche Separation der quecksilberhaltigen Abfälle hinzuwirken und es musste von der Firma Kranner GmbH bisher kein solcher Export durchgeführt werden.

Nach Angaben einer Vertreterin der Firma Kranner GmbH wird von österreichischen Betrieben der „Entsorgungsbranche“ in unregelmäßigen Zeitabständen flüssiges Altquecksilber angeliefert. Quecksilberhaltige Bauteile aus dem Bereich der Elektroaltgeräte wurden in den letzten 2 Jahren kaum angeliefert.

➤ **Vorbehandlung**

Bei Quecksilberkippschaltern, -neigungsschaltern oder –relais, wo das metallische Quecksilber in Glasröhren enthalten ist, werden die Glasröhren bei der Firma Kranner im Sinne der „Ausarbeitung“ der Materialien gebrochen und das metallische flüssige Quecksilber abgetrennt.

Dieser Arbeitsschritt wird über einer Kunststoffwanne durchgeführt um fallweise austretendes Quecksilber in dieser Wanne aufzufangen. Das Quecksilber bzw. die Quecksilberkugel können anschließend mit einem Pinsel zusammengeführt und mittels Trichter in das Sammelgefäß für das flüssige Quecksilber übergeführt werden.

Das gewonnene **flüssige Quecksilber** wird der nass-chemischen Reinigung zugeführt (siehe Pkt. Aufarbeitung).

Die **Glasfraktion** mit den anhaftenden Quecksilberresten wird getrennt erfasst und derzeit zwischengelagert. Eine Aufarbeitung in der Vakuumdestillationsanlage wäre theoretisch möglich. Da es sich jedoch um ein sehr geringes Mengenaufkommen dieser Fraktion handelt und die Analysekosten für die Bestätigung der Deponiefähigkeit des verbleibenden Materials unverhältnismäßig hoch wären, soll diese Fraktion bei Erreichen einer entsprechenden Menge entweder bei Partnerfirmen in Destillationsanlagen weiter aufgearbeitet oder zur Entsorgung in Untertagedeponien weitergeleitet werden.

➤ **Aufarbeitung**

Für die Aufarbeitung von quecksilberhaltigen Abfällen wird eine **Vakuumdestillationsanlage** eingesetzt. Bei dieser Anlage handelt es sich um eine in Zusammenarbeit mit der TU-Wien gebaute Sonderanfertigung.

Es ist dies eine zylindrische Vakuumanlage, welche elektrisch beheizt wird und die für ein Aufheizen der Anlage auf maximal 700 °C ausgelegt ist. Mittels Ölschieberpumpe kann ein Vakuum < 1 mbar erzeugt werden. Im Kopfteil der Anlage ist eine Kondensationsfalle in die Anlage integriert, welche mittels Kältemaschine gekühlt wird und aus der das Kondensat in Behälter abgeleitet wird.

Sowohl Druck als auch Temperatur können nach dem jeweiligen Anwendungsfall gewählt werden. Zu Beginn der Evakuierungs- und Aufheizphase kommt es zu einer raschen Abscheidung des Wassers. Während der Destillationsphase für Quecksilber gewährleistet eine Sicherheitsschaltung, dass es beim Abfallen des Vakuums oder bei einem Ausfall der Kühlung zu einer automatischen Ausschaltung der Heizung kommen würde.

Während der Destillationsphase arbeitet die Anlage durch eine sehr geringe Leckrate der Anlage annähernd abluftfrei. Nach Kühlung des Prozessgases und Abscheidung des Quecksilbers durchläuft diese Abluft die Ölschieberpumpe, wo ggf. enthaltene Quecksilberreste emulgieren würden. Danach wird die Abluft ins Freie geführt.

In die Anlage ist keine gesonderte Nachbrennstufe zur Zerstörung von organischen Komponenten integriert, wodurch es bei der Aufarbeitung von quecksilberhaltigen Abfällen mit organischen Anteilen zu nicht erwünschten Abscheidungen im Kühlbereich kommen würde. Eine Aufarbeitung solcher quecksilberhaltiger Abfälle mit organischen Anteilen wird deshalb nicht durchgeführt.

Das Kondensat (Mischung aus Quecksilber und Wasser) wird über einen Scheidetrichter getrennt. Das erzielte Quecksilber weist zu diesem Zeitpunkt eine Reinheit von 99,99 % (4-9er-Qualität) auf.

Das so erzielte Recyclingquecksilber (oder direkt übernommenes metallisches Altquecksilber) kann innerbetrieblich durch eine **nasschemische Reinigung** mit verdünnter Salpetersäure in eine Reinheitsstufe von 99,999 % (5-9er-Qualität) übergeführt werden. Durch eine nachfolgende **Reindestillation** wird 6-9er-Qualität erzeugt. Zu den erzielten Typen an Quecksilber und den Einsatzbereichen siehe Pkt. 2.1.2.2 Typen / Einsatzbereiche.

Die Rückstände aus der routinemäßigen Aufarbeitung von quecksilberhaltigem Sintergestein sind **quecksilberfrei** und werden nach einer routinemäßigen Analyse durch eine öffentliche Prüfanstalt zur Deponierung freigegeben.

Die Glasfraktion aus der Vorbehandlung von Quecksilberschaltern könnte ebenfalls in dieser Anlage von Restgehalten an Quecksilber befreit werden, das geringe Mengenaufkommen und wirtschaftliche Aspekte sprechen jedoch dagegen – siehe oben.

➤ **Übernahmepreise**

Als Übernahmepreis für eine der oben genannten sortenreine Fraktion der quecksilberhaltigen Abfallarten wurde ein Preis von derzeit **ATS 72,50 pro kg** genannt.

Der Anlieferung von Mischfraktionen wird durch eine umfassende Information der Kunden entgegengewirkt. Werden dennoch verschiedene Arten von quecksilberhaltigen Abfällen vermischt angeliefert, kann der Übernahmepreis bis zu ATS 200,- / kg ansteigen, da hier ein entsprechend höherer Sortier- und Vorbehandlungsaufwand abgegolten werden müsste.

➤ **Prognosen**

Das Aufkommen an quecksilberhaltigen Abfällen und insbesondere das Aufkommen von quecksilberhaltigen Bauteilen aus Elektroaltgeräten wird als sehr gering und rückläufig eingestuft. Für die Behandlung wird die innerbetrieblich verfügbare Anlage nur insoweit genutzt, als die Anwendung gesichert durchführbar ist. Quecksilberhaltige Abfälle, die innerbetrieblich nicht aufgearbeitet werden können, werden bevorzugt an bekannte, hochwertig arbeitende Partnerbetriebe weitergegeben und somit deren Know-How genutzt. Anlagenadaptionen und weitere Investitionen in diesen Geschäftsbereich sind nicht geplant.

Der Markt für Quecksilber wird ebenfalls als **stark rückläufig** eingestuft. Da jedoch Quecksilbergewinnungsstätten laufend geschlossen werden, wird eine Rückgewinnung und Aufarbeitung von Altquecksilber zur Abdeckung des bestehenden Bedarfes jedenfalls als zielführend und notwendig eingestuft.

Derzeit wird Quecksilber vor allem an Unternehmen geliefert, die Quecksilber für die Porositätsprüfung, in Leuchtmitteln, bei der Produktion von Natronlauge und Salzsäure und im Dentalbereich einsetzen.

3.3.2.2 GMR

Die GMR Gesellschaft für Metallrecycling mbH beschäftigt sich seit vielen Jahren mit der Erfassung, Sortierung, Aufarbeitung, Verwertung und Entsorgung von verschiedensten Arten an quecksilberhaltigen Abfällen und betreibt Anlagen zur Dekontamination von quecksilberhaltigen Materialien.

GMR Gesellschaft für Metallrecycling mbH Naumburger Str. 24 D – 04229 Leipzig Tel.: 0049/341/49 72 00- 0

1998 wurde am Standort in Leipzig eine neue Vakuumdestillationsanlage installiert, welche zusammen mit der Firma ALD entwickelt und für die speziellen Ansprüche der Quecksilber-Rückgewinnung ausgelegt wurde (siehe - Vakuumthermisches Recycling – VTR-Verfahren – Pkt. 3.1.1).

Die Anlage hat eine Kapazität von 1.000 t pro Jahr. Es werden jährlich rund 750 t quecksilberhaltiger Abfälle aufgearbeitet. Hiervon sind rund 20 t Knopfzellen und rd. 5 t quecksilberhaltiger Bauteile.

➤ **Übernahme**

Aus dem Bereich der **quecksilberhaltigen Abfälle aus Elektroaltgeräten** werden sowohl quecksilberhaltige Bauteile - Glas, quecksilberhaltige Bauteile mit Metallummantelung bzw. quecksilberhaltige Bauteile in Kunststoffummantelung übernommen. Weiters werden hauptsächlich quecksilberhaltige Knopfzellen, Zahnamalgame und quecksilberhaltige Schlämme und Böden zur Aufarbeitung übernommen.

➤ **Vorbehandlung**

Nach den Angaben der Firma GMR ist bei der Anlieferung von Mischfraktionen eine Sortierung der übernommenen Abfälle erforderlich um einheitliche Inputmaterialien für die Aufarbeitung zu erlangen. Angelieferte **quecksilberhaltige Bauteile** werden jedenfalls in quecksilberhaltige Bauteile mit Glasröhren und quecksilberhaltige Bauteile in Ummantelung sortiert.

- Quecksilberhaltige Bauteile mit Glasröhren werden manuell vorzerlegt und die Glasröhre gebrochen. Die so vorbereiteten Teile werden in Schalen in die Destillationsanlage eingebracht.
- Quecksilberhaltige Bauteile in Ummantelung müssen nach Angaben eines Vertreters der Firma GMR angebohrt werden⁹, damit das Quecksilber während des Destillationsprozesses ausgetrieben werden kann.

➤ **Aufarbeitung**

Die Vakuumdestillationsanlage, die von der Firma GMR gemeinsam mit dem Anlagenbauer ADL entwickelt wurde (TERA 80/80/300) besteht aus einer horizontalen Vakuumkammer, welche über ein motorgetriebenes Ladesystem beschickt werden kann. Die Prozessparameter wie Temperatur und Druck können nach dem jeweiligen Anwendungsfall

⁹ Anm.: Die „Wunschvorstellung“ der Anlagenbauer, dass keine Vorbehandlung der Bauteile erforderlich wäre, hat sich nach der persönlichen Information eines Vertreters der Firma GMR in der Praxis als nicht umsetzbar erwiesen. So blähen sich z.B. gewisse Glasröhren während des Erwärmungsprozesses nur ballonartig auf und springen zum Teil nicht. Bauteile mit Metallummantelung seien jedenfalls anzubohren (Kunststoffe verbrennen bei der eingestellten Temperatur von 450 °C)

durch eine frei programmierbare Steuerung für eine optimale Behandlung gewählt und geregelt werden.

Das in der Vakuumkammer (VTR-Behandlungskammer) entstehende Prozessgas wird über eine Oxidationsröhre geführt, in der aus organischen Anteilen entstehende Kohlenwasserstoffe unter Zudosierung von Sauerstoff vollständig oxidiert werden. Die Abscheidung von Quecksilber erfolgt über Kondensatoren. Hinter den Kondensatoren sind spezielle Systeme von Vakuumpumpen installiert. Die Abluft aus den Vakuumpumpen wird über Filter geführt. Die Vakuumdichtheit dieser Anlage wird durch die Leckrate von weniger als 10^{-1} mb³/s spezifiziert. Eine Darstellung des Anlagenprinzips und ein Bild dieser Anlage finden sich unter – Pkt. **3.1.1.3**, Seite **29**.

Nach Angaben der Firma GMR werden quecksilberhaltige Bauteile bei ca. 450 °C aufgearbeitet.

➤ **Emissionen und Produkte**

Die vorgegebenen Grenzwerte von 500 µg Staub/m³ und 25 µg Hg/m³ werden eingehalten bzw. bei laufend durchgeführten Kontrollen wesentlich unterschritten.

Das gewonnene **Quecksilber** wird nach Kundenanforderungen weiter nass-chemisch gereinigt oder über die Stufe der Reindestillation weiter aufgearbeitet. Als Produkte werden vor allem Quecksilber hoher Qualitätsstufen gehandelt (6-9er- bzw. 7-9er-Qualität). Hauptabnehmer sind die Lampenindustrie, die Baustoffindustrie (verschiedene Messverfahren wie Porositätsprüfung), Zahnamalgamindustrie und die Hersteller von Spezialthermometern.

Als **Reststoffe** der Aufarbeitung von quecksilberhaltigen Bauteilen fallen Metall- und Glasfraktionen an. Die anfallenden Metalle werden als Schrott weitergegeben. Die Qualität der erzielten Glasfraktion erlaubt eine Ablagerung auf Hausmülldeponien (Deponien der Klasse Z II).

➤ **Übernahmepreise**

Die Annahmepreise für quecksilberhaltige Abfälle richten sich nach der **Art** der übergebenen Bauteile, der **Sortenreinheit** und dem übergebenen **Gewicht**.

Als Beispiele wurden die folgenden Übernahmekosten genannt:

- Hg-haltige **Bauteile - Einzelfraktionen** sortiert (ab 20 kg) - **DM 8,50-12,50 pro kg**
- Hg-haltige **Bauteile - vermischt** (Glas, Metall, Kunststoff) - **DM 20,- pro kg**

3.3.2.3 NQR

Die NQR Nordische Quecksilberrückgewinnung GmbH in Lübeck beschäftigt sich als ein Tochterunternehmen der RETHMANN-Gruppe, einem international tätigen Dienstleistungsunternehmen der Entsorgungsbranche (vgl. www.rethmann.com), mit der Erfassung, Sortierung, Aufarbeitung, Verwertung und Entsorgung von quecksilberhaltigen Abfällen und seit über 10 Jahren werden Anlagen zur Dekontamination von quecksilberhaltigen Materialien betrieben.

NQR Nordische Quecksilberrückgewinnung GmbH
Bei der Gasanstalt 9
D – 23 580 Lübeck
Tel.: 0049/451/583 00 - 0

Anfang 1996 wurde in Lübeck eine neue Vakuumdestillationsanlage installiert, welche zusammen mit einem führenden deutschen Vakuumofenbauer entwickelt und für die speziellen Ansprüche der Quecksilber-Rückgewinnung ausgelegt wurde (siehe dazu auch Pkt. 3.1.1 VTR-Verfahren). Weiters werden Anlagen zur Konditionierung von quecksilberhaltigen Abfällen und Anlagen zur Sortierung von Batterien betrieben.

➤ Übernahme

Aus dem Bereich der quecksilberhaltigen Abfälle werden intern als „Standardmaterialien“ definierte Abfallarten wie Thermometer, Schalt- und Messeinrichtungen, Dentalamalgam, Knopfzellen und kontaminierte Metallbauteile übernommen und aufgearbeitet. Weiters können durch die Kombinationsmöglichkeit mit der Konditionierung auch Abfälle aus der industriellen Produktion übernommen und behandelt und zum Wiedereinsatz aufbereitet oder in einen deponiegeeigneten Zustand übergeführt werden.

Nach eigenen Angaben verarbeitet die NQR rd. 350 t quecksilberhaltiger Abfälle pro Jahr.

➤ Übernahmepreise

Die Annahmepreise für quecksilberhaltige Abfälle schwanken nach den Angaben der Firma NQR sehr stark und sind vom **Quecksilbergehalt**, dem zu entsorgenden **Reststoffanteil**, dem **Behandlungsaufwand** und von der **Menge** des angelieferten Abfalls abhängig. Insbesondere für unsortierte Gemische muss zusätzlich der Behandlungsaufwand der Vorsortierung verrechnet werden, da die Abfälle nur chargenweise und nach ähnlicher Zusammensetzung aufgearbeitet werden können.

Als Beispiele wurden die folgenden Übernahmekosten genannt:

Hg-Schalter Glasausführung	DM 8,60 pro kg
Hg-Schalter Gehäuseausführung.....	rd. DM 17,- pro kg
Thermometer	rd. DM 8,-
Knopfzellen.....	DM 5,- bis 7,- pro kg

➤ Vorbehandlung

Nach den Angaben der Firma NQR ist bei Mischfraktionen eine Sortierung der übernommenen Abfälle erforderlich, um einheitliche Inputmaterialien für die Aufarbeitung zu erlangen. Angelieferte **quecksilberhaltige Bauteile** werden **manuell vorzerlegt** und in kontaminierte und unbelastete Bauteile sortiert. Die mit Quecksilber kontaminierten Komponenten werden in der Vakuumdestillationsanlage behandelt.

Nach dem Prinzip der Anlage zum Vakuumthermisches Recycling folgend, sei nach Angaben der NQR eine weitere Vorbehandlung, wie das Brechen oder Vorzerkleinern der quecksilberhaltigen Bauteile nicht erforderlich¹⁰.

¹⁰ Diese Angabe wurde auch bei zweimaliger Rückfrage, ob keine Zerkleinerung von z.B. metallummantelten Hg-Schaltern erforderlich sei, verneint. Ggf. waren solche Bauteile noch nicht in größeren Mengen aufzuarbeiten, vgl. Angaben GMR: Anbohren oder Aufbrechen erforderlich!

➤ **Aufarbeitung**

Die Quecksilberrecyclinganlage ist nach allgemeinen Angaben der Firma NQR nach der 4. BImSch-Verordnung genehmigt (NQR, 1999). Durch eine frei programmierbare Steuerung lassen sich alle Prozessparameter entsprechend der eingesetzten Chargen wählen und für eine optimale Behandlung abstimmen.

Das quecksilberhaltige Material wird je nach Art und Zusammensetzung in unterschiedlich ausgeführten Chargenträgern in den Rezipienten (\cong Vakuumdestillationsraum) eingebracht. Nach Evakuierung des Rezipienten wird die Charge mittels elektrischer Beheizung auf die programmierte Temperatur erhitzt. Das Quecksilber dampft aus dem Material aus und wird gemeinsam mit eventuell freigesetzten Pyrolysegasen über eine thermische Nachverbrennung geführt. Dort erfolgt bei Temperaturen von mindestens 800 °C und einer geregelten Sauerstoffzufuhr eine vollständige Oxidation von organischen Bestandteilen zu Kohlendioxid und Wasser. Unerwünschte Oxidationen durch über die Leckrate eintretenden Luftsauerstoff sind durch den Einsatz einer speziellen Dichtungstechnik und einer automatischen Dichtigkeitsüberprüfung ausgeschlossen.

Der Gasstrom mit dem Quecksilberdampf wird einem flüssigkeitsgekühlten Kondensator zugeführt, wo das Quecksilber auskondensiert und in Behältern aufgefangen wird. Dieses Quecksilber wird der Reinstdestillation zugeführt.

Der verbleibende Gasstrom wird von Vakuumpumpen über einen Vorfilter abgesaugt und in die Abluftanlage der Betriebshalle eingespeist. Diese Abluftanlage enthält neben vorgeschalteten Partikelfiltern schwefelimpregnierte Aktivkohle, über welche restliche Quecksilberanteile absorbiert werden.

➤ **Emissionen und Produkte**

Für die Emissionsgrenzwerte gilt grundsätzlich die deutsche Technische Anleitung für die Reinhaltung der Luft (TA Luft) wonach folgende Grenzwerte nicht überschritten werden dürfen:

- Die im Abgasstrom enthaltenen **staubförmigen Emissionen** dürfen folgende Grenzwerte nicht überschreiten:
 - Massenstrom $> 0,5 \text{ kg/h}$ \rightarrow Massenkonzentration von 50 mg/m^3
 - Massenstrom $\leq 0,5 \text{ kg/h}$ \rightarrow Massenkonzentration von 150 mg/m^3
- Die im Abgas enthaltenen Emissionen von **Quecksilber** und seinen Verbindungen dürfen bei einem Massenstrom von 1 g/h oder mehr die Massenkonzentration von $0,2 \text{ mg/m}^3$ nicht überschreiten.

Laut eigenen Angaben führt die NQR in regelmäßigen Abständen Eigenkontrollmessungen durch und lässt regelmäßig von unabhängigen Sachverständigen Emissionsmessungen durchführen. Sämtliche Messungen haben bislang Ergebnisse gezeigt, die deutlich unter den geforderten Grenzwerten gelegen sind.

Bei der Aufarbeitung von quecksilberhaltigen Bauteilen wird durch die erste Aufarbeitungsstufe ein Quecksilberreinheitsgrad von 95 bis 99 % Hg erzielt. Dieses verunreinigte Quecksilber wird in der Reinstdestillationsanlage weiter aufgearbeitet.

Als **Reststoffe** der Aufarbeitung von quecksilberhaltigen Bauteilen fallen vor allem Metall- und Glasfraktionen und ggf. Kunststoff-Glas-Verbunde an (Anm.: Kunststoffe verbrennen größtenteils). Die anfallenden Metalle werden als Schrott weitergegeben. Die Glasfraktion und ggf. anfallende Glas-Kunststofffraktionen werden derzeit als Sonderabfall deponiert. Nach Angaben der Firma NQR laufen derzeit Untersuchungen, diese Fraktionen als Schlackezuschlagstoff, als Zuschlagstoff für den Straßenbau oder als Bergversatzmaterialien zu „verwerten“ (NQR, 2001).

➤ **Reinstdestillation**

Nach der vakuumtechnischen Behandlung kann das gewonnene Quecksilber ebenso wie Alt-Quecksilber noch Verunreinigungen aufweisen. Um die von technischen Anwendern gewünschten Reinheitsgrade von Quecksilber erzielen zu können, betreibt die NQR eine Reinstdestillationsanlagen, in der Quecksilber theoretisch mit einem Reinheitsgrad bis 99,999999 % hergestellt kann.

Als häufig produzierte Qualitätsstufen werden Reinheitsgrade von 99,99 % („4-9-Qualität“), 99,999 % („5-9-Qualität“) und die 7-N-Qualität genannt. Als potentielle Übernehmer werden Lampenhersteller, Betreiber der Chlor-Alkali-Elektrolyse, Hersteller von Laborgeräten und Hersteller von Dentalamalgam genannt.

3.3.2.4 *Trienekens*

Die Firma Trienekens ist in einem weiten Bereich der Abfallsammlung tätig (vgl. www.trienekens.de). Am Standort in Grevenbroich werden u.a. Elektroaltgeräte demontiert und eine Behandlungsanlage für quecksilberhaltige Abfälle betrieben. Nach den Angaben eines Vertreters der Firma Trienekens handelt es sich hierbei um eine Anlage, die nach dem **MRT-Verfahren** funktioniert (siehe Pkt. Anlagenprinzip - MRT, Seite 31).

Trienekens Neuss Benzstr. 1 D-41515 Grevenbroich Tel.: 0049/2181 - 696-0 www.trienekens.de

Darin könnten Thermometer, Schalter und quecksilberhaltige Batterien behandelt werden. Derzeit werden jedoch nur Knopfzellen aufgearbeitet. Quecksilberhaltige Bauteile aus Elektroaltgeräten werden an andere Betriebe (z.B. GMR, NQR) zur Behandlung weitergegeben. Bei einem höheren Mengenaufkommen an quecksilberhaltigen Bauteilen aus Elektroaltgeräten könnte die Anlage für die Behandlung dieser Teile adaptiert werden. Die Prozessparameter wie Temperatur, Zeit und der erforderliche Prozessverlauf wären jedoch erst abzustimmen.

➤ **Übernahme und Vorbehandlung von quecksilberhaltigen Abfällen**

Die Übernahme von **Einzelfraktionen** an quecksilberhaltigen Abfällen oder von **Mischungen** verschiedener quecksilberhaltiger Abfälle erfolgt in 30 oder 60 l Fässern. Die entsprechende Verpackung und Kennzeichnung dieser Fässer obliegt dem Kunden.

Die übernommenen quecksilberhaltigen Abfälle werden auf Quecksilber-Arbeitsplätzen sortiert und quecksilberhaltige Bauteile werden soweit als möglich demontiert, um so nur die quecksilberhaltige Komponenten in die Destillationsanlage einbringen bzw. weiterleiten zu müssen.

➤ **Übernahmepreise**

Der Übernahmepreise liegt für alle Arten von quecksilberhaltige Abfälle bei **DM 17,50 pro kg** (TRIENEKENS NEUSS, 2001).

3.3.3 Thermische Behandlung mit gezielter Hg-Rückgewinnung

Bei den hier dargestellten Verfahren zur thermischen Behandlung mit gezielter Hg-Rückgewinnung handelt es sich um Verfahren, bei denen die eingesetzten Abfallfraktionen **ohne Druckveränderungen** thermisch behandelt werden. Es sind dies Verfahren, die für die Behandlung von Batterien entwickelt und in Betrieb genommen wurden und bei denen eine Quecksilber-Rückgewinnungsstufe integriert wurde.

3.3.3.1 Firma Chemtec

Die Firma Chemtec betreibt am Standort der Fernwärme Wien, Simmering (vormals EBS) eine **Batterierecyclinganlage** mit einer Jahreskapazität von 3.000 t. Diese Anlage wurde nach eineinhalbjährigem Testbetrieb mit April 2000 in den Normalbetrieb übernommen und stellt nach den Angaben eines Vertreters

Chemtec Entsorgungssysteme und Consulting GmbH
 Johann Pamer Straße 1
 A-2100 Korneuburg
 Tel. (++43) 02262/75550-0
 Hr. Wallerberger - 07229/63 990 –14

der Firma Chemtec eine der modernste Batterierecycling-Anlage Europas dar. Eine ähnliche Anlage befindet sich in der Schweiz - siehe Batrec Pkt. 3.3.3.2.

Im Vergleich zu anderen Anlagen besteht der wesentliche Vorteil dieser Anlage darin, dass durch die Situierung dieser Anlage am Gelände der Fernwärme Wien und die Ankopplung der Anlage an die Rauchgas- und Abwasserreinigungsanlagen der Fernwärme Wien wesentliche Investitionskosten eingespart werden konnten.

Als Anlagenbetreiber und Übernehmer bzw. Behandler für die zu behandelnden Abfallarten agiert derzeit die Fernwärme Wien. Nach dem Übergang in den Normalbetrieb durchläuft die Firma Chemtec nach den Informationen eines Vertreters der Firma Chemtec derzeit das abfallrechtliche Verfahren, um die Behandlergenehmigung für die zu übernehmenden Abfälle auf eigenen Namen zu erlangen, die Sammlergenehmigung liegt vor (WALLERBERGER G., 2001).

Exkurs Batterierecycling

Altbatterien aus der Sammlung in Österreich werden derzeit einer Separation unterzogen, im Rahmen derer Nickel/Cadmium-Akkumulatoren und quecksilberhaltige Knopfzellen abgetrennt werden. Nach den allgemeinen Informationen des Umweltforum Batterien werden Alkali-Mangan- und Zink-Kohle-Batterien an die hier genannte Recyclinganlage weitergeleitet und behandelt. Knopfzellen werden zu einer Recyclinganlage in die Schweiz, Nickel/Cadmium-Akkumulatoren zu einer Verwertungsanlage nach Schweden gebracht (UFB, 2001).

Vor dem Hintergrund dessen, dass die derzeitige Sammelware an Batterien noch Trockenzellen mit Quecksilber enthält und dass ggf. davon auszugehen ist, dass Restmengen an quecksilberhaltigen Knopfzellen auch nach einer Aussortierung der Hauptmenge in der Sammelware an Batterien zu geringen Anteilen enthalten sein können, wurde in die Anlage der Firma Chemtec eine **Quecksilberrückgewinnungsstufe** integriert (siehe Behandlungsanlage).

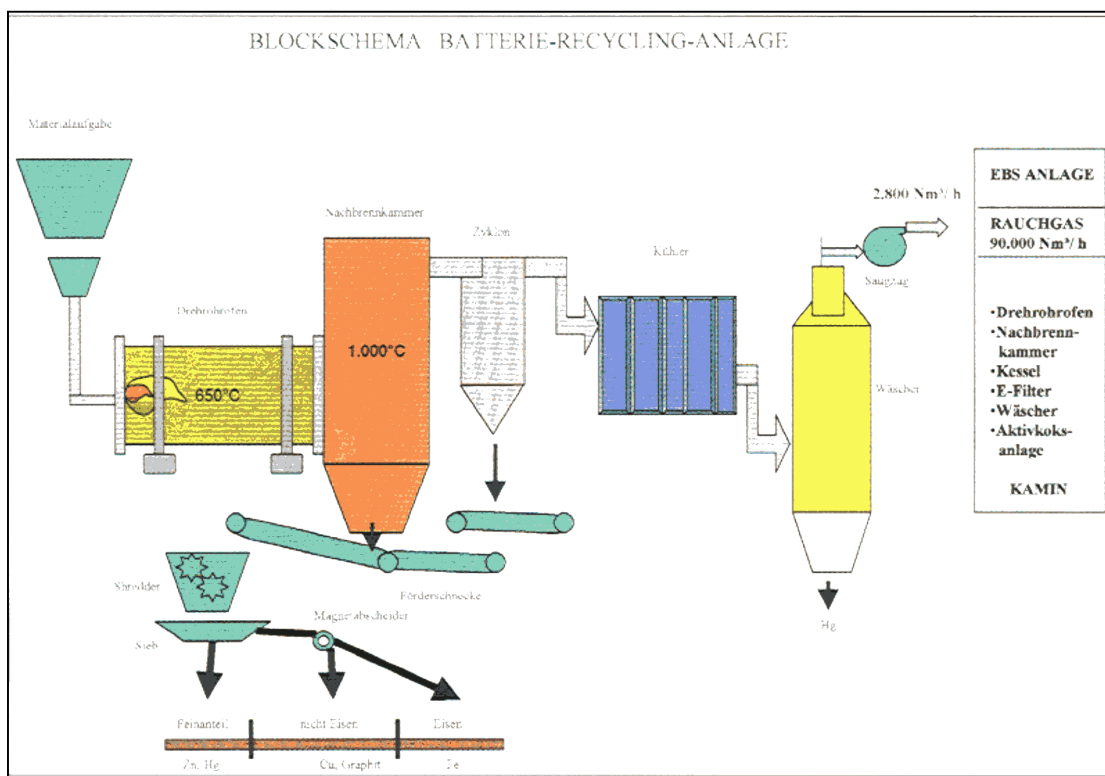
➤ Übernahme von quecksilberhaltigen Bauteilen aus EAG

Die Anlagengenehmigung für die Batterierecyclinganlage umfasst neben den Zink-Kohle- und Alkali-Mangan-Batterien auch die Genehmigung zur Behandlung und Verwertung von „Quecksilber, quecksilberhaltige Rückstände, Quecksilberdampflampen“ (SNr 35326). Demnach können auch quecksilberhaltige Bauteile aus Elektroaltgeräten übernommen und einer Behandlung unter Rückgewinnung des enthaltenen Quecksilbers unterzogen werden.

Quecksilberhaltige Abfälle wurden bisher nicht aktiv akquiriert, die Übernahme soll jedoch in Zukunft verstärkt angeboten werden (WALLERBERGER G, 2001).

➤ Behandlungsanlage

Bei der Behandlungsanlage (vgl. Abb. 3.11) handelt es sich um eine Drehrohanlage mit einem **Drehrohr** (1 m Durchmesser, rd. 7 m Länge), in dem das Inputmaterial bei einer Temperatur von 650 bis 750 °C für ca. 1 Stunde verweilt. In dieser Stufe werden Schwermetalle ausgedampft und organische Komponenten pyrolysiert. Dem Drehrohr ist eine Nachbrennkammer nachgeschaltet, in der vorhandene Kohlenwasserstoffverbindungen weiter abgebaut werden.



Anm.: Nach Angaben eines Vertreters der Firma Chemtec ist in der Feinfraktion kein Quecksilber enthalten (WALLERBERGER, 2001)

Abb. 3.11: Blockscheema Batterierecyclinganlage der Firma Chemtec (Quelle: HÜBL, 2000)

Aus der Nachbrennkammer wird die **Festfraktion** ausgetragen, auf einen Shredder geleitet und hier auf eine Stückgröße mit rd. 11 mm Kantenlänge zerkleinert. Danach erfolgt eine Absiebung der Feinfraktion und mittels Magnetabscheidung eine Auftrennung der Grobfraktion in Eisen- und Nichteisenmaterialien.

Das Rauchgas aus der **Nachbrennkammer** wird über einen Zyklon geführt, in dem der Staub aus dem Rauchgas abgeschieden wird. Dieser Staub wird mit der Festfraktion aus der Nachbrennkammer vereinigt und mit dieser weiterbehandelt.

Die **Feinfraktion** aus der Separation der Feststoffe enthält bei der Aufarbeitung von Batterien hohe Anteile an Zink und Mangan. Der Quecksilbergehalt liegt unter der Nachweisgrenze. Diese Mischfraktion wird betriebsintern zu Zink- und Manganhydroxid aufgearbeitet. Diese Fraktionen werden vermarktet.

Die **Grobfraktion** ist nach den Angaben eines Vertreters der Chemtec ebenfalls quecksilberfrei. Die Eisenfraktion wird als Sekundärrohstoff an Stahlwerke weitergeleitet. Die Nichteisenfraktion, welche bei der Aufarbeitung von Batterien vor allem Kupfer und Graphitstäbe der Elektroden enthält wird betriebsintern weiter separiert. Der Kohlenstoff wird betriebsintern als Reduktionsmittel eingesetzt, Reste an Zink und Mangan werden hydrolysiert und als Hydroxide vermarktet.

Das **vorgereinigte Rauchgas** wird in einem Kühler abgekühlt und durchläuft eine dreistufige Nasswäscheranlage, deren Stufen als Füllkörper-Kolonnen- bzw. Rotationsabscheider ausgebildet sind. Das im Rauchgas enthaltene **Quecksilber** wird als Quecksilberchlorid ausgefällt. Durch einen patentierten Quecksilberabscheider erfolgt eine Auskreisung von metallischem Quecksilber, welches einer externen Reindestillation zugeführt werden kann (WALLERBERGER G, 2001, HÜBL, 2000).

Das so gereinigte **Rauchgas** wird in die Rauchgasreinigungsanlage der Drehrohrofenanlage der Fernwärme Wien eingespeist und gemeinsam mit diesen Rauchgasen weiter behandelt. Diese Rauchgasreinigungsanlage umfasst Elektrofilter, Rauchgaswäscher und Aktivkohlefilter– siehe dazu auch Pkt. 3.1.2.3 - Anlage der Fernwärme Wien, Seite 36.

Nach Angaben eines Vertreters der Firma Chemtec beträgt die Quecksilberabscheiderate der eigenen Anlage zwischen **80 und 90 %**. Verbleibende Quecksilberreste werden wie andere Schwermetalle und ggf. vorhandene gasförmige Schadstoffe in der vierstufigen Nasswäsche-Anlage der Fernwärme-Anlage abgeschieden. Die hier aus dem Rauchgas entfernten und in wässriger Lösung vorliegenden Schadstoffe werden in einer Abwasserbehandlungsanlage ausgefällt und mit Kammerfilterpressen entwässert. Der Filterkuchen wird auf inländische Deponien der Eluatklasse III verbracht (MA 48, 1998).

➤ **Vorbehandlung**

Nach Angaben eines Vertreters der Firma Chemtec ist keine Vorbehandlung (z.B. Vorzerkleinerung, Anbohren) von quecksilberhaltigen Bauteilen erforderlich. Auch ummantelte Bauteile würden wie Batterien bei den Temperaturen im Drehrohr von ca. 750 °C bersten.

Glasummantelte Bauteile würden direkt in das Drehrohr aufgegeben werden. Andere Bauteile könnten – wenn Bedarf besteht - mit dem vorhanden Shredder auf eine Stückgröße von rd. 11 mm vorzerkleinert werden.

➤ **Produkte / Reststoffe**

Das abgeschiedene Quecksilber liegt als metallisches Quecksilber mit hoher Reinheit vor. Es wird an Quecksilberrecyclingbetriebe weitergeleitet, welche die Reinstdestillation durchführen.

Die Produkte der Behandlung (Eisen, Kupfer, Zink- und Manganhydroxid) enthalten nach Angaben eines Vertreters der Firma Chemtec keine Quecksilberrückstände und können direkt vermarktet werden.

➤ **Übernahmepreise**

Die Übernahmepreise für quecksilberhaltige Bauteile aus Elektroaltgeräten werden mit **ATS 15,- bis ATS 35,- pro kg** kalkuliert und werden sich nach der Qualität und dem Quecksilbergehalt und den angelieferten Mengen richten.

Quecksilberhaltige Bauteile werden sowohl als Einzelfractionen wie z.B. Bauteile mit Quecksilber in Glasröhren und metall- sowie kunststoffummantelte Schalter als auch als Mischfractionen übernommen werden.

Die endgültige Festsetzung des Übernahmepreises wird nach Übergabe eines Musters und Bestimmung des Quecksilbergehaltes erfolgen. Es ist nicht geplant, eine Mindestmenge für die Anlieferung vorzugeben.

➤ **Prognosen**

Nach zweijährigem Probelauf, Darlegung der Funktionstüchtigkeit der Anlage und Übergang in den Normalbetrieb der Batterierecyclinganlage soll neben der Übernahme von Batterien auch die Übernahme von quecksilberhaltigen Abfällen und hier auch von quecksilberhaltigen Bauteilen aus Elektroaltgeräten aktiv aufgenommen werden.

Gegenüber anderen Entsorgungsverfahren, wie der Untertagedeponierung, wird die Rückgewinnung von Quecksilber als anlagenspezifischer Vorteil gesehen. Insbesondere dann, wenn durch entsprechende Vorgaben der Verwertung von quecksilberhaltigen Abfällen unter Rückgewinnung des Quecksilbers der Vorzug gegenüber einer Beseitigung gegeben wird, werden Marktpotentiale für die Übernahme von quecksilberhaltigen Abfällen gesehen.

3.3.3.2 Firma BATREC

Die Firma Batrec AG in Wimmis, Schweiz betreibt eine **Batterierecyclinganlage** mit einer Jahreskapazität von 3.000 t (vgl. Pkt. 3.1.2.1, Seite 33). In dieser Anlage können alle Batterie- und Akkumulatorarten und Knopfzellen aufgearbeitet werden. Weiters werden alle Arten an quecksilberhaltigen Bauteilen und Kondensatoren (sh. Pkt. 3.2.5, Seite 54) aus Elektroaltgeräten übernommen (BATREC, 2001).

➤ **Behandlungsanlage**

Die Batrec-Anlage wurde unter Pkt. 3.1.2.1 beschrieben. Wesentlich für die Behandlung von quecksilberhaltigen Abfällen ist, dass Quecksilber auch aus stark ummantelten Teilen zu 100 % abgeschieden wird (Schachtofen, Schmelzofen) und durch die Quecksilber-Abscheidung und Rückführung der Schlämme aus der Abwasserreinigungsanlagen in den Ofenprozess zu 100 % abgeschieden wird.

➤ **Übernahme von quecksilberhaltigen Bauteilen aus EAG**

Quecksilberhaltige Bauteile aus der Demontage von Elektroaltgeräten können als Einzelfractionen, als Mischfractionen von quecksilberhaltigen Bauteilen oder als Mischfraction von quecksilberhaltigen Bauteilen und Kondensatoren übernommen werden.

Nach Angaben der Firma Batrec wurden im Jahr 2000 rund 200 kg quecksilberhaltige Abfälle übernommen.

➤ **Vorbehandlung**

Nach Angaben eines Vertreters der Firma Batrec ist für die meisten quecksilberhaltigen Abfälle und Bauteile keine Vorbehandlung erforderlich. Diese Teile werden im Schachtofen bei 700 °C aufgeschlossen.

Für dickere quecksilbergefüllte Schalter (d.h. wo Quecksilber in eine Glasröhre eingefüllt ist) wird eine eigene Vorbehandlungsstufe betrieben, die im wesentlichen einen Brecher und Destillationsanlage umfasst.

Metall- oder kunststoffummantelte quecksilberhaltige Bauteile müssen nicht vorbehandelt werden, sondern werden in den Schachtofen eingebracht. Kunststoff wird pyrolysiert, Metalle werden entweder im Schachtofen oder im Induktions-Schmelzofen gesichert geschmolzen und Quecksilber verdampft und abgeschieden.

➤ **Produkte / Reststoffe**

Das abgeschiedene **Quecksilber** liegt mit einer Reinheit von 99,99 % vor und wird an Spezialfirmen zur weiteren Aufarbeitung (Reinstdestillation) weitergeleitet.

Hauptprodukte sind Ferromangan und Zink. Ferromangan wird als Legierungsstoff für die Stahlherstellung verkauft, Zink mit geringen Anteilen an Nickel und Cadmium wird über Metallhändler auf dem Weltmarkt verkauft. Als **Reststoff** fällt Schlacke mit einem Anteil von rd. 3 % an. Diese wird auf Schweizer Deponien abgelagert

➤ **Übernahmepreise**

Als Übernahmepreise für quecksilberhaltige Abfälle wird der Bereich von SFr 2,50 und SFr 10,- pro kg genannt. Sie sind von der Materialqualität und dem Sortieraufwand abhängig. Für quecksilberhaltige Bauteile aus der Demontage von Elektroaltgeräten liegen die Übernahmekosten zwischen **SFr 4,- bis SFr 6,- pro kg**.

3.3.4 Thermische Entsorgung

Quecksilberhaltige Abfälle gelten als gefährlicher Abfall, deren thermische Behandlung darf nur in dafür genehmigten Anlagen durchgeführt werden. Bei der in Österreich verfügbaren Anlage zur thermischen Entsorgung für gefährliche Abfälle, der **Fernwärme Wien, Simmering** (vormals **EBS**) – siehe Pkt. **3.1.2.3**, Seite **36** - werden quecksilberhaltige Abfälle **nur nach Anfrage** übernommen. Die Übergabe eines Musters der Abfälle ist erforderlich und es wird eine Analyse des Abfalls durchgeführt.

Der **Übernahmepreis** richtet sich nach dem Quecksilbergehalt und wird mit Preisen bis **ATS 30,- pro kg** angegeben (hinzu kommen die Analysekosten).

Prinzipiell werden quecksilberhaltige Abfälle nur unter Vorbehalt übernommen und es wird nach Angaben einer Vertreterin der Fernwärme Wien an Quecksilberrecyclingbetriebe verwiesen. Der Grund dafür liegt darin, dass innerhalb der Anlage der Fernwärme Wien (EBS) keine Quecksilberrückgewinnungsstufe in die Rauchgasreinigungsanlage integriert ist (FERMWÄRME WIEN, 2001).

Quecksilber wird wie andere Schwermetalle und ggf. vorhandene gasförmige Schadstoffe in der vierstufigen Nasswäsche-Anlage abgeschieden. Die hier aus dem Rauchgas entfernten und in wässriger Lösung vorliegenden Schadstoffe werden in einer Abwasserbehandlungsanlage ausgefällt. Der Schlamm aus der Abwasserbehandlungsanlage wird mit Kammerfilterpressen entwässert. Der Filterkuchen wird auf inländische Deponien der Eluatklasse III verbracht (MA 48, 1998). Grenzwerte für Quecksilber sind bei dieser Art der Klassifizierung (ÖNORM S 2072) und bei der zukünftigen Einstufung der Abfälle im Sinne der Deponieverordnung einzuhalten.

3.3.5 Untertagedeponierung

In den Untertagedeponien (UTD) Deutschlands werden quecksilberhaltige Abfälle übernommen. Es handelt sich hierbei jedoch um Abfälle mit einem höheren Mengenaufkommen, welche möglichst homogen sein sollen (z.B. quecksilberbelastete Aufsaugmassen). Entscheidend für eine mögliche Ablagerung in Untertagedeponien ist weniger der Schadstoffgehalt von Abfällen (Abschluss der UTD von der Umgebung, langfristiger Einschluss der Abfälle in den Salzstock etc.) als die Frage des **Personenschutzes** in den UTD. Demnach gelten strenge Übernahmeverbindungen bezüglich der Reaktionsfähigkeit von Abfällen (vgl. Pkt. **3.1.3**, Seite **38** - UTD).

Die Abfälle werden nach Stoffgruppen getrennt abgelagert. Vor der Erstanlieferung ist eine detaillierte Untersuchung der Abfälle erforderlich, die einzelnen Anlieferungen werden beprobt.

Bei der UTD **Herfa-Neurode** (vgl. Pkt. 3.1.3.3) wird die Übernahme von Abfällen einerseits durch eine **Mindestmenge von 1 t** pro Anlieferung eingeschränkt. Andererseits dürfen nach den allgemeinen Einlagerungsbedingungen keine „Abfälle aus Sammlungen (undefinierbare Mischungen)“ eingelagert werden (K+S (2), 2001). K+S gibt als Beispiele für Abfälle, welche unter der Stoffgruppe quecksilberhaltigen Abfälle abgelagert werden, an:

- Reste aus den Recyclingverfahren für Hg-Batterien
- Hg-haltige Rückstände aus der Erdgasaufbereitung
- Rückstände aus der Chlorelektrolyse

In der UTD **Heilbronn** dürfen gemäß der Liste der zugelassen Abfälle „Leuchtstoffröhren und andere quecksilberhaltige Abfälle“ der Kategorie „Getrennt gesammelten Fraktionen“ unter der Abfallschlüsselnummer 20 01 21 abgelagert werden (UEV (1), 2001). Aus Österreich werden Abfälle zur Ablagerung jedoch nur über deren **Exklusivpartner**, die Firma **ASA** in Himberg übernommen.

Nach Angaben eines Vertreters der Firma **ASA** könnten quecksilberhaltige Abfälle aus dem Bereich der Elektroaltgeräte in der Funktion als Sammler für gefährliche Abfälle übernommen werden. Innerhalb des Unternehmens würden diese jedoch sortiert werden. Jene Teile, die flüssiges metallisches Quecksilber enthalten, würden jedenfalls einem Verfahren zur Rückgewinnung von Quecksilber zugeführt werden.

Für Teile, bei denen das Quecksilber z.B. in Kunststoff eingeschlossen ist, würde vorab versucht werden, sie an einen Quecksilberrecyclingbetrieb weiterzuleiten.

Die Weiterleitung von solchen Teilen in die Untertagedeponie wäre prinzipiell möglich. Es wäre jedoch jedenfalls eine **Einzelgenehmigung** für die Ablagerung erforderlich und es wären besondere Vorkehrungen bezüglich Verpackung, das ggf. erforderliche Beifügen von Bindemitteln o.ä. zu berücksichtigen. All diese Fragen wären vor dem Hintergrund des potentiellen Aufkommens (d.h. der regelmäßig anfallenden Menge) an solchen Abfällen zu beantworten.

Nach Angaben des Vertreters der Firma ASA, der für die Behandlung (Verwertung und / oder Entsorgung) aller gefährlichen Abfälle zuständig ist, wurde bei der Firma ASA noch nie die Übernahme von quecksilberhaltigen Bauteilen aus Elektroaltgeräten angefragt.

Nach Informationen der Anlagenbauer und –betreiber von Quecksilberrecyclinganlagen in **Deutschland**, hat sich in Deutschland die gezielte Aufarbeitung von quecksilberhaltigen Materialien durchgesetzt und es werden nach deren Abschätzungen nur **geringe Anteile** an quecksilberhaltigen Abfällen in Untertagedeponien verbracht (vgl. Pkt. 3.2.7 - Untertagedeponierung von Kondensatoren, hohe Anteile in UTD)

3.3.6 Überblick Technologien und Kosten

Die Tabellen Tab. 3.4 und Tab. 3.5 sollen einen Überblick über die angeführten Verfahren zur Behandlung von quecksilberhaltigen Bauteilen bieten. In Tab. 3.4 wurde eine Bewertung aus abfallwirtschaftlicher Sicht mit aufgenommen.

In Tab. 3.5 wurde durch eine Farbkennung unterschieden, ob quecksilberhaltige Bauteile als Einzelfractionen (d.h. sortiert) (Kennung gelb) oder als Mischfraction von quecksilberhaltigen Bauteilen übergeben werden können (Kennung grün). Für Verfahren, für die keine Relevanz gesehen wird, wurden die Übernahmepreise in Klammer gesetzt (Kennung weiss).

Es zeigt sich, dass die aus abfallwirtschaftlicher Sicht positiv eingestuften Verfahren, vergleichbare Übernahmepreise aufweisen. Diese Anlagen verfügen über ausreichende Kapazitäten für die Behandlung von quecksilberhaltigen Bauteilen aus Elektroaltgeräten.

BEHANDLUNGSMÖGLICHKEITEN FÜR DEFINIERTE BAUTEILE AUS ELEKTROALTGERÄTEN

Prinzip	Verfahren	Status (Land)	Vorteil	Nachteil	AW
Vorbereitung					
Abtrennung von flüssigem Quecksilber	manuelle Abtrennung	wird durchgeführt	Abtrennung von Quecksilber zur nass-chemischen Reinigung und Reinstdestillation, geringere Mengen zur weiteren Behandlung	Verbleib der quecksilberkontaminierten Reststoffe zu hinterfragen	+
Behandlung					
Destillation unter vermindertem Druck (Vakuumdestillation)	einfache Vakuumdestillation ohne Oxidationsstufe	in Betrieb (A)	Abtrennung von Quecksilber aus Bauteilen - anorganischen	für quecksilberhaltige Abfälle mit organischen Komponenten nicht geeignet	++
	VTR-Verfahren	in Betrieb (D)	Rückgewinnung von Quecksilber in hoher Qualität	Glas als Sonderabfall entsorgt	++
	VTR-Verfahren - Maximum	in Betrieb (D)	Rückgewinnung von Quecksilber in hoher Qualität, Glas-Reststoffe soweit abgereinigt dass für "Hausmüll"-Deponie geeignet		+++
	MRT-Verfahren	in Betrieb (D) - derzeit nur für Knopfzellen angewandt			
Thermische Behandlung mit gezielter Hg-Rückgewinnung	Hg-Abtrennung und Hg-Abscheidung	in Betrieb (A)	vollständige Hg-Abtrennung 80 - 90 %-ige Rückgewinnung von Hg	Hg-Reste in Abluft, in der Rauchgasreinigung der Fernwärme Wien abgeschieden	++
	Hg-Abtrennung, Hg-Abscheidung und Hg-Kreislaufführung	in Betrieb (CH)	vollständige Hg-Abtrennung und -Abscheidung		+++
Thermische Entsorgung als gefährlicher Abfall		in Betrieb (A) - Übernahme unter Vorbehalt		keine gezielte Hg-Rückgewinnung, Hg im Filterschlamm	o
Entsorgung in Untertagedeponien		in Betrieb (D) - Übernahme unter Vorbehalt		keine Hg-Rückgewinnung, Einzelgenehmigung erforderlich, in D als Zwischenlagerung von Abfällen eingestuft	o

Tab. 3.4: Überblick – Verfahren zur Behandlung von quecksilberhaltigen Bauteilen

Firma	Verfahren	Anmerkung Fraktion	ATS/kg		€/kg	
			von	bis	von	bis
Kraner GmbH	einfache Vakuumdestillation ohne Oxidationsstufe	Einzelfraktionen sortiert		72,5		5,3
	Sortierung -> Abtrennung von flüssigem Hg, Weiterleitung organische Bauteile und Reststoffe	Mischfraktion Teile		200,0		14,5
NQR	VTR-Verfahren	Hg-Schalter Glasausführung		59,9		4,4
		Hg-Schalter Gehäuseausführung		119,6		8,7
GMR	VTR-Verfahren - Maximum	Hg-haltige Bauteile - Einzelfraktionen sortiert (ab 20 kg)	59,5	87,5	4,3	6,4
		Hg-haltige Bauteile - vermischt (Glas, Metall, Kunststoff)		140,0		10,2
Trienekens	MRT-Verfahren - derzeit nur Knopfzellen aufgearbeitet, Hg-Bauteile Weiterleitung	Mix Hg-haltige Bauteile in 30/60l Fass		(122)		(8,9)
Chemtec	Thermische Behandlung mit Hg-Abtrennung und -Abscheidung	Einzel- und Mischfraktionen	15,0	35,0	1,1	2,5
BATREC	Thermische Behandlung mit Hg-	Hg-Bauteile aus der Demontage	32,0	48,0	2,3	3,5
Fernwärme Wien (ehem. EBS)	Thermische Entsorgung als gefährlicher Abfall	nur nach Anfrage / Muster / Analyse		(30)		(2,2)
K+S	Entsorgung in Untertagedeponien	Mindestmenge 1 t		(3,3)		(0,24)
ASA --> Hg-Rec od. UEV	Sortierung -> Recyclingverfahren oder Untertagedeponierung	Mischfraktion - Übernahmekosten	40,0	50,0	2,9	3,6

Tab. 3.5: Überblick – Übernahmekosten für quecksilberhaltige Bauteile

3.4 Verfahren zur Behandlung von Flüssigkristallanzeigen (LCD)

Bei den Verfahren zur Behandlung von LCD ist die derzeit laufende Diskussion betreffend der Schadstoffrelevanz der Flüssigkristallsubstanzen zu berücksichtigen – siehe aktuelle Ergebnisse unter Pkt. 2.1.3.2.

Als LCD werden hier die sandwich-artig aufgebauten Teile aus Glas, Folien und Flüssigkristallbereich verstanden (sh. Abb. 2.1 und Erläuterungen auf Seite 14) jedoch **ohne die Leuchtstoffröhre** für die Hintergrundbeleuchtung. Diese potentiell quecksilberhaltige Leuchtstoffröhre (siehe Erläuterungen Seite 16) ist entweder getrennt zu erfassen und einer entsprechenden Behandlung zuzuführen oder die gesamte LCD ist als potentiell quecksilberhaltig zu behandeln.

3.4.1 Vakuumthermische Abtrennung und katalytische Umsetzung der Flüssigkristallsubstanzen

Die VICOR - Video Computer Recycling - GmbH in Berlin ist ein mittelständiges Unternehmen, dessen Mitarbeiter im wesentlichen aus der Optoelektronik hervorgegangen sind und jahrzehntelange Erfahrung auf dem Gebiet der Herstellung von optoelektronischen Bauelementen in das Unternehmen einbringen. Das Unternehmen wurde im Mai 1992 gegründet und begann mit der Entwicklung von Recyclingverfahren für Bildröhren.

VICOR GmbH Wilhelminenhofstraße 76/77 D - 12459 Berlin Tel.: 0049/30/538800-0 Fax: 0049/30/538800-12 vicoffice@vicor-berlin.de www.vicor-berlin.de
--

Heute reicht das Leistungsangebot der VICOR GmbH von der Behandlung von Bildröhren und Elektronikschrott über die Lieferung und den Aufbau komplexer Recyclinganlagen bis zur Neuentwicklung von Recyclingverfahren. Die VICOR GmbH bietet alle Technologien und Ausrüstungen zum Kauf an, betreibt die Anlagen am Standort Berlin jedoch auch selbst.

Das Angebot an Recyclingtechnologie umfasst Anlagen zur

- Zerlegung von kompletten Geräten,
- Trennung der verschiedenen Glassorten bei Bild - und Spezialröhren,
- Rückgewinnung von bleihaltigem Bildröhrenkonusglas,
- **Aufarbeitung von Flüssigkristalldisplays (LCD)**,
- Rückgewinnung von Polyvinylbutyral (PVB) aus Autoglasscheiben.

Als wesentlicher Vorteil wird bei VICOR angesehen, dass alle entwickelten Recyclingtechnologien auch am Standort Berlin als Entsorgungsunternehmen betrieben werden. So können Erfahrungen aus dem Recycling schnell und kurzfristig in neue Anlagen umgesetzt und neue Ideen im eigenen Recyclingbetrieb auf ihre Praxistauglichkeit überprüft werden.

➤ LCD-Recyclinganlage

Unter Nutzung der eigenen Kenntnisse aus der LCD-Bauelementefertigung hat das Unternehmen VICOR eine Technologie zur Behandlung von LCD-Bauelementen entwickelt. Die Technologie beruht auf einem **thermischen Verfahren**, bei dem die Flüssigkristall-(LC)-substanzen vollständig von den übrigen Materialfraktionen (Glas, Polarisationsfolie) getrennt werden. Die dabei frei werdenden LC-Substanzen werden in einem Katalysator zu anorganischen Stoffen umgesetzt. Die Aufarbeitung der LCD umfasst die folgenden Verfahrensschritte:

- Demontage
- mechanische Zerkleinerung
- LC – Entfernung und katalytische Umsetzung der LC - Substanzen
- Separation der Glasfraktion.

Die **Demontage** erfolgt weniger verfahrensspezifisch als vielmehr nach den Gegebenheiten der zu entsorgenden Geräte an Demontageplätzen. Hier werden die LCD-Bauelemente von allen Elektronikbauteilen befreit.

Anschließend werden die demontierten LC-Anzeigen **mechanisch zerkleinert**. Die hierfür entwickelte Vorrichtung kann in den Demontageplatz integriert werden. Sie ist vollständig gekapselt, so dass die demontierende Arbeitskraft nicht mit den LC und mit Glasbruch in Berührung kommt. Die LC-Anzeigen werden in einen Einwurfschacht eingeworfen, die gebrochenen LCD werden in den Behältern der Verfahrensstufe LC-Entfernung gesammelt.

Die **Entfernung der LC** erfolgt durch thermische Behandlung unter Vakuum. Das LCD-Material wird als Schüttgutschicht auf Tablettträgern im Ofenraum platziert (siehe Bild 3.1) und nach einem Temperaturprogramm aufgeheizt. Infolge des unterschiedlichen thermischen Verhaltens von Glas und Polarisationsfolie erfolgt eine Auflockerung der Schichten, wodurch die LC-Entfernung erleichtert wird. Durch Nutzung des Vakuums kann bei wesentlich niedrigeren Temperaturen (bei ca. 200 °C) gearbeitet werden, wodurch die Bildung von unerwünschten Reaktionsprodukten vermieden und der Energieaufwand verringert werden kann.



Bild 3.1: Einbringen der LCD-Materialien in den Ofen der Firma VICOR

Die **katalytische Umsetzung der LC-Substanzen** erfolgt unter flammfreier, katalytischer Verbrennung. Durch entsprechende Sicherheitsschaltungen ist garantiert, dass die LC nur dann dem Katalysator zugeführt werden, wenn sich dieser innerhalb des optimalen Temperaturbereichs befindet, in dem eine qualitative Zersetzung zu Wasser und Kohlendioxid gewährleistet wird. Anorganische Verbrennungsprodukte werden über eine regenerierbare Absorberwabe aus der Abluft entfernt. Die Abluft wird gekühlt und über einen Aktivkohlefilter geleitet.

Nach erfolgter thermischer Umsetzung der LC-Substanzen und Abkühlung des verbliebenen Glas-Polarisationsfolie-Verbundes kann dieses Material je nach angestrebten Verwertungsweg als Mischfraktion (d.h. unveränderter Verbund aus Glas und Polarisationsfolie) weitergeleitet werden oder es wird mit dem Ziel der **Rückgewinnung der Glasfraktion** weiterbehandelt und separiert.

Hierfür werden die Verbundmaterialien nochmals **mechanisch aufgearbeitet**. Die Polarisationsfolie ist infolge der thermischen Behandlung soweit versprödet, dass durch eine erneute mechanische Bearbeitung eine weitgehende Trennung von Glas und Folie erzielt werden kann. Das so gewonnene Glas kann einer Verwertung in der glasverarbeitenden Industrie zugeführt werden. Die teilweise mit Glasresten versehene Polarisationsfolie ist einer energetischen Verwertung zuzuführen oder zu deponieren (BLECHSCHMIDT, 1998, VICOR, 2001). Abb. 3.12 zeigt diese Verfahrensschritte im Überblick.

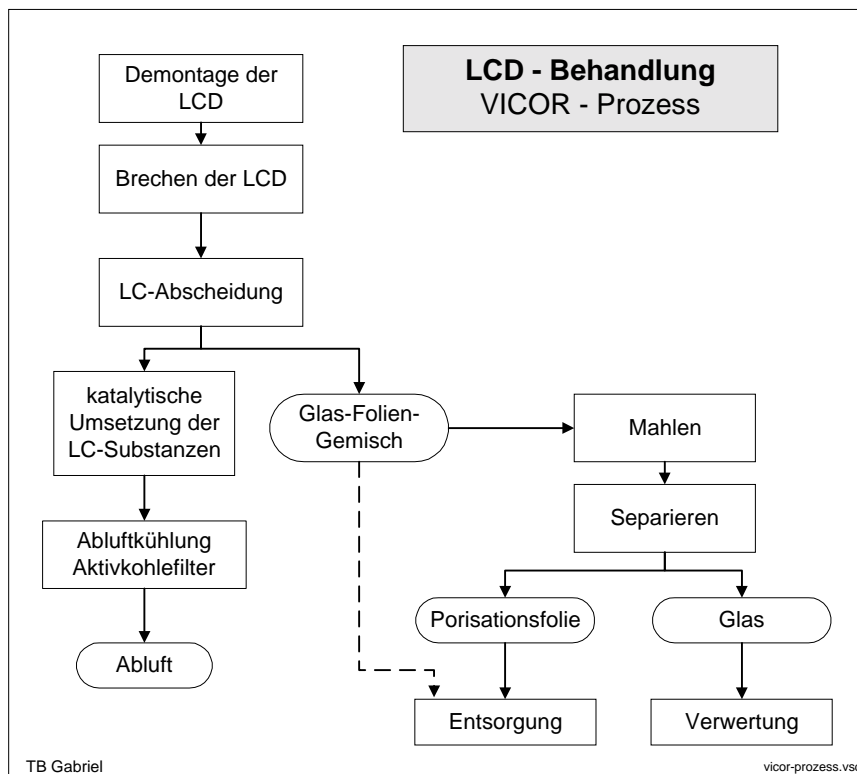


Abb. 3.12: Behandlung von LC-Anzeigen – VICOR Prozess (nach BLECHSCHMIDT, 1998)

Die Kern-Verfahrensschritte LC-Entfernung und katalytische Umsetzung der LC-Substanzen haben eine Zykluszeit von **einer Stunde**. Bei einer Chargengröße von 10 kg LCD bei z.B. 5 Zyklen pro Arbeitsschicht könnten im Einschichtbetrieb **10 t LCD jährlich** behandelt werden. Größere Anlagen mit einer Chargengröße von 50 kg sind ebenfalls verfügbar (siehe Tab. 3.6). Geht man davon aus, dass das Durchschnittsgewicht einer LCD eines Laptops 500 g beträgt (sh. Tab. 2.2, Seite 16), würde ein Jahresinput von 10 t einem Aufkommen rund **20.000 Stück LCD** dieser Größenordnung bedeuten.

Anlagentyp	LCD-10	LCD-20
Abmessung (mm)	1400 x 700 x 1900	1400 x 700 x 1900
Versorgungsleistungen	230 V / 16 A / 50/60 Hz, 3.6 kW	230 V / 16 A / 50/60 Hz, 5.0 kW
Leerwert bei 200 °C	< 450 W	< 900 W
Druckluft	0.6 MPa, ca. 50 l/min	0.6 MPa, ca. 50 l/min
Spezialausrüstungen	x	x
Schutzgrad	IP 54	IP 54
mittlere Menge / h	10 kg	50 kg
Bedienpersonal	1	1

Tab. 3.6: LCD-Behandlungsanlagen der Firma VICOR

Nach Angaben der Firma VICOR wurden bereits 3 Anlagen in den fernöstlichen Raum verkauft, wobei es sich hier sowohl um Recyclingbetriebe aus Unternehmen im Umfeld von Herstellern handelt. In Europa ist nur die Anlage am Standort in Berlin in Betrieb. Bild 3.2 zeigt eine Anlage.



Bild 3.2: Anlage zur Entfernung und katalytischen Umsetzung von LC-Substanzen (Quelle: VICOR, 2001)

➤ **Investitions- und Behandlungskosten**

Die **Investitionskosten** für eine Anlage der Type LCD-20 (vgl. Tab. 3.6) in der Standardausstattung (ohne Zerkleinerungseinheit) betragen **ca. 110.000 DM**. Für die Zerkleinerungseinheit sind rd. DM 27.000,- hinzurechnen.

Die **Übernahmekosten** für LCD in Kleinmengen belaufen sich auf **DM 5,- pro kg**, bei höheren Liefermenge werden entsprechende Preisnachlässe gewährt. Der Minimalpreis liegt bei rd. DM 3,- pro kg.

➤ **Prognosen**

Derzeit werden in Deutschland v.a. auch vor dem Hintergrund der heftigen Diskussion über den Schadstoffgehalt von LCD nur geringe Mengen angeliefert.

Chancen für diese Technologie werden vor allem dann gesehen, wenn einerseits der Schadstoffgehalt der LCD anerkannt wird und wenn auch die Fragen von erzielbaren Verwertungsquoten mitbetrachtet werden (vgl. durch dieses Verfahren könnte der Hauptanteil der LCD, das Glas, einer stofflichen Verwertung zugeführt werden).

3.4.2 Thermische Behandlung der LCD

3.4.2.1 Verhalten von LC und LCD bei der thermischen Behandlung

Nach Angaben des weltweit führenden Herstellers für Flüssigkristalle würden **Flüssigkristalle** (LC), wie alle organischen Materialien, bei Verbrennungstemperaturen von min. 800 °C vollständig in die Reaktionsprodukte Kohlendioxid, Wasser, Stickoxide sowie Fluorwasserstoff (HF) und in sehr geringem Maße Chlorwasserstoff (HCl) überführt werden. Andere Elemente seien in Flüssigkristallen nicht enthalten.

Im Bezug auf die thermische Zersetzung der LC-Substanzen müssten die thermischen Behandlungsanlagen diesen Temperaturbereich erreichen bzw. überschreiten und mit entsprechenden Rauchgasreinigungseinrichtungen zur **Abscheidung der Fluor- und Chlorwasserstoffe** verfügen.

Zur Verbrennung von LCs bei Temperaturen unterhalb der oben genannten 800 °C liegen nach Angaben von Merck keine Untersuchungen vor. Dieser Fall könnte allenfalls bei unkontrollierten Bränden entstehen, wo auf Emissionen aus der Zersetzung der Kunststoffe bzw. Gerätegehäuse das Hauptaugenmerk zu legen sei und die verschwindend geringen Flüssigkristallmengen im Innern eines LCDs keine zusätzliche Gefahr darstellten. Flüssigkristalle beginnen sich aufgrund ihrer hohen chemischen Stabilität erst bei 200 °C und mehr zu zersetzen (BECKER, 2001).

Zur Frage der thermischen Behandlung von **ganzen LCDs** ist zu berücksichtigen, dass es sich hierbei um einen vielschichtig aufgebauten Bauteil handelt, deren Kern das **LC-Panel** darstellt, das aus rd. 86 % Glas, rd. 13,6 % unterschiedlichen Kunststoffschichten und Indium-Zinnoxid-Elektroden (ITO-Schicht) (< 0,1 %) sowie den Bilddarstellungselementen (TFT) aus verschiedensten Metallen (Σ < 0,1 %) handelt. Diese LC-Panel ist mit Ansteuerungselementen (Leiterplatten) umfasst.

Mehrere weitere Kunststoffschichten bilden das Hintergrundbeleuchtungssystem und all diese Teile sind mit Kunststoffgehäuseteilen umfasst und bilden so das sogenannte **LCD-Modul**, was das Synonym für LC-Anzeigen (LCD) darstellt. Alle Einzelkomponenten werden als nicht gefährlich eingestuft (BECKER et al., 2000). In Summe bestehen LCD aus mind. 80 % Glas.

Die organischen Kunststofffraktionen würden zu den oben genannten Reaktionsprodukten umgesetzt. Das Glas und die anorganischen Bestandteile gingen in die Schlacke über (BECKER, 2001, EIAJ, 2001)..

Sowohl Hersteller von Flüssigkristallsubstanzen als auch LC-Anzeigen stimmen dem zu, dass potentiell **quecksilberhaltige Hintergrundbeleuchtungslampen** vor einer weiteren Behandlung getrennt zu erfassen sind. Für die Behandlung von LCD empfehlen sie derzeit die thermische Behandlung in Anlagen mit entsprechender Rauchgasreinigung als – das sicherste - Verfahren zur Entsorgung von LCD (BECKER et al., 2001).

3.4.2.2 *Thermische Entsorgung als gefährlicher Abfall*

LCD sind derzeit in **Österreich** als gefährlicher Abfall eingestuft (FestsetzungsVO, 2000) und dürfen demnach nur in thermischen Anlagen mit einer Genehmigung zur Behandlung dieser Abfallart behandelt werden. Die Anlage der Fernwärme Wien, Simmering (ehemals EBS) (siehe Pkt. 3.1.2.3) kann als Anlage zur thermischen Behandlung von gefährlichen Abfällen LCD übernehmen und verfügt über die Genehmigung zur Behandlung von LCD nach § 15 AWG.

Nach Angaben der Fernwärme Wien können LCD bis zu einer Abmessung von **40 cm** Kantenlänge (60 cm Schurre) als Schüttgut übernommen werden. Es werden Übernahmekosten von **ATS 9.800,- pro t** verrechnet (plus allgem. Gebühren siehe Pkt. 3.1.2.3).

Größere LCD müssten vom Kunden vorzerkleinert werden. Falls sich der Bedarf ergibt, könnten größere Anzeigen ggf. auch mit der Vorzerkleinerungseinheit für Kühlgeräte (eingehauster Shredder) zerkleinert werden. Die Behandlungskosten für diese zusätzliche Leistung werden derzeit mit rd. ATS 2,- pro kg abgeschätzt und müssten im Bedarfsfall genauer kalkuliert werden. Bisher gab es diesen Geschäftsfall noch nicht.

Im Drehrohrofen werden LCD nach Angaben einer Vertreterin der Fernwärme Wien bei einer Temperatur von rd. 1.200 °C vollständig ausgebrannt.

Glasabfälle werden generell zur Kontrolle der Verbrennungstemperatur und der Schlackenzusammensetzung eingesetzt. So dienen auch die silikatischen Komponenten der LCD als **Schlackebildner**. Gegebenenfalls entstehende Reaktionsprodukte aus der thermischen Umsetzung der verschiedenen Schichten des Mehrschichtverbundes werden über die Rauchgasreinigungsanlage abgeschieden.

3.4.2.3 *Thermische Behandlung mit anderen Abfallfraktionen*

In der **Schweiz** können LCD in den **Kehrichtverbrennungsanlagen** des Landes behandelt werden (SM-ALTDORF, 1998).

In **Deutschland** werden LCD in Anlagen zur thermischen Behandlung von Haus- oder Industriemüll eingesetzt (BECKER, 2001). Die LAGA EAG-Richtlinie gibt bei den speziellen Anforderungen an die Demontage von Elektro-Altgeräten vor, dass der Ausbau von LCD Modulen so zu erfolgen hat, dass eine Zerstörung der LCD und damit ein Austreten der Flüssigkristalle verhindert wird. Enthaltene quecksilberhaltige Leuchtsysteme sind auszubauen und getrennt zu entsorgen. LCD sind vorrangig über **Hausmüllverbrennungsanlagen** zu entsorgen (LAGA, 2000).

Die österreichischen Hausmüllverbrennungsanlagen sind mit einem vergleichbaren Standard ausgestattet und könnten demnach LCD unter Einhaltung der erforderlichen Verbrennungstemperatur und Abscheidung von Reaktionsprodukten thermisch behandeln.

3.4.3 Deponierung

Wie erwähnt, sind LCD in Österreich als gefährlicher Abfall eingestuft (FestsetzungsVO, 2000) und das Ablagern wäre demnach derzeit nur in einer Untertagedeponie für gefährliche Abfälle zulässig (AWG, 2000).

3.4.3.1 Untertagedeponien

Für die Ablagerung in Untertagedeponien gelten die Übernahme- bzw. Einlagerungsbedingungen der Betreiber der UTD (siehe dazu **Pkt. 3.1.3** – Untertagedeponien).

Da es sich bei LCD um keine Standardmaterialien für die Einlagerung in UTD handelt würde nach Auskunft der Firma ASA (Exklusivanlieferer für Abfälle aus Österreich zur UTD Heilbronn) eine **Einzelgenehmigung** für die Anlieferung erforderlich sein. Bisher seien an die Firma ASA als Sammler für gefährliche Abfälle jedoch erst selten Anfragen zur Übernahme von LCD und für geringe Mengen erfolgt und man würde aufgrund der organischen Anteile einer Entsorgung in einer thermischen Anlage den Vorzug geben. Das geringe **Mengenaufkommen** ist auch ein Grund, warum die Ablagerung in UTD derzeit als keine wirtschaftlich interessante Variante in Erwägung gezogen wird (im Vergleich zu der erforderlichen Einzelgenehmigung, Analysekosten etc.).

In der Liste der zugelassenen Abfälle für die Ablagerung in der **UTD Heilbronn** sind Flüssigkristallanzeigen i.e.S. nicht enthalten. Gegebenenfalls könnten sie unter die Abfallschlüsselnummer 16 05 03 „andere Abfälle mit organischen Chemikalien, z.B. Laborchemikalien a.n.g.“ zugeordnet werden.

In der **UTD Herfa-Neurode** gelten ähnliche Übernahmebedingungen. Weiters wird eine Mindestanliefermenge von **1 Tonne** vorgegeben.

3.4.3.2 Hausmülldeponien

In **Deutschland** ist die Entsorgung von LCDs auf Hausmülldeponien derzeit noch möglich (BECKER, 2000).

Zur Frage des Verhaltens von LCD in Deponien legte Merck eine Untersuchung vom Fresenius Institut vor, welches eine Mischprobe aus LCD unterschiedlicher Hersteller und verschiedener LC-Typen bzw. -Mixturen einer Eluatuntersuchung unterzogen hat. Die Eluatgehalte aller Parameter, die entweder in der TA Abfall oder TA Siedlungsabfall zur Analyse vorgegeben sind, wurden deutlich unterschritten und es wurde die Deponierfähigkeit auf einer Hausmülldeponie bestätigt (BECKER et al., 2000).

3.4.4 Alternative Verwertungstechnologien

Die Hersteller von Flüssigkristallsubstanzen und LC-Anzeigen führen derzeit folgende mögliche alternative Verwertungstechnologien an:

- den Einsatz in der Glasindustrie
- den Einsatz in der Keramikindustrie

Hierzu laufen jedoch erst erste Vorgespräche der Hersteller mit den jeweiligen Verwertungsbetrieben und es liegen keine Angaben zur Umsetzbarkeit von.

Im Bezug auf die **Schadstoffrelevanz** würden beim **Glasrecycling** und bei den dort herrschenden Temperaturen (min. 1200 °C) die Flüssigkristalle und alle anderen organischen Bestandteile vollständig verbrennen. Fluor und Chlor würden chemisch im Glas gebunden werden, in dem sie ohnehin enthalten sind.

Probleme ergeben sich jedoch aus der stark **unterschiedlichen Zusammensetzung** des Glases der unterschiedlichen Hersteller und dass insbesondere in TFT-Bildschirmen **Borsilikate** verwendet werden.

Derzeit wird auf Ebene von ORGALIME darüber diskutiert, die Glaszusammensetzung der Hersteller zu vereinheitlichen (Anm.: Berücksichtigt man, wie lange diese Diskussionen bereits im Bereich der Kathodenstrahlröhren laufen, ist dieser Ansatz nur sehr langfristig zu sehen).

Es wird darauf hingewiesen, dass der Welt-Gesamteinsatz an LCD-Glas derzeit einer Menge von 20.000 t entspricht und dass diese geringe (weltweit verteilte) Menge beim Aufbau von Systemen zur stofflichen Verwertung zu berücksichtigen ist.

Berücksichtigt man auch den Aufbau als **Mehrschichtverbund** von Glas, Kunststoffen und anderen Materialien (und die teils negativen Erfahrungen aus der Aufarbeitung von Windschutzscheiben, wo die Kunststofffolien im Verbundglas lange Zeit die Verwertung ver- bzw. behinderten und der Absatz noch immer schwierig ist), sind die **Chance** für eine kurz- bis mittelfristige Umsetzung dieser Verwertungsoption als **sehr gering einzustufen**.

Der Einsatz in der **Keramikindustrie** wird lediglich als eine Option genannt. Dazu liegen **keine Erfahrungswerte** vor. Die Probleme die für den Einsatz beim Glasrecycling gelten, gelten auch hier. Das Glas aus LCD kann ggf. als eine Minorkomponente in einer größeren Menge an Glas eingesetzt werden (vgl. Studie Bildröhrenglas) und es ist nicht davon auszugehen, dass es als Einzelfraktion übernommen wird.

Inwieweit eine Vorbehandlung der LCD erforderlich ist, welche positiven oder negativen Auswirkungen die Inhaltstoffe aus LCD auf den Verfahrensprozess oder die Qualität der Produkte hätten, ist derzeit nicht bekannt.

In **Japan** werden seitens der LCD-Hersteller neue Verwertungswege gesucht, um insbesondere die **Produktionsabfälle** einer Verwertung zuzuführen. KURIYAMA et al., 2000 nennen die Möglichkeiten der

- Behandlung innerhalb des Zinkrecyclingprozesses
- Asche- bzw. Schlackeverglasung

Beim **Zinkrecyclingprozesses** werden Silikate zur Entfernung von Eisenmetallen eingesetzt. LCD-Panel-Glas (rd. 50 % SiO₂) kann als Alternative zur teilweisen Substitution von Siliziumsand verwendet werden. Die Entfernung der Polarisationsfolien ist nicht erforderlich. Die LCD-Panäle müssen vor dem Einsatz in dieser Technologie auf eine Stückgröße von < 10 mm zerkleinert werden.

Das LCD-Panel-Glas wird mit Filterstäuben aus der Metallhüttentechnologie, Kohle und Siliziumsand gemischt und in einem Schmelzofen bei 1.300 °C geschmolzen. Zink wird oxidiert und als Zinkoxid abgeschieden. Die Silikate reagieren mit den Eisenmetallen und werden als Schlacke abgeschieden. Diese Schlacke wird in der Zementindustrie eingesetzt. Die organischen Substanzen wie Flüssigkristalle, Polarisationsfolien und Harze werden vollständig thermisch umgesetzt (KURIYAMA et al., 2000). Enthaltene Metalle und Halogene sollten über das Rauchgasreinigungssystem des Zinkrecyclingbetriebes erfasst bzw. in die Schlacke eingebunden werden.

Im Bereich der **Asche- bzw. Schlackeverglasung** wird LCD-Panel-Glas bei der Einschmelzung der festen Reststoffe aus der Abfallverbrennung eingesetzt und dient im Schmelzofen (1.300 °C) zur Kontrolle des Silizium- Aluminium-Calcium-Verhältnisses. Die erzielte verglaste Schlacke wird im Straßenbau eingesetzt. Eine Vorbehandlung der LCD-Abfälle ist nicht erforderlich (KURIYAMA et al., 2000).

3.4.5 Überblick Technologien und Kosten

Tab. 3.7 gibt einen Überblick über die hier angeführten Verfahren zur Behandlung von LCD, die wesentlichen Vor- und Nachteile und die Übernahmekosten.

Verfahren	Status (Land)	Vorteil	Nachteil	AW	Kosten
Spezifische Behandlung der LC-Substanzen					
Vakuumthermische Abtrennung und katalytische Umsetzung der Flüssigkristallsubstanzen	Anlage in D in Betrieb, weitere Anlagen in Fernost	gezielte Abscheidung und Umsetzung der LC-Substanzen, Rückgewinnbarkeit von Glas	hohe Kosten	+++	ATS 21,- bis ATS 35,- pro kg
Thermische Behandlung der LCD					
Thermische Entsorgung als gefährlicher Abfall	in Betrieb	bei entsprechender Anlagenkonzeption und -führung Zerstörung organischer Schadstoffe, Glas als Schlackebildner	verwertbare Komponenten verloren	++	ATS 9,8 pro kg
Thermische Behandlung mit anderen Abfallfraktionen	in Betrieb (D, CH)	bei entsprechender Anlagenkonzeption und -führung Zerstörung organischer Schadstoffe, Glas als Schlackebildner, niedrige Kosten	verwertbare Komponenten verloren	++	nach Übernahmebedingungen
Deponierung					
Untertagedeponien	in Betrieb (D)	Abschluss gegen die Umwelt	als Zwischenlagerung eingestuft, Einzelgenehmigung erforderlich, Mindestmengen, verwertbare Komponenten verloren	-	rd. ATS 3,3 pro kg
Hausmülldeponien	in Betrieb (D)	niedrige Kosten	verwertbare Komponenten verloren	o	nach Übernahmebedingungen
Alternative Verwertungstechnologien					
Glasindustrie	Konzept - Hersteller	stoffliche Verwertung der Glasinhaltsstoffe	unterschiedliche Glaszusammensetzung, organische Anteile	++	k.A.
Keramikindustrie	Konzept - Hersteller		organische Anteile	o	k.A.
Zinkrecycling	in Japan für Produktionsabfälle	Substitution von anderen Si-haltigen Einsatzstoffen zur Abscheidung von Metallen	Vorzerkleinerung erforderlich	+	k.A.
Asche- und Schlackeverglasung	in Japan für Produktionsabfälle	Substitution von anderen Si-haltigen Einsatzstoffen		+	k.A.

Tab. 3.7: Überblick – Verfahren zur Behandlung von LCD

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

4.1 Genehmigung zur Behandlung der definierten Bauteile

Wie aus der Abfrage der Behandlernummern für PCB-haltige Kondensatoren, Elektrolytkondensatoren, quecksilberhaltige Bauteile und LCD-Anzeigen über den Umweltdatenverbund ersichtlich, verfügen in Österreich **sehr viele Betriebe** neben der Sammler- auch über die Behandlergenehmigung für die definierten Bauteile PCB-haltige Kondensatoren, Elektrolytkondensatoren, quecksilberhaltige Bauteile und Flüssigkristallanzeigen (LCD), obwohl sie diese Abfallarten entweder rein als Sammler übernehmen und weiterleiten (keine Behandlung durchführen) oder auch nur in einem sehr weiten Bereich etwas damit zu tun haben könnten (weder Sammlung noch Behandlung). Es gestaltet sich demnach als **sehr schwierig**, die in Österreich agierenden Behandler für diese Abfallarten auf Basis dieser Grundlage zu erheben.

Eine Frage, die hier nicht zur Diskussion steht ist, ob und inwieweit Betriebe aus dem Bereich des Sekundärrohstoffhandels oder der Autoverwerter eine **Sammlernummer** für diese Abfallarten benötigen oder ob diese nur in einem weiter gefassten Antrag z.B. für die Behandlung von Altfahrzeugen mitgegeben werden.

➤ Die Meinung der Autorin geht eher dahingehend, dass wenn Elektroaltgeräte oder eben Altfahrzeuge demontiert werden sollen, für diese Abfallarten eine Sammler- und Behandlergenehmigung erforderlich ist. Die daraus demontierten Teile werden von den jeweiligen Betrieben nicht getrennt übernommen – also keine Sammlung – sondern werden auf dem jeweiligen Betriebsgelände aus den oben genannte Abfallarten ausgebaut – nach der Interpretation der Autorin entstehen sie am Betriebsgelände und könnten mit der Abfallerzeugernummer weitergegeben werden. Als Sammler gelten nach der Interpretation der Autorin jene Betriebe, die diese separierten Abfallarten z.B. von den Demontagebetrieben übernehmen.

Eine wesentlichere Frage ist, ob für Betriebe, die ggf. als Sammler agieren, die Vergabe von **Behandlernummern** als gerechtfertigt erscheint, auch wenn sie die übernommenen Abfallarten in keiner Weise behandeln, sondern nur weiterleiten. Aus Recherchen zu anderen Fragestellungen geht hervor (z.B. Erhebung zur Behandlung von Altfahrzeugen), dass bei der Vergabe von Behandlernummern den jeweiligen Bundesländern höchst unterschiedlich vorgegangen wird. Zum Beispiel wird die Abfallbehandlernummer vergeben:

- rein **nach Ansuchen** (unabhängig davon, ob eine Behandlung tatsächlich erfolgt)
- immer wenn irgendeine **Behandlung** erfolgt (z.B. Demontage von gefährlichen Abfällen gilt als Behandlung)
- nur dann, wenn eine **umfangreiche Behandlung** erfolgt z.B. nicht bei der Demontage („Separation“) gefährlicher Abfälle sondern erst bei einer weiteren Behandlung der Fraktionen

➤ Nach der Meinung der Autorin sollten Behandlernummern nur für jene Betriebe vergeben werden, die für die Behandlung der jeweiligen Abfallart entsprechend ausgerüstet sind und Behandlungsschritte an der jeweiligen Abfallart durchführen wollen. Eine entsprechende Anlagen- bzw. Arbeitsplatzgestaltung, die Schulung des Personals und eine erforderliche Dokumentation wäre jedenfalls zu berücksichtigen.

Diese Frage ist insbesondere für die Behandlung von Bauteilen mit nachweislich **hohen Gehalten an gefährlichen Inhaltstoffen**, wie zum Beispiel bei der „Behandlung“ von quecksilberhaltigen Bauteilen wie z.B. das Aufbrechen von Schaltern und Entleerung von flüssigem Quecksilber (d.h. Gefahr der Bildung von Quecksilberdämpfen bei unsachgemäßer Vorgangsweise etc.) zu klären.

4.2 Behandlung von Kondensatoren

Kondensatoren aus der Demontage aus Elektroaltgeräten werden in Österreich derzeit als **Mischfraktion** von potentiell PCB-haltigen Kondensatoren und Elektrolytkondensatoren erfasst.

Das Aufkommen an Kondensatoren aus Elektroaltgeräten kann mit **rd. 110 t** abgeschätzt werden, in Zukunft ist auf Grund des Rückgangs des Aufkommens an PCB-haltigen Kondensatoren (Verbot des Einsatzes seit längerer Zeit) und der Miniaturisierung von anderen Kondensatoren unter derzeit gültigen Vorgaben für eine Demontage (> 25 mm Kantenlänge) mit einem **sinkenden Aufkommen** zu rechnen.

Die Mischfraktion an Kondensatoren wird derzeit zum überwiegenden Anteil an die in **Österreich** verfügbare Anlage zur **thermischen Behandlung** von gefährlichen Abfällen (Fernwärme Wien, Simmering – ehem. EBS) weitergeleitet. Einige Sammler für gefährliche Abfälle halten sich die Option für einen Export zu einer Untertagedeponie in Deutschland offen. Darüber, wohin diese Kondensatoren schlussendlich weitergeleitet werden, entscheidet das Mengenaufkommen und die jeweilige Marktsituation.

Bei der Fernwärme Wien werden Kondensatoren nach Größen- und Qualitätsklassen übernommen. So können Kondensatoren bis zu einer Größe (Länge) von rd. 20 bis 30 cm als Schüttgut angeliefert werden. Der Übernahmepreis richtet sich nach dem vom Anlieferer **deklarierten PCB-Gehalt** der Kondensatoren. Diese Angaben werden sichtprobenartig kontrolliert. Wesentlicher Nachteil einer thermischen Behandlung von Kondensatoren ist, dass das enthaltene Aluminium in die Schlacke übergeht und damit verloren ist.

Bei einer Anlage zur thermischen **Behandlung von Batterien** (Firma Batrec, Schweiz) werden Kondensatoren gezielt übernommen, um durch das enthaltene Aluminium die **Qualität** der in diesem Prozess anfallenden **Schlacke** zu beeinflussen. Ansonsten müssten andere Aluminium-haltige Materialien eingesetzt werden.

Als alternative Verfahren bieten sich eine **vakuumenthermische Behandlung** unter gezielter Abscheidung und Erfassung von PCB und oxidativer Umsetzung der organischen Komponenten an. Die am Aluminium verbleibenden feinen Kohlenstoff-/Koksteile können durch eine mechanische Aufarbeitung und Separation abgetrennt werden und das Aluminium kann als Sekundärrohstoff eingesetzt werden. Eine solche Anlage wurde von der Firma ALD in Deutschland entwickelt und über ein Joint-Venture-Unternehmen wurde eine solche Anlage in Japan errichtet. Das Verfahren ist von den dortigen Behörden anerkannt. In Europa ist eine derartige Anlage derzeit nicht verfügbar.

Eine weitere Möglichkeit zur Rückgewinnung der in Kondensatoren enthaltenen Aluminiumfraktionen wäre eine **mechanische Auspressung der Elektrolyte** und Dielektrikumsflüssigkeiten mit sehr hohem mechanischen Druck. Anschließend könnten durch eine **feinmechanische Auftrennung** und Separation Reststoffe und Fremdmetalle vom Aluminium abgetrennt werden und dieses in den Sekundäraluminiumprozess eingeleitet werden. Dieses Verfahren liegt jedoch erst als Konzept der Firma SMK vor. Inwieweit eine Vorsortierung von PCB-haltigen Kondensatoren den gewünschten Erfolg liefert, dass die Reststoffe aus der Aufarbeitung von PCB-freien Kondensatoren keine schädlichen Inhaltstoffe enthalten, die eine Entsorgung als gefährlichen Abfall erfordern, müsste im Versuchsmaßstab erprobt werden. Um diese Konzept jedoch verwirklichen zu können, müssten auch andere aluminiumhaltige Fraktionen (z.B. Kondensator-Produktionsabfälle) mit aufgearbeitet werden. Diese werden jedoch derzeit zu weit günstigeren Kosten als Kondensatoren „PCB-frei“ oder „Werkstättenabfälle“ entsorgt und die Bereitschaft, höhere Übernahmekosten zu bezahlen, sei nur in einem engen Bereich gegeben.

Eine Möglichkeit zur Trennung von PCB-haltigen und PCB-freien Kondensatoren wurde von der Firma Enretec entwickelt. Das Verfahren beruht auf der **Magneto-Hydrostatischen Separation** der Kondensatoren auf Grund deren spezifischen Dichte. Dadurch können gesichert PCB-freie Kondensatoren abgeschieden werden. Das Verfahren ist erprobt und von der zuständigen Behörde in Deutschland anerkannt, jedoch wird die Anlage derzeit wegen der vorherrschenden wirtschaftlichen Rahmenbedingungen nicht betrieben.

Die PCB-haltigen Kondensatoren (Erfahrungswert aus Auftrennversuchen rd. 5 %) müssen einer Entsorgung als gefährlicher Abfall zugeführt werden. Die gesichert PCB-freien Kondensatoren können einer **weiteren Vorbehandlung** vor einem Einsatz in der Sekundäraluminiumhütte zugeführt werden.

Nach Angaben aus der Praxis muss es sich hier um ein Verfahren handeln, bei der die enthaltenen Elektrolyte vor einer mechanischen Aufarbeitung und Separation abgetrennt werden (siehe oben). Andernfalls kommt es durch die enthaltenen Elektrolyte (v.a. Phosphorsäure) mit sehr großer Wahrscheinlichkeit zu einem Brand während der mechanischen Aufarbeitung. Ein direkter Einsatz von Elektrolytkondensatoren in der Sekundäraluminiumhütte erscheint auf Grund der hohen Qualitätsanforderungen der Sekundäraluminiumindustrie (Anteil an Fremdstoffen und Fremdmetallen) in Europa als nicht umsetzbar.

Mit dem Verfahren der **Pyrolyse** könnten organische Komponenten aus den Kondensatoren ausgetrieben und innerhalb der Nachverbrennung oxidativ umgesetzt werden. Dieses Verfahren ist im Versuchsmaßstab erprobt, jedoch nicht in den technischen Maßstab bzw. in die industrielle Anwendung übergeführt worden. Es wurde jedoch auf das Problem der PVC-Ummantelung von Elektrolytkondensatoren hingewiesen, und dass daraus während des Pyrolyseprozesses korrosiver Chlorwasserstoff und ggf. unerwünschte chlorierte organische Verbindungen gebildet werden, welche sich in den Pyrolysefolgeprodukten wiederfinden.

Die Option der **Untertagedeponierung** stellt lediglich die Möglichkeit des Abschlusses von der Umwelt dar. Die enthaltenen organischen Komponenten werden nicht zerstört und es erfolgt keine Nutzung der enthaltenen Wertstoffe. Wie aus Tab. 4.1 ersichtlich, stellt sie jedoch die kostengünstigste Entsorgungsvariante dar. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass für die Anlieferung an die Untertagedeponien in Deutschland entweder hohe Mindestmengen (1 t bei K+S – UTD Herfa-Neurode oder Zielitz) gefordert sind, oder diese Variante nur über den Exklusivpartner in Österreich (ASA für die UTD Heilbronn) erfolgen kann.

Tab. 4.1 zeigt einen Überblick der hier erläuterten Verfahren, eine Abschätzung der abfallwirtschaftlichen Vorteile (AW) und die angegebenen Übernahmekosten im Vergleich.

Verfahren > Prinzip	Status (Land)	AW	Kosten
Vorbehandlung			
Magneto-Hydrostatische Separation > Trennung der Kondensatoren aufgrund der spezifischen Dichte	Verfahren erprobt und anerkannt - derzeit nicht in Betrieb (D)	++	ATS 3,50 bis 5,60 pro kg + Entsorgung PCB-haltige Fraktionen + ?Zuzahlung Elko für Vorbehandlung
Behandlung			
Mechanische Behandlung von Kondensatormischfraktionen > Auspressen der Elektrolyte, mechanische Aufarbeitung der Rückstände	Konzept (A)	++	ATS 10,- oder ATS 20,- pro kg - je nach erforderlicher Entsorgung der Reststoffe
Vakuumthermisches Recycling > Austreiben von Elektrolyten unter verminderten Druck, mechanische Aufarbeitung der festen Restfraktionen	Verfahren erprobt und in Japan anerkannt, Anlage in Japan in Betrieb	+++	ATS 21,- bis ATS 28,- pro kg (kalkuliert)
Pyrolyse > Austreiben der organischen Komponenten und Nachverbrennung	Verfahren im Labormaßstab erprobt (D)	+	k.A.
Thermische Behandlung > Thermische Behandlung gemeinsam mit Batterien	in Betrieb (CH)	++	ATS 32,- bis ATS 48,- pro kg
Thermische Behandlung > Thermische Entsorgung als gefährlicher Abfall	in Betrieb (A)	+	ATS 9,8 (PCB-frei) bzw. ATS 21,4 (PCB-haltig) pro kg - Deklaration
Untertagedeponierung > Ablagerung in UTD, als Zwischenlagerung eingestuft	in Betrieb (D)	o	rd. ATS 3,3 pro kg - Mindestmenge 1 t

Tab. 4.1: Zusammenfassung - Behandlungsverfahren und Übernahmekosten für Kondensatoren

Zusammenfassend kann hier angeführt werden, dass die **Behandlungskapazitäten** für die abfallwirtschaftlich nicht hoch bewerteten Variante der thermischen Entsorgung als gefährlicher Abfall in Österreich jedenfalls **gegeben** sind.

Eine Aufarbeitung im Sinne der Rückgewinnung oder Nutzung der enthaltenen Aluminiumfraktionen wäre jedoch aus abfallwirtschaftlicher Sicht anzustreben. Hierfür wären jedoch weitere Informationen zu

- den Inhaltstoffen der Kondensatoren,
- den möglichen Reststoffen aus einer Vorbehandlung,
- der von der Aluminiumindustrie gewählten Vorbehandlung (siehe Angaben Enretec) oder
- die versuchsweise Umsetzung des angeführten Konzeptes zur mechanische Aufarbeitung erforderlich.

4.3 Behandlung von Quecksilberschaltern

Das Aufkommen an Quecksilberschaltern aus dem Bereich der Demontage von Elektroaltgeräten kann mit rd. **100 kg** pro Jahr (zusätzlich geschätzte 100 kg aus der Demontage von Tiefkühltruhen) abgeschätzt werden und unter Berücksichtigung dessen, dass Quecksilberschalter schon seit längerer Zeit durch andere Schaltmechanismen ersetzt werden, ist mit einem **Sinken der Mengen** zu rechnen. Da Quecksilber als anerkannt toxische Substanz ein hohes Gefährdungspotential aufweist (insbesondere Quecksilberdampf), ist eine gezielte Erfassung jedenfalls anzustreben.

Bei der Behandlung von quecksilberhaltigen Bauteilen ist generell zu unterscheiden, ob es sich um Teile mit hohen Mengen an **flüssigem Quecksilber** handelt, und ob diese Teile im Verbund mit **anorganischen** oder **organischen** Komponenten vorliegen.

Handelt es sich um Quecksilberschalter, wo das flüssige, metallische Quecksilber in **Glasröhren mit größerem Durchmesser** enthalten ist (keine Kapillarwirkung), ist ein fachgemäßes Aufbrechen dieser Röhren und das Ausgießen und gezielte Erfassen des Quecksilber mit einfachen Vorsichtsmaßnahmen leicht umsetzbar. Das so erzielte Quecksilber kann einer Reindestillation zugeführt werden. Wesentlich ist jedoch, dass an den **Reststoffen** (=Glasteilen) geringe Anteile von Quecksilber haften bleiben, und dass dieses Material einem Verfahrensschritt zur Abtrennung des Quecksilbers oder einer Entsorgung als gefährlicher Abfall zuzuführen ist.

Handelt es sich um solche Glasteile oder um Quecksilberschalter, welche ausschließlich aus **anorganischen** Komponenten aufgebaut sind, kann diese Abtrennung mit **einfachen Destillationsanlagen** (vgl. Firma Kranner) durchgeführt werden.

Sind jedoch auch **organische** Komponenten in Bauteilen enthalten (z.B. Harz- oder Kunststoff-Vergussmaterialien oder Kunststoffgehäuse), muss die Destillation mit einer **gezielten Oxidation** der organischen Komponenten erfolgen. Ansonsten können organische Quecksilberverbindungen entstehen, welche meist hoch toxisch sind, oder es kommt zu verfahrenstechnischen Problemen. Dieser Verfahrensschritt wird bei **vakuumthermischem Recycling** (VTR-Verfahren) umgesetzt. Hier entscheidet die Prozessführung (Zeit, Temperatur, Druck und Verlauf), inwieweit die Reststoffe soweit abgereinigt werden können, dass sie als nicht mehr belastet angesehen werden können.

Eine abfallwirtschaftlich gute Alternative stellt auch die **thermische Behandlung** unter **gezielter Abscheidung** und damit Rückgewinnung des **Quecksilbers** dar. In den Batterierecyclingsanlagen der Firmen Chemtec (A) und Batrec (CH) ist diese Verfahrensstufe in den Prozess integriert.

Die Entsorgung von quecksilberhaltigen Abfällen in Behandlungsanlagen für die **thermische Entsorgung von gefährlichen Abfällen** ohne Quecksilberabscheidung und die Untertagedeponierung stellen dazu keine abfallwirtschaftlich positiv einzustufenden Alternativen dar.

Von der in Österreich verfügbaren Anlage zur thermische Entsorgung von gefährlichen Abfällen werden quecksilberhaltige Abfälle nur unter Vorbehalt (auf Anfrage, Bemusterung und Analyse) übernommen.

In den **Untertagedeponien** wäre für solche Abfälle eine **Einzelgenehmigung** erforderlich und es gelten hohe Mindestmengen für die Einlagerung (K+S) oder die Anlieferung aus Österreich muss über den Exklusivpartner (ASA → UTD Heilbronn) erfolgen, der nach eigenen Angaben einer Verwertung unter Rückgewinnung des Quecksilbers den Vorzug geben würde.

Tab. 4.2 zeigt die angeführten Verfahren und die Übernahmekosten in einer Gegenüberstellung. Hier wurde eine Farbkennung für die Übernahme als Einzelfraktionen (gelb) oder Mischfraktionen (grün) verwendet. Für weniger relevante Verfahren wurde der Übernahmepreis in Klammer gesetzt.

Es ist zusammenzufassen, dass in Österreich durch die Firma Kranner für anorganische Quecksilberschalter und durch die Firma Chemtec für die Behandlung aller quecksilberhaltigen Bauteile aus EAG **ausreichende Behandlungskapazitäten** vorhanden sind. Die Verfahren zur Verwertung durch ein möglichst weit geführtes vakuumthermisches Recyclingverfahren (vgl. Firma GMR) oder die thermische Behandlung unter vollständiger Quecksilberabtrennung und – abscheidung (vgl. Firma Batrec) wären aus abfallwirtschaftlicher Sicht sehr positiv einzustufen.

Verfahren	Staats	AW	Anmerkung Fraktion	ATS/kg	
				von	bis
Vorbehandlung					
manuelle Abtrennung von flüssigem Quecksilber	wird durchgeführt	+			k.A.
Behandlung					
einfache Vakuumdestillation ohne Oxidationsstufe	in Betrieb (A)	++	Einzelfractionen sortiert		72,5
Sortierung -> Abtrennung von flüssigem Hg, Weiterleitung organische Bauteile und Reststoffe			Mischfraktion Teile		200,0
VTR-Verfahren	in Betrieb (D)	++	Hg-Schalter Glasausführung		59,9
			Hg-Schalter Gehäuseausführung		119,6
VTR-Verfahren - Maximum	in Betrieb (D)	+++	Hg-haltige Bauteile - Einzelfractionen sortiert (ab 20 kg)	59,5	87,5
			Hg-haltige Bauteile - vermischt (Glas, Metall, Kunststoff)		140,0
MRT-Verfahren - derzeit nur Knopfzellen aufgearbeitet, Hg-Bauteile Weiterleitung	in Betrieb (D)		Mix Hg-haltige Bauteile in 30/60l Fass		(122)
Thermische Behandlung mit Hg-Abtrennung und -Abscheidung	in Betrieb (A) - gezielte Übernahme erst im Aufbau	++	Einzel- und Mischfraktionen	15,0	35,0
Thermische Behandlung mit Hg-Abtrennung, -Abscheidung und -Kreislaufführung	in Betrieb (CH)	+++	Hg-Bauteile aus der Demontage	32,0	48,0
Thermische Entsorgung als gefährlicher Abfall	in Betrieb (A) - Übernahme unter Vorbehalt	o	nur nach Anfrage / Muster / Analyse		(30)
Entsorgung in Untertagedeponien	in Betrieb (D) - Mengenlimit	o	Mindestmenge 1 t		(3,3)
Sortierung -> Recyclingverfahren oder Untertagedeponierung	in Betrieb (A/D) - Einzelgenehmigung	o	Mischfraktion - Übernahmekosten	40,0	50,0

Tab. 4.2: Zusammenfassung - Behandlungsverfahren und Übernahmekosten für Quecksilberschalter

4.4 Behandlung von LCD

Die Entwicklung aber auch Beurteilung von Behandlungsverfahren für Flüssigkristallanzeigen (LCD) muss vor dem Hintergrund der derzeit laufenden Diskussion über die **Schadstoffrelevanz** der enthaltenen Flüssigkristalle (LC) erfolgen^[11].

LC-Anzeigen (LCD – Liquid Crystal Displays) bestehen aus einem mehrschichtigen Verbund aus Glas, Kunststofffolien, metallhaltigen Schichten (ITO-Schicht und TFT-Schicht) und einer Flüssigkristallschicht, dem **LCD-Panel**. Das **LCD-Modul** enthält zusätzlich Ansteuerungselemente (im Wesentlichen Leiterplatten) das Hintergrundbeleuchtungssystem (mit der Beleuchtungslampe) und diverse weitere Kunststoffschichten bis zum Reflektor. Diese Teile sind in einem Kunststoffgehäuse eingefasst. In Summe besteht das LCD-Modul aus mind. 80 % Glas, jedoch nicht unbedeutenden Anteilen an organischen Materialien

^[11] Als LCD werden hier die sandwich-artig aufgebauten Teile aus Glas, Folien und Flüssigkristallbereich verstanden (sh. Abb. 2.1 und Erläuterungen auf Seite 14) jedoch **ohne die potentiell quecksilberhaltige Leuchtstoffröhre** (siehe Erläuterungen Seite 16). Diese ist entweder getrennt zu erfassen und einer entsprechenden Behandlung zuzuführen oder die gesamte LCD ist als potentiell quecksilberhaltig zu betrachten.

(Kunststoffe) und geringen Anteilen an Metall (Leiterbahnen auf Leiterplatten, ITO- und TFT-Schicht).

Die Flüssigkristallhersteller haben durch aktuell vorgelegte umfangreiche Untersuchungsergebnisse belegt, dass derzeit vermarktete Flüssigkristalle weder als toxisch noch als mutagen einzustufen sind, jedoch bleiben Fragen zur bioakkumulativen Wirkung und zu den Inhaltstoffen von „alten LCD“ offen.

Sowohl Hersteller von Flüssigkristallsubstanzen als auch LC-Anzeigen stimmen dem zu, dass potentiell quecksilberhaltige Hintergrundbeleuchtungslampen enthalten sind und vor einer weiteren Behandlung getrennt zu erfassen sind. Für die Behandlung von LCD empfehlen sie derzeit die **thermischen Behandlung** in Anlagen mit entsprechender **Rauchgasreinigung** als – das sicherste - Verfahren zur Entsorgung von LCD (BECKER et al., 2001).

Als einzige alternative Behandlungsmöglichkeit mit **gezielter Zerstörung der Flüssigkristallsubstanzen** stellt sich derzeit das Verfahren der Firma VICOR dar. Hier werden LCD einem **vakuumthermischen Prozess** zur gezielten Austreibung und **katalytischen Umsetzung** der LC-Substanzen unterworfen. Als Vorteil wird weiters dargestellt, dass die enthaltenen Kunststofffolien durch diesen Behandlungsschritt so weit verspröden, dass sie durch eine nachfolgende mechanische Aufarbeitung leicht abzutrennen sind. Das Glas könnte so einer stofflichen Verwertung zugeführt werden. In Europa ist derzeit nur eine Anlage beim Anlagenentwickler selbst in Betrieb und es werden derzeit nur geringe Mengen angeliefert. Es wurden jedoch schon drei Anlagen nach Fernost (Heimat der LCD-Hersteller) verkauft.

Der wesentliche wirtschaftliche Nachteil ist derzeit der zusätzliche Kostenfaktor für die Entsorger, da insbesondere in Deutschland eine Verbrennung in Hausmüll- bzw. Industrieverbrennungsanlagen oder eine Deponierung der LCD als anerkannte Verfahren gelten.

Die **thermische Behandlung** in Anlagen mit entsprechender Rauchgasreinigung gewährleistet die Zerstörung von organischen Substanzen, die anorganischen Inhaltstoffe werden in die Schlacke übergeführt. Inwieweit diese Behandlung in Österreich in Anlagen zur thermischen Behandlung von gefährlichen Abfällen oder in Hausmüllverbrennungsanlagen erfolgen kann, ist vor dem Hintergrund der Einstufung dieser Abfallart als gefährlicher Abfall oder nicht gefährlich zu sehen.

Weiters wäre eine **Ablagerung** von - derzeit in Österreich als gefährliche Abfälle eingestuft – LCD, nur in Untertagedeponien möglich. Auch dazu haben die Flüssigkristallhersteller eine Untersuchung von einem anerkannten Institut vorgelegt, welches die Ablagerungsmöglichkeit auf Hausmülldeponien in Deutschland bestätigt.

Die Möglichkeit zur Ablagerung in **Untertagedeponien** ist an die Einlagerungsbedingungen der UTD (Genehmigung, Bemusterung, Analyse) und an ein gewisses Mengenaufkommen (z.B. Einzelgenehmigungen, Mindestmengen) gebunden. Die Ablagerungsmöglichkeit auf **Hausmüll- bzw. Massenabfalldeponien** in Österreich ist vor dem Hintergrund der Einstufung dieser Abfallart als gefährlicher Abfall oder nicht gefährlich zu sehen.

Zu den derzeit als **alternative Verwertungsmethoden** eingestufte Verfahren des Einsatzes von LCD in der **Glas- oder Keramikindustrie** liegen derzeit keine Erfahrungswerte oder Übernahmebedingungen vor. Für den Einsatz in diesen Technologien ist der Aufbau von LCD als Verbund von Glas und Kunststofffolien, die schwere Abtrennbarkeit dieser Kunststofffolien vom Glas und die Verwendungen von unterschiedlichen Glasrezepturen der verschiedenen Hersteller bzw. die Verwendung von Gläsern auf Basis von Borsilikaten in der TFT-Technik zu berücksichtigen.

In Japan wird weiters der Einsatz von LCD-Panelen in der **Zinkrecyclingtechnologie** und in der **Asche- und Schlackeverglasung** für Reststoffe aus der Abfallverbrennung erprobt.

Tab. 4.3 zeigt die erläuterten Behandlungsverfahren und die bekannten Übernahmekosten für die Fraktion LCD.

Verfahren	Status	AW	Kosten
Spezifische Behandlung der LC-Substanzen			
Vakuumthermische Abtrennung und katalytische Umsetzung der Flüssigkristallsubstanzen	Anlage in D in Betrieb, weitere Anlagen in Fernost	+++	ATS 21,- bis ATS 35,- pro kg
Thermische Behandlung der LCD			
Thermische Entsorgung als gefährlicher Abfall	in Betrieb	++	ATS 9,8 pro kg
Thermische Behandlung mit anderen Abfallfraktionen	in Betrieb	++	nach Übernahmebedingungen
Deponierung			
Untertagedeponien	in Betrieb	-	rd. ATS 3,3 pro kg
Hausmülldeponien	in Betrieb	o	nach Übernahmebedingungen
Alternative Verwertungstechnologien			
Glasindustrie	Konzept	++	k.A.
Keramikindustrie	Konzept	o	k.A.
Zinkrecycling	in Japan	+	k.A.
Asche- und Schlackeverglasung	in Japan	+	k.A.

Tab. 4.3: Zusammenfassung - Behandlungsverfahren und Übernahmekosten für LCD

Horizont für die Diskussion der Verwertungsmöglichkeiten ist nicht das derzeitige Aufkommen an LCD, das mit rd. **1,3 t** für Österreich abgeschätzt wird, sondern die mittelfristige Zukunft, in der mit einem **stark ansteigenden Aufkommen** an LCD aus dem Bereich der Lap-Tops der ersten Generationen oder aus dem Bereich der PC- und TV-Flachbildschirme zur rechnen ist.

Einer **stofflichen Verwertung** des Glases (80 % der LCD-Module) wäre im Hinblick auf die im Richtlinienentwurf definierten **Verwertungsquoten** der Vorzug zu geben. Inwieweit dies unter Berücksichtigung des potentiellen Mengenaufkommens (derzeitiger Markt an LCD-Glas 20.000 t) und des sandwich-artigen Aufbaues der LCD, der unterschiedlichen Glaszusammensetzung und –arten umsetzbar ist, wäre erst bei einem höheren Aufkommen aus der Sammlung von LCD aus Elektroaltgeräten zu bestimmen.

Kurz- bis mittelfristig könnten in Anlagen zur **thermischen Behandlung** von Abfällen mit einer entsprechenden Rauchgasreinigung die Eigenschaften der Schlackebildung (in LCD enthaltene Silikate) genutzt, und die - in der gegenwärtigen Diskussion noch nicht voll abgeklärten Reaktionsprodukte aus der thermischen Umsetzung der vielfältigen Komponenten einer LCD - abgeschieden werden. Dafür bestehen in Österreich **ausreichende Behandlungskapazitäten**.

Jeder möglichen Form der stofflichen Verwertung oder der gezielten Nutzung der Inhaltstoffe wäre jedoch - soweit umsetzbar - der Vorzug zu geben.

Anhang

- Tabellenverzeichnis
- Abbildungsverzeichnis
- Bildverzeichnis

- Literaturverzeichnis
- Quellenverzeichnis
- Gesetze / Verordnungen / Richtlinien / Normen

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1:	Quecksilbertypen und erforderliche Reinheit (Quelle: KRANNER (2), 2001).....	13
Tab. 2.2:	Gewicht von LC und LCD in einigen Gerätearten (Quelle: BECKER et al., 2000).....	16
Tab. 2.3:	Ergebnisse zur Untersuchung von LC-Substanzen (Quelle: BECKER, 2001).....	18
Tab. 3.1:	Untertägige Ablagerung von Abfällen in Deutschland	40
Tab. 3.2:	Überblick - Verfahren zur Behandlung von Kondensatoren	56
Tab. 3.3:	Überblick - Kosten der Behandlung von Kondensatoren.....	56
Tab. 3.4:	Überblick – Verfahren zur Behandlung von quecksilberhaltigen Bauteilen	75
Tab. 3.5:	Überblick – Übernahmekosten für quecksilberhaltige Bauteile	75
Tab. 3.6:	LCD-Behandlungsanlagen der Firma VICOR.....	78
Tab. 3.7:	Überblick – Verfahren zur Behandlung von LCD.....	84
Tab. 4.1:	Zusammenfassung - Behandlungsverfahren und Übernahmekosten für Kondensatoren.....	88
Tab. 4.2:	Zusammenfassung - Behandlungsverfahren und Übernahmekosten für Quecksilberschalter.....	90
Tab. 4.3:	Zusammenfassung - Behandlungsverfahren und Übernahmekosten für LCD.....	92

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1:	Aufbau einer Flüssigkristallanzeige – nicht proportional (Quelle: SM-ALTDORF, 1998; EIAJ, 2001)	15
Abb. 3.1:	Siedepunktskurven für relevante Elemente des VTR-Verfahrens (Quelle: ALD)	26
Abb. 3.2:	VTR-Prinzip im Bezug auf PCB (Quelle: ALD)	27
Abb. 3.4:	Anlagenprinzip VTR-Anlage (Quelle: ALD).....	29
Abb. 3.5:	Anlage zur Behandlung von quecksilberhaltigen Abfällen (Quelle: ALD).....	31
Abb. 3.6:	Flussbild Batrec-Anlage (Quelle: BATREC).....	34
Abb. 3.7:	Anlagenskizze der Sonderabfallbehandlung in der Anlage der Fernwärme Wien, Simmering (Quelle: Fernwärme Wien, 2001).....	36
Abb. 3.8:	Standorte der Untertagedeponien in Deutschland (Quelle: FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE, 1998).....	41
Abb. 3.9:	Anlagen der Firma K + S (Quelle: K+S (2), 2001)	42
Abb. 3.10:	UTD Heilbronn (Quelle: UEV, 2001)	44
Abb. 3.11:	Verfahrensprinzip Magneto-Hydrostatische Separation (Quelle: GÜNTHER, GIESEL, 1996)	46
Abb. 3.12:	Blockschema Batterierecyclinganlage der Firma Chemtec (Quelle: HÜBL, 2000).....	69
Abb. 3.13:	Behandlung von LC-Anzeigen – VICOR Prozess (nach BLECHSCHMIDT, 1998).....	78

Bildverzeichnis

Bild 2.1:	Bauformen Kondensatoren	7
Bild 2.2:	Kennzeichnung von Kondensatoren	8
Bild 2.4:	Quecksilberschalter aus Boilern.....	9
Bild 2.5:	Quecksilberschalter – Zeitschalter	10
Bild 2.6:	Pumpenschwimmer.....	10
Bild 2.7:	Quecksilberschalter – Tiefkühltruhe.....	10
Bild 2.8:	Quecksilberrelais.....	10
Bild 2.9:	LCD-Panele und -Module.....	15
Bild 2.10:	LCD-Modul und Flachbildschirme.....	15
Bild 3.1:	Einbringen der LCD-Materialien in den Ofen der Firma VICOR.....	77
Bild 3.2:	Anlage zur Entfernung und katalytischen Umsetzung von LC-Substanzen (Quelle: VICOR, 2001).....	79

Literaturverzeichnis

- AUVA (Allgemeine Unfallversicherungsanstalt): Maximale Arbeitsplatzkonzentration gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Wien, 1995
- BARGHOORN M.: Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben PCB-Kleinkondensatoren, im Auftrag des Senators für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin, 1988
- BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) (Hrsg.): Leitfaden für die Behandlung von Elektro- und Elektronikgeräten, Wien, 2000
- BRENDEL M.: Giftmüll als Baustoff - Wie deutsche Salz- und Kohlegruben teuren Sondermüll billig verbuddeln, Die Zeit, Nr. 5, 27. Jan. 2000, (verfügbar unter www.zeit.de - 31. Jan. 2001)
- EPA: Design for the Environment - Computer Display Project, Assessing Life-Cycle Impacts, Fact Sheet, : <http://www.epa.gov/opptintr/dfe/compdisp/factsheet/index.html>, download 10. Jan. 2001, Aug. 1998
- EPA: Design for the Environment - Computer Display Project, Technical Report <http://www.epa.gov/opptintr/dfe/compdisp/factsheet/index.html>, download 10. Jan.
- FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE: Untertägige Entsorgung in Deutschland, erstellt 15.10.1998, Stand 24.03.2000, www.fzk.de/pte/utdstat.html, download 23. Jan. 2001
- GABRIEL R., SALHOFER S.: Elektroaltgeräte Pilotprojekt Flachgau, wissenschaftliche Begleitstudie In: Schriftenreihe der Salzburger Landesregierung, 1998
- GABSKE V., MEYER U.: Auf Spurensuche - Quecksilber wird kaum noch verwendet und bleibt dennoch eine Belastung für den Haus- und Gewerbemüll, Müllmagazin, S58, 1/2000
- GÜNTHER D., GIESEL F.: Einsparung von Deponiekosten durch Dichtentrennung PCB-haltiger von PCB-freien Kondensatoren, AbfallwirtschaftsJournal, Heft 10, S 45, 1996
- HARANT M., HOCHHUBER J., LORBER K.E., NELLES M., ROLLAND C.: Großversuch zur Sammlung und Verwertung von Elektro- und Elektronikaltgeräten in der Steiermark, wissenschaftliche Begleitstudie In: Informationsreiche Abfallwirtschaft des Landes Steiermark, Band 7, Juli 1998
- HIEBER M., PRÖSLER M.: LCD Entwicklung – Leider nicht ans Ende gedacht!, download, 8. Jan. 2001 http://www.gruetter.de/zeitschriften/ke/ausgabe/konstruktion_0499_s68.htm, Konstruktion und Entwicklung, Juni 1999
- HÜBL F.: Altbatterienrecycling in Österreich, Waste Magazin, 2/2000
- KIM Y., THOMANETZ E.: Grundlegende Untersuchungen zur Wertstoff-Rückgewinnung aus Aluminium-Elektrolytkondensatoren mittels Pyrolyse, Müll und Abfall, Nr 1: 5-11, 1995
- KURIYAMA Y., MAEZAWA Y., SHIOTA M.: Benefits and Safety of LCDs, Joint International Congress an Exhibition Electronics goes green 2000+, A Challenge for the Next Millennium, September 11-13, 2000, Berlin, VDE Verlag Berlin Offenbach
- LAGA: Technische Anforderungen zur Entsorgung von Elektro-Altgeräten sowie zur Errichtung und zum Betrieb von Anlagen zur Entsorgung von Elektro-Altgeräten, EAG-Richtlinie, September 2000
- LANDECK H.: Konstruktion eines entsorgungsfreundlichen Farbfernsehgerätes der Loewe Opta GmbH, Seminar BC Berlin-Consult, Feb. 1995
- LEE C.-H., CHANG S.-H., WANG K.-M., WEN L.-C.: Management of scrap computer in Taiwan, Journal of Hazardous Materials A73 (2000) 209-220 – www.elsevier.nl/locate/jhazmat, download 10. Jan. 2001

- MA 48: Das Wiener Abfallwirtschaftskonzept 1998, Schriftenreihe der MA 48, Band XXII, Juni 1998
- MADERNER W., HOBIGER G.: PCB-Stoffbilanz Österreich, Zusammenfassung <http://www.ubavie.gv.at/> download 11. Jan. 2001, Umweltbundesamt, Monographie; Band 79, Wien, August 1996
- MADERNER W.: Polychlorierte Biphenyle – Abfallmengen und Behandlungswege, UBA-Info 4-96, Sonderdruck für „Umweltforum Lampen“, Umweltbundesamt, Wien 1996
- MAST P.G.: Erfassung der PCB-Belastung in Gewässern unter Anwendung eines biologischen Monitoringprogrammes, Verlag Kovac, Hamburg, 1993
- MÜLLER J.: Was tun mit dem Elektronikschrott? Entwicklungstendenzen beim Recycling von elektronischen Geräten, Entsorgungs-Technik, November/Dezember 1994
- NELLES H., HARANT M., HOCHHUBER J., LORBER K.E.: Modellversuch zur Sammlung, Demontage und Verwertung von Elektro- und Elektronikaltgeräten (EAG) im Bezirk Weiz, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, dem Amt der Steiermärkischen Landesregierung und der Wirtschaftskammer Steiermark, Endbericht, März 1996
- PRÖSLER M.: Liquid Trash, Problems with disposal of LC displays, <http://www.heise.de/ct/english/99/12/096/>, download 8. Jan. 2001, c't 12/99,
- RAU F., KALNOWSKI G., HEINZE L., MÜLLER J.: Evaluation of the Toxic Effects of Waste Liquid Crystal Displays (LCD) to the Environment, Joint International Congress and Exhibition Electronics goes green 2000+, September 11 – 13, 2000, Berlin, VDE Verlag Berlin Offenbach
- SALHOFER S., GABRIEL R.: Pilotsammlung von Elektroaltgeräten in Bregenz, Schriftenreihe des BMUJF, Band 29, 1996
- SALHOFER S., GABRIEL R., Stubenvoll J., Huber H.: Mechanische Aufarbeitung von Elektroaltgeräten – Behandlungsvarianten in Gegenüberstellung zu einer thermischen Behandlung, Schriftenreihe des BMLFUW, Band 7/2000, Mai, 2000
- SCHMIDTMANN R., GLATZEL H.: Technologien zur Entsorgung von optoelektronischen Anzeigen, in: EDV-Elektronikschrott-Abfallwirtschaft, Fleischer, EF-Verlag, Berlin, 1993
- SIMON-HETTICH B., BECKER W.: Quantitative Structure Toxicity Relationship Analysis for Liquid Crystals, Joint International Congress and Exhibition Electronics goes green 2000+, A Challenge for the Next Millennium, September 11-13, 2000, Berlin, VDE Verlag Berlin Offenbach
- TUSCH - Interdisziplinäres Projekt im Rahmen des post-graduate Studiums Technischer Umweltschutz: Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten - Stand der Verwertung und Mindestanforderungen für die Zukunft, Universität für Bodenkultur und Technischen Universität Wien, Eigenverlag, Wien, März 1995
- UBA: Recyclingtechnologien für Altbatterien und Maßnahmen zur Errichtung eines Altbatterienverwertungsverfahrens in Österreich, Monographien Band 16, 1989
- UBA-D: Umweltbundesamt Berlin - Stellungnahme des Umweltbundesamtes Berlin über die Ökotoxizität von Flüssigkristallen in Flüssigkristallanzeigen, Stand August 2000
- UMWELTBEHÖRDE HAMBURG: PCB – Die Entsorgung PCB-haltiger elektrischer Geräte und Bauteile, www.hamburg.de/Behoerden/Umweltbehoerde/pcb/pcbtraf.htm, September 1999, download 23. Jan. 2001

Quellenverzeichnis

- ALD - Melber A., Bruckamp J., Flinspach J., Maurer J.: Vacuum Thermal Recycling, Application Note, Jan. 2001
- ALD (1): Informationen zur VTR-Verfahren, Anlagenbetreibern und Behandlungskosten, persönliche Informationen, Jan. 2001
- ALD (2): Allgemeine Firmeninformation www.ald-vt.com
- ASA: Übernahmebedingungen für Abfälle zur Ablagerung in der UTD Heilbronn, persönliche Information, Feb. 2001
- BATREC: Informationsmaterien zur Batterie-Recyclinganlage in Wimmis, Feb. 2001
- BECKER W., SIMON-HETTICH B., Hönicke Ptoxicological Investigations of Liquid Crystals and Disposal of Liquid Crystal Displays, Paper presented at Merck Seminars, September 2000
- BECKER W.: Senior Technical Manager Marketing and Sales – Merck, Persönliche Erläuterungen während des FEEI-Meetings zur Schadstoffrelevanz von LCD, FEEI Wien, 21. Feb. 2001
- BLECHSCHMIDT P.: Aktuelle Informationen zur LCD-Behandlung bei der Firma VICOR, Jan. 2001
- BLECHSCHMIDT P.: LCD-Recycling Technologie und Anlagentechnik der Firma VICOR, Vortrag im Rahmen des Care Vision 2000 Project Group Meetings – Materials and Ageing Mechanisms, EMPA Dübendorf, 26. Feb. 1998
- BROSCHARD T.H., SIMON-HETTICH B., BECKER W., TAKEUCHI H., SAITO H., OHNISHI H., TAKATSU H., NAEMURA S, KOBAYASHI K.: Ecotoxicological Properties of Liquid Crystal Compounds, Paper presented at the 7th International Display Workshops in Kobe, Japan, Nov. 29 – Dec. 01, 2000
- EIAJ: Benefits of Liquid Cystal Displays by LIREC in EIAJ, Informationsmaterial übergeben im Rahmen eines Meetings im FEEI, 21. Feb. 2001
- ENRETEC: Informationsmaterial zur Magneto-Hydrostatischen Separation von Kondensatoren und persönliche Informationen, Jan. 2001
- FERNWÄRME WIEN: Informationen zur Übernahme von Kondensatoren, LCD und quecksilberhaltigen Abfällen, persönliche Information, allgemeines Informationsmaterial, Preisliste gültig ab 01.01.2001, Jan 2001
- GEHLHAUS J., GEELHAAR T., BECKER W.: Recent LC Material Developments and Future Technology Trend for Advanced LCD's, Paper presented at MICRO.tec 2000, Session Displays Technologies, EXPO 2000, Hannover, September 25 –27, 2000
- GMR: Informationen zur Übernahme und Aufarbeitung von quecksilberhaltigen Abfällen, persönliche Information, Jan 2001
- K+S (1): Informationen zur Untertage-Deponie Herfa-Neurode, Annahmebedingungen, Preise und allgemeine Geschäftsbedingungen, Jan. 2001
- K+S (2): Allgemeine Informationen zur Firma Kali und Salz Entsorgung GmbH und zur Untertage-Deponie Herfa-Neurode und Kali und Salz Entsorgung GmbH www.kalisalz.de, Jan. 2001
- KALI UND SALZ Entsorgung GmbH: Informationen zur Übernahme von Abfällen in den Untertagedeponien, persönliche Information, Jan. 2001
- KRANNER (1): Informationen zur Übernahme und Aufarbeitung von quecksilberhaltigen Abfällen, persönliche Information, Jan. 2001

- KRANNER (2): Allgemeine Informationen zur Firma Kranner Ges.m.b.H, www.kranner.com, Jan. 2001
- MONITOR: LCD-Bildschirme unter die Lupe genommen, www.monitor.co.at, download 5. Dez. 2000, Monitor Shopping Guide 6/98
- MRT: Informationen zur Quecksilberrecyclingtechnologie von MRT, www.mrtsystem.com, Feb. 2001
- NAGL: Konzept zur Behandlung von Kondensatoren innerhalb der Firma Salzburger Metall- und Kabelverwertungs-GesmbH (SMK), persönliche Information, Jan. 2001
- NQR: Aufbereitung von quecksilberhaltigen Abfällen, Informationsschrift der Firma NQR, Lübeck, Stand 15. Sep. 1999
- NQR: Informationen zur Übernahme und Aufarbeitung von quecksilberhaltigen Abfällen, persönliche Information, Jan 2001
- ORGALIME: Restrictions on Liquid Crystal Displays – Orgalime Position, 19. September 2000
- SHARP: Selektiver Vertrieb, www.sharp.at/österreich/press/ew01-09-00, download, Jan. 2001
- SM-ALTDORF: Entwicklungsprojekt Flachbildschirme, Mai 1998
- SÜDDEUTSCHE SALZWERKE AG: Firmeninformation, www.salzwerke.de, Jan. 2001
- TAKATSU H., OHNISHI H., KOBAYASHI K., BECKER W., SEKI M., TAZUME M., NAKAJIMA T., SAITO H., SIMON-HETTICH B., MAEMURA S. : Investigation Activity and Data on Safety of Liquid Crystal Materials, Paper presented at the 18th International Liquid Crystal Conference in Sendai, Japan, July 24-28, 2000
- TRIENEKENS NEUSS: Informationen zur Übernahme und Aufarbeitung von quecksilberhaltigen Abfällen, persönliche Information, Jan 2001
- TRIENEKENS: Allgemeine Informationen zur Firma Trienekens, www.trienekens.de, Jan. 2001
- UBA – Umweltbundesamt Wien: Verzeichnis der Sammler und Behandler für gefährliche Abfälle, www.ubavie.gv.at, download Dez. 2000
- UEV (1): Informationen zur Untertagedeponie Heilbronne, Annahmeverbindungen, Liste der genehmigten Abfallarten, Feb. 2001
- UEV (2): Firmeinformation, www.uev.de, Jan. 2001
- UFB: Batterien-Kreislauf: www.batteriensammeln.at/kreislauf.htm, Jan. 2001
- VICOR: Allgemeine Informationen zur Firma VICOR GmbH www.vicor-berlin.de, Jan 2001
- WALLERBERGER G.: Detailinformationen zur Übernahme und Behandlung von quecksilberhaltigen Abfällen durch die Firma Chemtec, persönliche Information, Jan. 2001

Gesetze / Verordnungen / Richtlinien / Normen

Österreich

AWG: Abfallwirtschaftsgesetz, BGBl. 325/1990 i.d.F. BGBl. 90/2000

FestsetzungsVO: Festsetzungsverordnung 1997, BGBl. 227/1997 i.d.F. BGBl. 178/2000

BAWP: Bundesabfallwirtschaftsplan 1998 – Teilband: Leitlinien zur Abfallverbringung und Behandlungsgrundsätze, Juni 1998

ÖNORM S 2100: Abfallkatalog, 1. Sep. 1997

ÖNORM S 2106: Verwertung und Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten, 1.1.1998

Deutschland

Verordnung zur Bestimmung besonders überwachungsbedürftiger Abfälle (BGBl. 47/1996 S 1366 ff.) .), in Kraft seit 7. Oktober 1996

Verordnung zur Bestimmung überwachungsbedürftiger Abfälle zur Verwertung (BGBl. 47/1996 S 1377 ff.), in Kraft seit 1. Januar 1999

Europäische Union

VORSCHLAG FÜR EINE RICHTLINIE des Europäischen Parlamentes und des Rates über Elektro- und Elektronik-Altgeräte, 22. Dezember 2000

ENTSCHEIDUNG DER KOMMISSION vom 16. Januar 2001 zur Änderung der Entscheidung 2000/532/EG über ein Abfallverzeichnis, 2001/118/EG, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 47/1 bis 31, 16.2.2001 (1)

ENTSCHEIDUNG DER KOMMISSION vom 22. Januar 2001 zur Änderung der Entscheidung 2000/532/EG der Kommission vom 3. Mai 2000 zur Ersetzung der Entscheidung 94/3/EG über ein Abfallverzeichnis gemäß Artikel 1 Buchstabe a) der Richtlinie 75/442/EWG des Rates über Abfälle und der Entscheidung 94/904/EG des Rates über ein Verzeichnis gefährlicher Abfälle im Sinne von Artikel 1 Absatz 4 der Richtlinie 91/689/EWG über gefährliche Abfälle, 2001/119/EG, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 47/32, 16.2.2001 (2)