



Dokumentation der Fachtagung 25. September 2001

**Umweltrelevante Inhaltsstoffe  
elektrischer und elektronischer Altgeräte (EAG)  
bzw. Bauteile und Hinweise zu deren  
fachgerechten Entsorgung**

Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160, 86179 Augsburg  
Tel.: (0821) 90 71 - 0  
Fax: (0821) 90 71 - 55 56

Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz (LfU) gehört zum Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU).

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Entladungslampen und Umwelt</b>	2
Monika Greczmiel, Osram GmbH, Zentraler Umweltschutz	
<b>Gerätebatterien – von der Wiege bis zur Wiedergeburt</b>	18
Fahlbusch, Direktor Umweltschutz, VARTA Gerätebatterie GmbH	
<b>Flammschutzmittel und Schwermetalle in Kunststoffen</b>	34
Dr. Marion Wolf, Institut für Anorganische Chemie I, Universität Erlangen-Nürnberg	
<b>Vorkommen und Recycling von Quecksilberschaltern</b>	41
Maximilian Scheppach, recycle it <sup>®</sup> GmbH	
<b>Toxicological and Ecotoxicological Investigations of Liquid Crystals; Disposal of Liquid Crystal Displays</b>	59
Dr. Werner Becker, Brigitte Simon-Hettich, Petra Hönicke, Merck KGaA	
<b>Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden</b>	70
Thomas Oberle, Schott Glas	
<b>Leuchtstofflampen - und Motorkondensatoren, sonstige Starkstromkondensatoren</b>	84
Robert Huber, Electronicon Kondensatoren GmbH	
<b>Das Motorola Öko-Handy</b>	96
Dr. Siegfried Pongratz, Director MATC-Europe Motorola GmbH	
<b>Referenten</b>	101

## Entladungslampen und Umwelt

**Monika Grezcmiel, Osram GmbH**

### Entladungslampen und Umwelt

OSRAM ist einer der drei größten Lampenhersteller am Weltmarkt. Mehr als 5000 unterschiedliche Lampentypen werden von OSRAM für den Weltmarkt produziert. Lampen für die unterschiedlichsten Einsatzgebiete, von der Stadionbeleuchtung bis hin zur Anzeigelampe am Schaltpult und elektronischen Vorschaltgeräten für Entladungslampen.

Der Hauptanteil der am Markt befindlichen Lampen besteht aus Glühlampen und Halogenleuchtstofflampen mit 74% gegenüber den Entladungslampen mit 26%. Entladungslampen dominieren im gewerblichen und industriellen Bereich, wo Lichteffizienz an erster Stelle steht.

Die Diskussion über die Umweltrelevanz von Produkten hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen insbesondere bei Produkten, die aufgrund ihrer Inhaltsstoffe am Lebensdauerende einem Recyclingprozess oder einer geregelten Entsorgung zugeführt werden müssen. Dies trifft auf die große Produktgruppe der Entladungslampen zu. Aus physikalischen Gründen ist Quecksilber für den Entladungsprozess erforderlich und in einer wirtschaftlich effektiven Beleuchtung nicht zu ersetzen.

Der Einsatz von Quecksilber in Produktion und Produkt erfordert von Anfang an Verantwortung. Besonders am Lebensdauerende ist eine geregelte Entsorgung Grundbedingung für die Umweltverträglichkeit dieser Produkte. Bereits bei der Produktentwicklung werden die Weichen gestellt, umweltgerechte Produktgestaltung, ressourcenschonende und energieoptimierte Produktionsprozesse sowie recyclinggerechte Konstruktion und Materialien sind unabdingbare Voraussetzungen. Durch recyclinggerechtes Produktdesign werden die Voraussetzungen für die Verwertung der Lampen nach ihrer Nutzungsdauer geschaffen. Der tatsächliche Recyclinggrad ausgebrannter Lampen kann vom Hersteller infolge vielfältiger wirtschaftlicher Zwänge allerdings bisher nur indirekt beeinflusst werden.

OSRAM hat sich bereits Anfang der 80ziger Jahre mit dem Thema „Produktspezifisches Recycling“ intensiv auseinandergesetzt und das Kapp Trenn Verfahren für Leuchtstofflampen entwickelt, ein Verfahren, das heute in Deutschland flächendeckend verbreitet ist. Als Mitglied der „Arbeitsgemeinschaft Lampenverwertung“ (AGLV) im ZVEI sind wir auch heute noch beim Thema Lampenverwertung aktiv.

Bei Entladungslampen unterscheiden wir zwischen zwei Hauptgruppen - Nieder- und Hochdruckentladungslampen. In die Kategorie Niederdruckentladung fallen Leuchtstofflampen in den unterschiedlichsten Formen, stab- und ringförmig und die gesamte Familie der Kompaktleuchtstofflampen, auch als Energiesparlampen bekannt mit externen oder integrierten Vorschaltgeräten. Der Quecksilbergehalt bei Leuchtstofflampen liegt zwischen 3 und 10 mg pro Lampe, bei Kompaktleuchtstofflampen zwischen 2,5 und 5 mg.

Lichterzeugung bei Entladungslampen beruht, egal ob Hoch- oder Niederdruckentladung, auf der Quecksilberentladung. Quecksilber verdampft in der Lampe durch elektrische Energie, welche über Elektroden eingespeist wird und sendet UV-Strahlen aus. Diese können entweder vom Leuchtstoff auf der Lampeninnenseite in sichtbares Licht umgewandelt oder mit Metallhalogenidzusätze im Lampeninnern, dem sogenannten Brenner in farbige Strahlung umgewandelt werden. Wird die UV-Strahlung direkt, also ohne Umwandlung in Licht durch Leuchtstoff genutzt, ist durch geeignete Filter dafür zu sorgen, dass die UV-Strahlung auf ein zulässiges Niveau verringert wird. Diese Lampentypen finden Anwendung bei Film, Foto und Optik, also rein im professionellen Bereich.

Für alle quecksilberhaltigen Lampen stellt sich am Lebensdauerende die gleiche Frage: Welche Möglichkeiten der umweltgerechten Entsorgung bieten sich an.

Durch die neun Mitglieder der Arbeitsgemeinschaft Lampenverwertung (AGLV) sind in Deutschland flächendeckend Recyclingfirmen vorhanden und darüber hinaus können Lampen auch bei den kommunalen Bau- bzw. Wertstoffhöfen entsorgt werden. Die Mitglieder der AGLV garantieren alle eine hochwertige, d.h. zertifizierte Verwertung. Sie unterscheiden sich jedoch in der Art des Recyclings.

Prinzipiell unterscheiden wir 2 Zerlegetechniken:

- produktspezifische, z.B. das Kapp Trenn Verfahren
- produktunspezifische, z.B. das Shredderverfahren.

Für die Auswahl zwischen produktspezifischer und produktunspezifischer Zerlegetechnik sind in erster Linie kommerzielle Parameter ausschlaggebend. Nur bei

- hohen Anteilen am Lichtmarkt
- geringer Materialvielfalt

wie z.B. bei Leuchtstofflampen und Hochdruck-Quecksilberdampflampen ist ein profitables produktspezifisches Recycling möglich. Wichtig sind auch die Verwertungschancen der zurückgewonnenen Materialien. Hier gilt, je sortenreiner, desto besser.

Gerade bei Lampen mit geringer Stückzahl oder auch großer Typenvielfalt wie im Bereich Foto, Film und Optik sind produktunspezifische Zerlegetechniken sinnvoll. Bereits der komplexe Produktaufbau stellt häufig ein Problem bei automatisierten Verfahren dar. Da über die Lebensdauer der Lampe Quecksilber in die Wandungen aus Quarz- oder Hartglas eindiffundiert, bleibt auch nach der Zerlegung ein zwar ursprünglich hochwertiges, aber jetzt quecksilberkontaminiertes Material zurück. Ein thermisches Entquicken bei Temperaturen von ca. 1600 °C, dem Erweichungspunkt des Quarzglas, kann finanziell profitabel bis heute nicht durchgeführt werden.

Daraus resultiert, dass ein hochwertiges Produkt nicht in die Wiederverwertung geführt, sondern auch nach der Lampenzerlegung als Sondermüll entsorgt werden muss. Einziger Vorteil der Zerlegung ist die Volumenverringering des Abfalls und die Rückgewinnung der Metallteile.

Als Lampenhersteller sind wir bestrebt, die Umweltverträglichkeit unserer Produkte ständig zu verbessern. Denn auch für uns bedeutet z.B. die Reduzierung des Quecksilbers in der Lampe durch neue Dosiertechniken ein Plus. Ein gutes Beispiel bietet dabei die Leuchtstofflampe LUMILUX Plus Eco. Statt wie früher in flüssiger Form wird heute Quecksilber in fester Form, d.h. gebunden auf einem Metallband, in die Lampe eingebracht. Dadurch ist eine absolut präzise Dosierung kleinster Quecksilbermengen möglich geworden.

Da über die Lebensdauer bisher ein Teil des Quecksilbers in die Glaswandung diffundiert, musste eine gewisse Quecksilberreserve (ca. 3 mg) in der Lampe vorhanden sein. Durch ein neues Beschichtungsmaterial für die Glaswand, hochdisperses Aluminiumoxid, wird das Eindiffundieren weitestgehend unterbunden. Auf die Quecksilberreserve kann verzichtet werden. Durch den Einsatz von Quecksilberfestdosierung und neuer Wandbeschichtung kann auf 50% des früher eingesetzten Quecksilbers verzichtet werden.

Auch beim Recycling des Glases ist die Quecksilberreduzierung ein deutlicher Pluspunkt, denn so können weitere Recyclingwege erschlossen werden.

Eine neue Form der Lichterzeugung ist die Light Emitting Diode (LED).

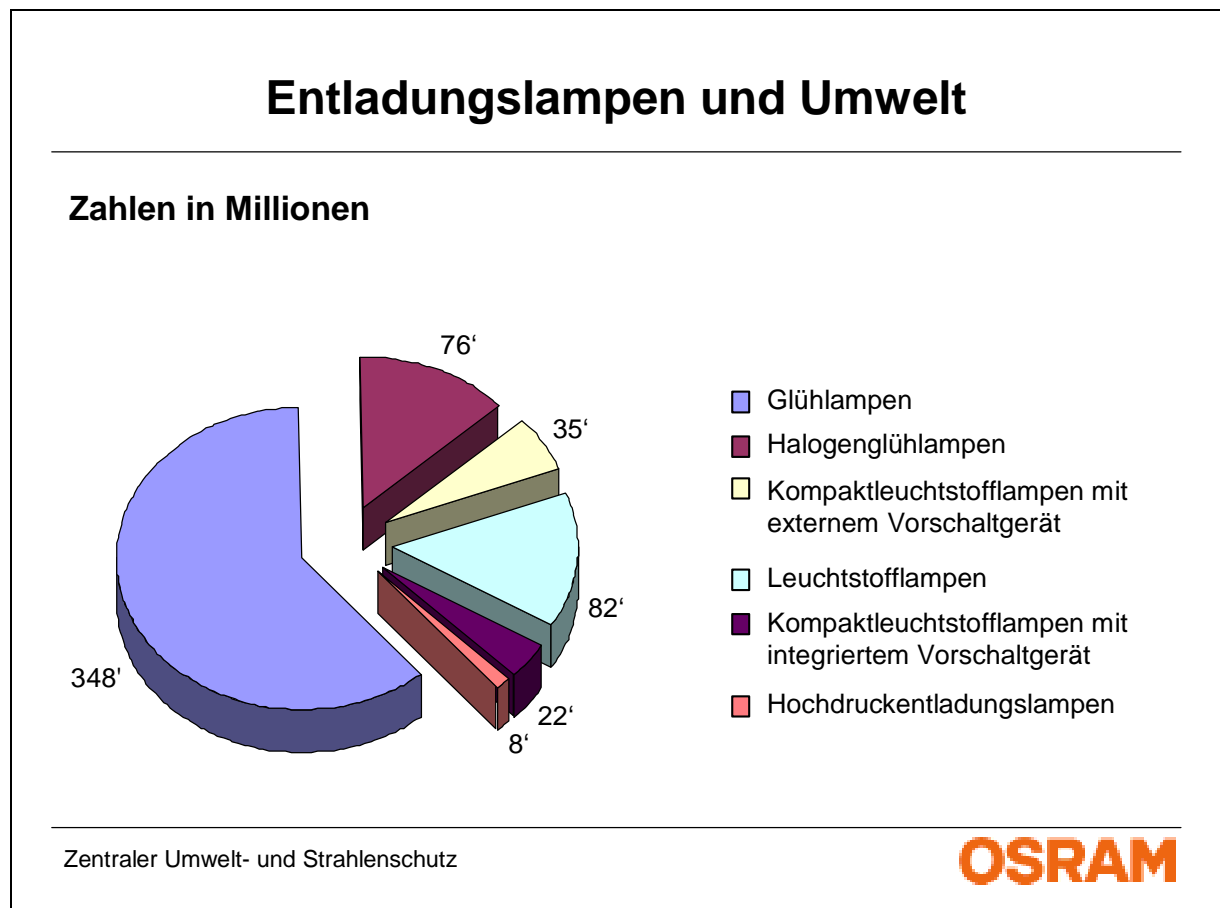
LEDs bestehen aus halbleitendem Material mit einem Gebiet mit Elektronenüberschuss (n-Gebiet) und einem Gebiet mit Elektronenfehlstellen (p-Gebiet). Die Grenze ist der sogenannte p-n-Übergang. Legt man eine elektrische Spannung an, so fließt ein elektrischer Strom durch den Halbleiter und Elektronen wandern aus den n- in den p-Bereich. Am p-n-Übergang rekombinieren die Elektronen, sie „fallen“ in die Fehlstellen und geben dabei einen Teil ihrer Energie als Licht ab (Photonen), das nach außen emittiert wird. Die Farbe des Lichtes hängt von den verwendeten Halbleitermaterialien ab.

Eine Leuchtdiode sendet nahezu einfarbiges Licht aus, dessen Farbe durch die Wahl des halbleitenden Materials bestimmt wird. In der Regel handelt es sich um sogenannte Mischkristalle. Heutige LEDs bestehen aus Galliumarsenid (GaAs), Galliumphosphid (GaP), Indiumgalliumaluminiumphosphid (InGaAlP), Galliumnitrid (GaN) oder Indiumgalliumnitrid (InGaN). Das Mischungsverhältnis der Halbleiterkristalle bestimmt die Farbe.

Um weiße LEDs zu erhalten kombiniert man blaue LEDs mit Lumineszenz-Leuchtstoffen. Das blaue Diodenlicht regt diese Farbstoffe zum Leuchten an; dabei wird ein Teil des blauen Lichts in gelbes umgewandelt. Die Mischung beider Farbanteile ergibt „weiß“. Bei OSRAM OS werden weiße Leuchtdioden in Serie produziert.

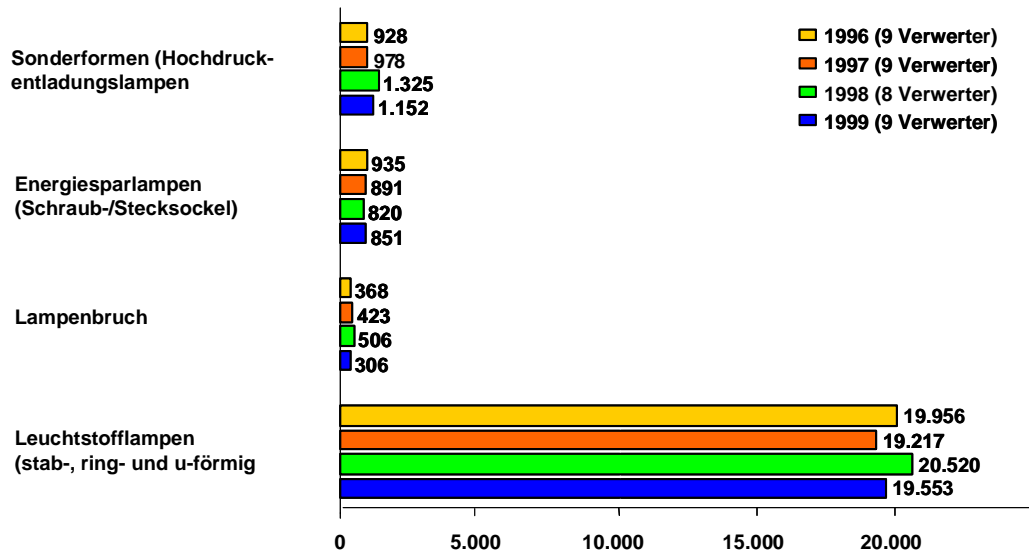
Die aufgetragenen Schichten sind nur wenige tausendstel Millimeter dick und damit die Menge der eingesetzten o.g. Stoffe äußerst gering. Eine Gefährdung der Umwelt durch diese Stoffe am Lebensdauerende der LEDs kann ausgeschlossen werden.

Recyclingverfahren für LEDs auch in der Anwendung als Module existieren bis heute nicht.



## Entladungslampen und Umwelt

### Recyclingaufkommen



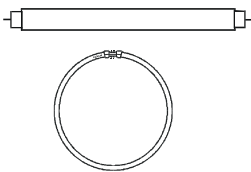
Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**

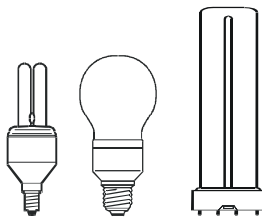
## Entladungslampen und Umwelt

### Niederdruckentladung

- Leuchtstofflampen



- Kompaktleuchtstofflampen

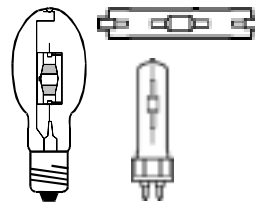


### Hochdruckentladung

- Quecksilberdampf lampen




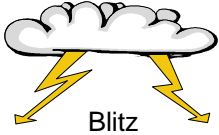


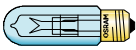


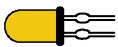
- Halogenmetaldampf lampen



Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**

## Entladungslampen und Umwelt

	Wärmestrahlung	Elektrische Strahlung	Lumineszenz	Strahlung aus Kristallen
natürliche Lichtquellen	Sonne 	Blitz 	Glühwürmchen 	kein natürliches Äquivalent
künstliche Lichtquellen	Glühlampen  Halogen-Glühlampen 	Quecksilber-Hochdruck-Lampen (ohne Leuchtstoff) Halogen-Metaldampf-Lampen Natriumdampf-Lampen 	Leuchtstoff-Lampen 	Leuchtdioden 

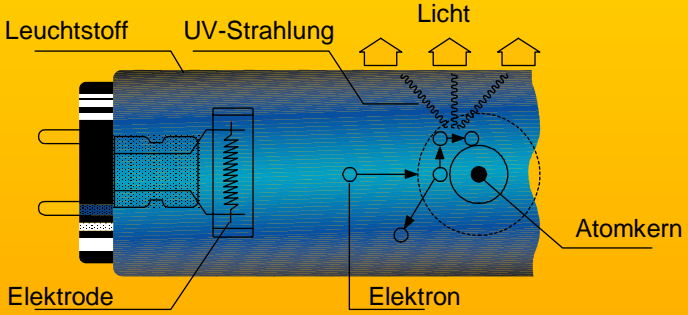
Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**

## Entladungslampen und Umwelt

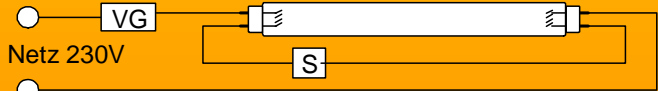
### Die Funktion der Leuchtstofflampen

**Quecksilberdampf Niederdruck**




Leuchtstoff    UV-Strahlung    Licht

Elektrode    Elektron    Atomkern



VG    Netz 230V    S

VG = Vorschaltgerät (Drossel) zur Strombegrenzung  
S = Starter zum Zünden der Lampe

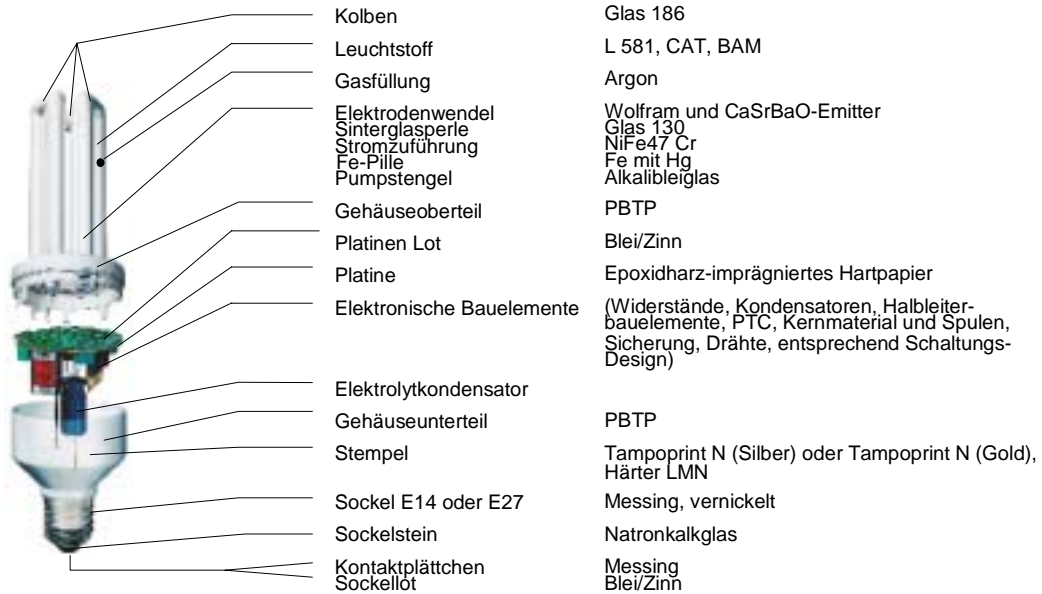
 Fördergemeinschaft Gutes Licht

Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**

## Entladungslampen und Umwelt

### Kompaktleuchtstofflampe DULUX EL

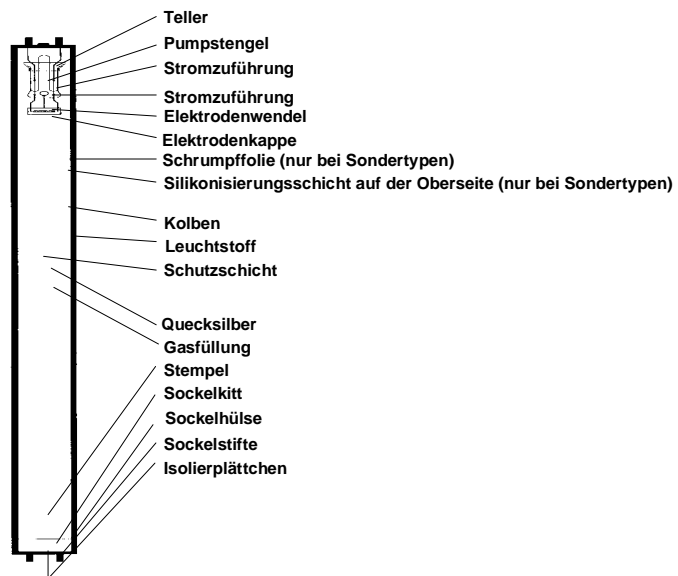


Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**

## Entladungslampen und Umwelt

### Leuchtstofflampe



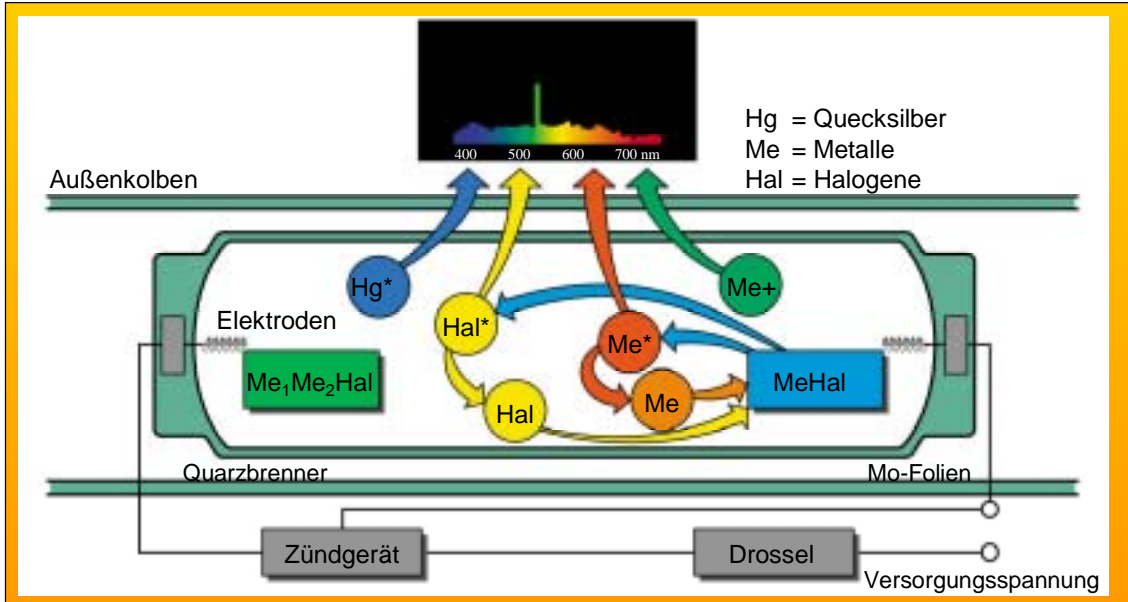
Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**



## Entladungslampen und Umwelt

### Funktionsprinzip von POWERSTAR® HQI

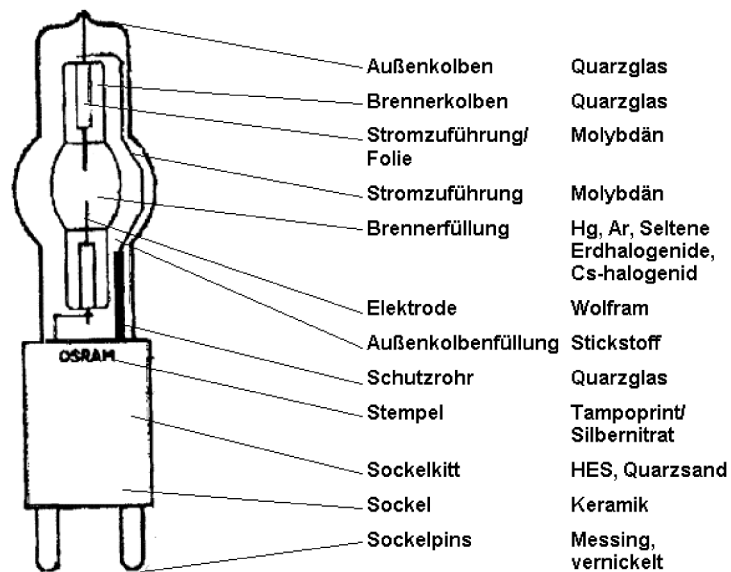


Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz



## Entladungslampen und Umwelt

### Halogenmetaldampf Lampe HMI

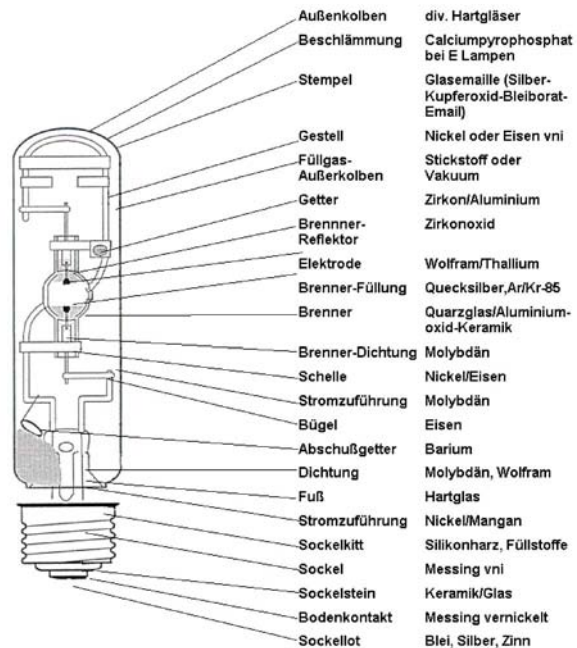


Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz



## Entladungslampen und Umwelt

### Quecksilberhochdruckle



Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**

## Entladungslampen und Umwelt

### Halogenmetaldampflampen

#### Charakteristische Daten bei verschiedenen Metalldotierungen

Dotierung	Lichtausbeute lm/W	Farbwiedergabe Ra	Farbtemperatur K	OSRAM Bezeichnung
nur Hg	45	20	6000	HQA
+ Leuchtstoff	52	50	4000	HQL
Dy, Ho, Tm, Tl	80	90	5600	HQI.../D
Dy, Ho, Tm, Tl, Na	80	85	4300	HQI.../NDL
Sn, Li, In, Tl, Na	70	80	3000	HQI.../WDL
Na, Tl, In	80	65	3600 - 7000	HQI.../N
Na, Sc	90	65	3800	HQI.../N

Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**

## Entladungslampen und Umwelt

### Umweltrelevante Stoffe

<b>Quecksilber</b>	<b>in Leuchtstoff-, HQ- und NAV-Lampen</b>				
<b>Arsen</b>	<b>seit 1979 nicht mehr verwendet</b>				
<b>Cadmium</b>	<b>seit 1980 nicht mehr verwendet</b>				
<b>Beschlammung</b>	<b>seit 1984 Wasserbeschlammung</b>				
<b>Hg-Anteil</b>	<b>Leuchtstofflampe</b>	<b>KLL</b>	<b>HQL</b>	<b>HQI</b>	<b>NAV</b>
<b>in mg</b>	<b>ca. 3 – 10</b>	<b>ca. 4</b>	<b>ca. 30</b>	<b>ca. 20</b>	<b>ca. 30</b>
<b>in Gew.-%</b>	<b>0,005</b>	<b>0,008</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>

Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**

## Entladungslampen und Umwelt

### Produktspezifische Zerlegetechnik

#### Anwendungen bei

- Hoher Anteil am Lichtmarkt
- Geringe Materialvielfalt
- Einfaches Materialrecycling

#### Typische Vertreter

- Leuchtstofflampen
- Hochdruck-Quecksilberdampf lampen

Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**

## Entladungslampen und Umwelt

### Produktspezifische Zerlegetechnik

#### Anwendung bei

- Große Typenvielfalt
- Komplizierter Produktaufbau
- Unterschiedliche Einsatzmaterialien
- Schlechte Recyclingfähigkeit der Materialien

#### Typische Vertreter

- Hochdruck-Metallhalogendampflampen
- Kompaktleuchtstofflampen

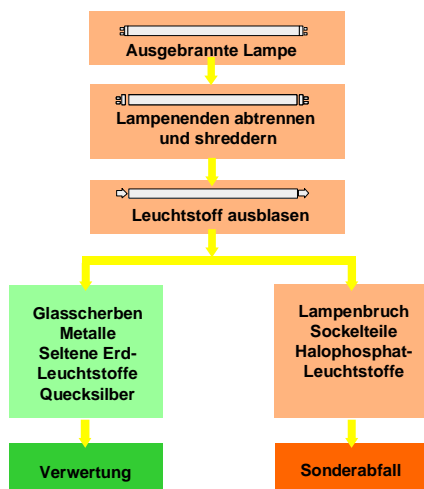
Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**

## Entladungslampen und Umwelt

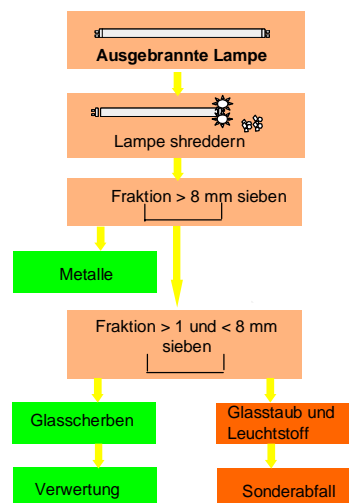
### Produktspezifische Zerlegetechnik

- Kapp-Trenn



### Produktspezifische Zerlegetechnik

- Shredderverfahren



Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**

## Entladungslampen und Umwelt

### Ökologischer Profit durch Recycling?

#### 1. Leuchtstoff

Selten-Erd-Leuchtstoffe

Ausreichender Marktanteil

Einsatz ohne Minderung der Lichtausbeute

Hoher Rohstoffpreis rechtfertigt energieintensive Aufarbeitungsprozesse

Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

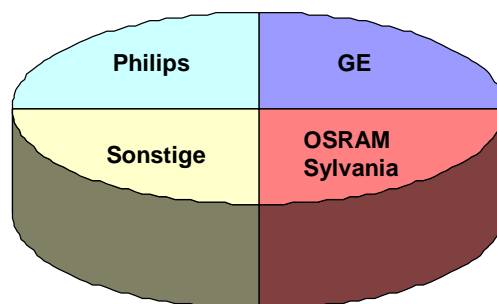
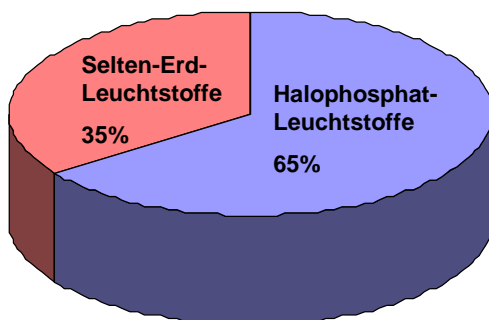
**OSRAM**

## Entladungslampen und Umwelt

### Ökologischer Profit durch Recycling?

#### 1. Leuchtstoff

Sortenreine Abtrennung durch spektrale Kennung an der Recyclinganlage



Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**

## Entladungslampen und Umwelt

### Ökologischer Profit durch Recycling?

#### 1. Leuchtstoff

Entfernung des Quecksilbers

##### 1.1 Nassverfahren

- + hohe Produktqualität
- + mittlerer Energieaufwand
- Abwasserbehandlung erforderlich
- quecksilberhaltiger Schlamm als Nebenprodukt
- o Wirtschaftliche Anlage ab 150 t/a Leuchtstoff möglich, verfügbar z.Zt. ca. 40 t/a

##### 1.2 Trockenverfahren

- hoher Energieaufwand (> 500 °C)
- + geringer apparativer Aufwand
- + wirtschaftliche Anlage auch für geringe Mengen
- + Quecksilberabscheidung aus Abluft einfach, aber Gefahr diffuser Emissionen

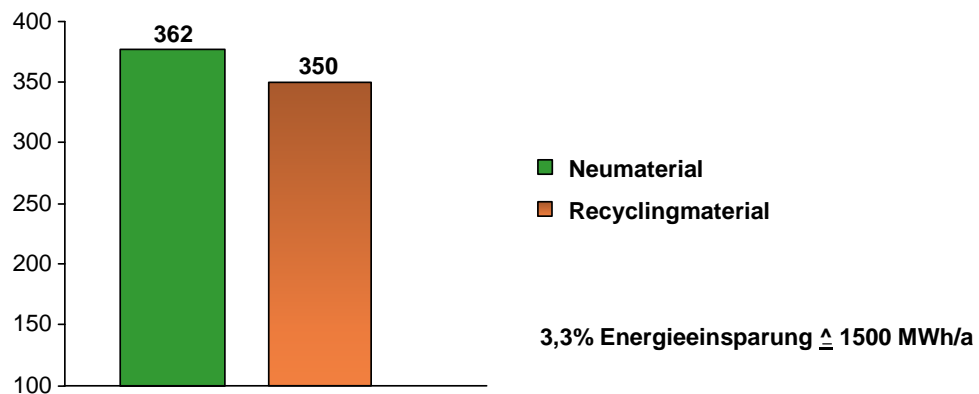
Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**

## Entladungslampen und Umwelt

### Energetischer Einfluss von Recyclingmaterialien

#### 1. Leuchtstoff



Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**

## Entladungslampen und Umwelt

### Ökologischer Profit durch Recycling?

#### 2. Glas

##### Einsatz von Recyclingmaterial

- + für Schmelze erforderlich
- + Energieeinsparung
- + Rohstoffeinsparung
- Eintrag von Fremdglas → Verschlechterung optischer Eigenschaften
- Eintrag von Metallen → Wannenschäden
- Quecksilber-Emission

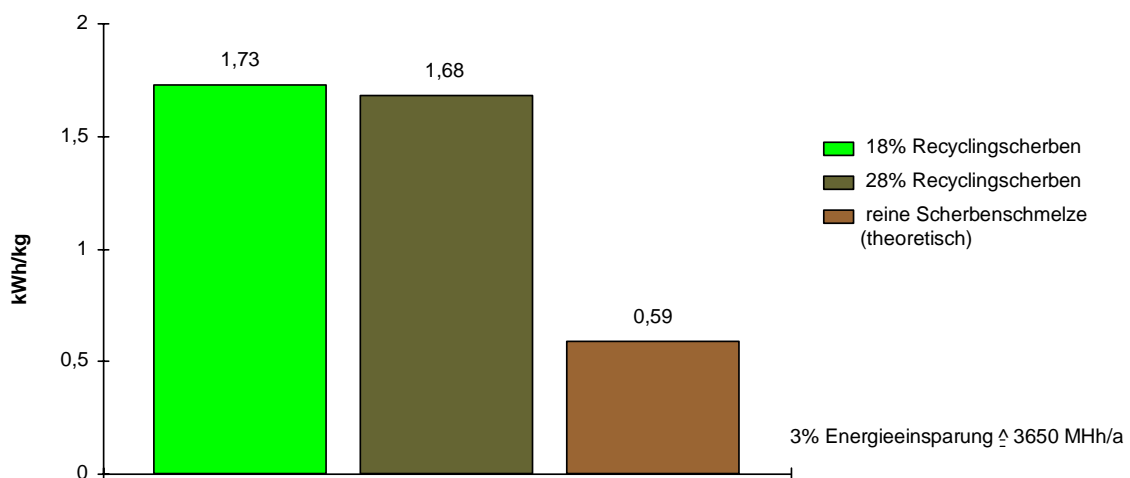
Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**

## Entladungslampen und Umwelt

### Energetischer Einfluss von Recyclingmaterialien

#### 2. Glas



Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**

## Entladungslampen und Umwelt

---

### Ökologischer Profit durch Recycling?

#### 2. Glas

##### Entfernung des Quecksilbers

##### 2.1 Thermisch im separaten Prozess

- hoher Energieaufwand (> 500 °C)
- + für alle Scherben anwendbar
- + Quecksilberabscheidung aus Abluft einfach

##### 2.2 Thermisch in der Glaswanne

- + kein zusätzlicher Energieaufwand
- + keine zusätzlichen Anlagen
- Quecksilberabscheidung aus Heißgas problematisch
- Begrenzung der Einsatzmenge je nach Quecksilbergehalt

---

Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**

## Entladungslampen und Umwelt

---

### Ökologischer Profit durch Recycling?

#### 2. Glas

##### Reduzierung des Quecksilbers

- Verringerung der Quecksilbermenge im Produkt
- Verringerung der eindiffundierten Quecksilbermengen

⇒ Änderung des Produktes

---

Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**



## Entladungslampen und Umwelt

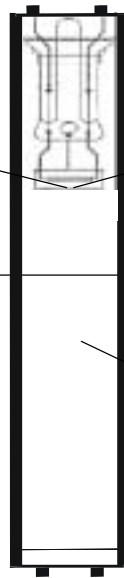
### Ökologischer Profit durch Recycling?

#### 2. Glas

#### Änderung des Produktes

Elektrodenkappe:  
Stahlband mit Hg

Leuchtstoff:  
Seltene Erdoxide  
Schutzschicht:  
 $\alpha, \gamma$ , Aluminiumoxid



Elektrodenkappe:  
Stahlband

Leuchtstoff:  
Seltene Erdoxide  
Unterschicht:  
Calciumhalophosphat

Füllung:  
Quecksilber flüssig,

Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**

## Entladungslampen und Umwelt

### Grundprinzip einer Light Emitting Diode (LED)

Querschnitt durch eine LED

- Eine Leuchtdiode besteht aus mehreren Schichten („layer“) aus halbleitendem Material
- beim Betrieb der Diode (pos. Spannung an +/-) wird in der aktiven Schicht Licht erzeugt
- das erzeugte Licht wird direkt oder durch Reflexionen ausgekoppelt
- im Gegensatz zu Glühlampen, die ein kontinuierliches Spektrum aussenden, emittiert eine LED Licht in einer bestimmten Farbe
- die Farbe des Lichts hängt vom verwendeten Material ab
- zwei Materialsysteme (AlInGaP und InGaN) werden benutzt, um LED mit hoher Helligkeit in allen Farben von Blau bis Rot und auch in Weiß (Lumineszenz-konversion) zu erzeugen

Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

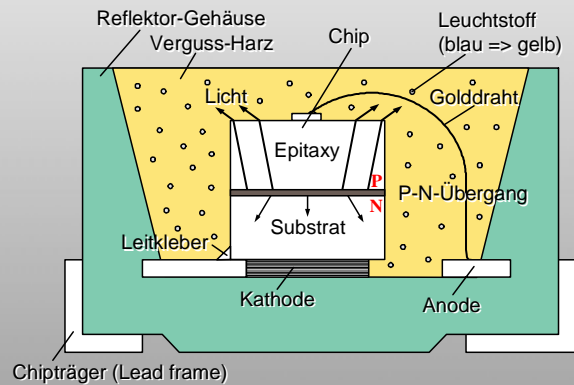
**OSRAM**

## Entladungslampen und Umwelt

### LEDs (Light Emitting Diodes) für weißes Licht (1997)

#### Funktionsweise:

Im Positiv-Negativ (P-N) Übergang setzt die Halbleiterverbindung Galliumnitrid elektrische Energie direkt in blaues Licht um. Das blaue Diodenlicht trifft auf Lumineszenzfarbstoffpartikel, die es in gelbes Licht verwandeln.



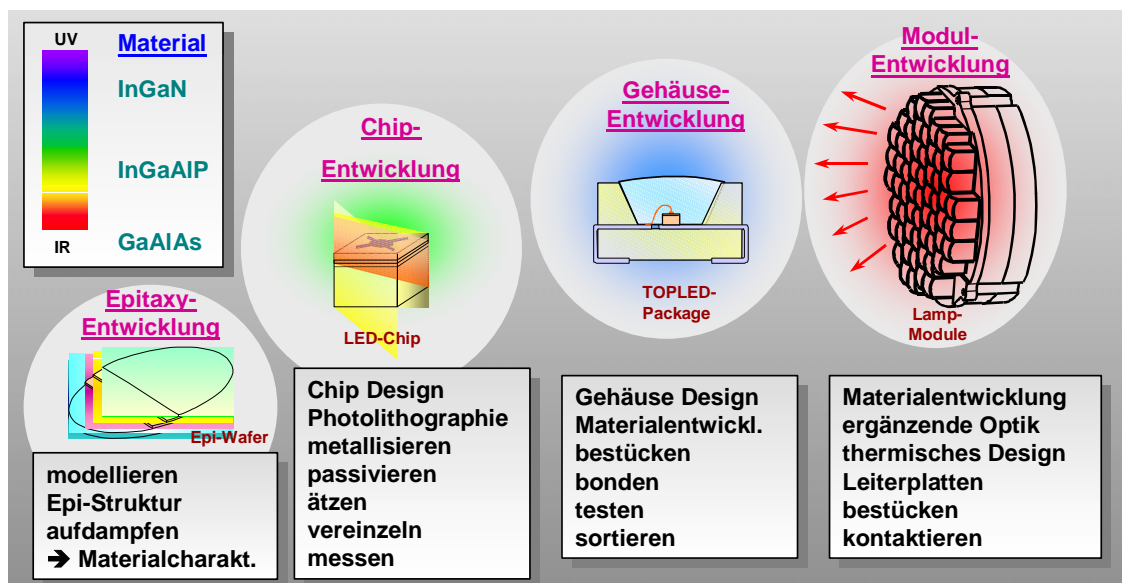
Die Mischung dieser Lichtfarben blau und gelb ergibt die gewünschte Lichtfarbe weiß, die in der Allgemeinbeleuchtung eingesetzt werden kann.

Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**

## Entladungslampen und Umwelt

### Komplexität der Opto Technologie (am Beispiel LED)



Zentraler Umwelt- und Strahlenschutz

**OSRAM**

## Gerätebatterien – von der Wiege bis zur Wiedergeburt

Eckhard Fahlbusch, VARTA Gerätebatterie GmbH

### Umweltschutz bei VARTA

#### Von der Wiege bis zur Wiedergeburt

- ➔ Umweltverträgliche Einsatzstoffe
- ➔ Umweltfreundliche Produkte
- ➔ Umweltschonende Produktion
- ➔ Sicherer Gebrauch bei sachgerechter Handhabung
- ➔ Schadloose Entsorgung aller Gerätebatterien

E. Fahlbusch  
September 2001



### Umweltschutz bei VARTA

#### Umweltverträgliche Einsatzstoffe

- ➔ Vollständige Substitution von 30 t/a **Quecksilber** in Al/Mn- und Zn/C-Rundzellen
- ➔ Substitution von 10 t/a **Quecksilber** durch vollständige Einstellung der HgO-Knopfzellenproduktion und Umstellung auf Zink-/Luft- und Lithium-Primär-Knopfzellen
- ➔ Substitution von 90 t/a **Cadmium** durch vollständige Einstellung der Ni-Cd-Knopfzellenproduktion und Umstellung auf Ni-MH-Knopfzellen
- ➔ Alle Gerätebatterien, die in Ellwangen und Dischingen produziert werden, sind **cadmium-, weitestgehend quecksilber- und bleifrei**

E. Fahlbusch  
September 2001



## Umweltschutz bei VARTA

### Umweltfreundliche Produkte

- ➔ Quecksilberfreie Al/Mn- und Zn/C-Rundzellen seit 1990
- ➔ Cadmiumfreie Ni-MH-Knopfzellen seit 1998
- ➔ Einstellung der Produktion von HgO-Knopfzellen seit Anfang 1999
- ➔ Einstellung der Produktion von NiCd-Rundzellen Ende 1999
- ➔ Aufnahme der Produktion von quecksilber- und cadmiumfreien Li-Ion- und Li-Polymer-Batterien sowie Ni-MH-Hochleistungsknopfzellen in 1999/2000

E. Fahlbusch  
September 2001



## Umweltschutz bei VARTA

### Umweltschonende Produktion

- ➔ Substitution von Quecksilber und Cadmium in der Fertigung
- ➔ Ressourcenschonung durch Materialeinsparung
- ➔ Hochautomatisierte Fertigung mit integrierten Kreislaufprozessen
- ➔ Moderne Abluft- und Abwasserbehandlungsverfahren

E. Fahlbusch  
September 2001



## Umweltschutz bei VARTA

### Sichere Anwendung

- ➔ bei sachgemäßer Handhabung entsprechend den Gebrauchsanweisungen geht von VARTA-Gerätebatterien keinerlei Gefahr aus

E. Fahlbusch  
September 2001



## Umweltschutz bei VARTA

### Schadlose Entsorgung aller Gerätebatterien

- ➔ Gründung der Stiftung GRS unter anderem auch durch VARTA
  - \* Rücknahme aller Gerätebatterien über Handel und Kommunen seit Oktober 1998
  - \* Abholung aller eingesammelten Gerätebatterien von Handel und Kommunen durch GRS seit Oktober 1998
  - \* Sortierung des eingesammelten Batteriegemisches nach Batteriesystemen durch GRS seit April 1999
  - \* Getrennte und schadlose Entsorgung der einzelnen Batteriesysteme

E. Fahlbusch  
September 2001



## Entsorgung verbrauchter Gerätebatterien

- ⊙ Die Batterieverordnung
- ⊙ Das Rücknahmesystem der Hersteller
- ⊙ Wie funktioniert das GRS
  - ⊙ Sammeln
  - ⊙ Sortieren
  - ⊙ Entsorgen
- ⊙ Mediaarbeit



- ⊙ Die Batterieverordnung
- ⊙ Das Rücknahmesystem der Hersteller
- ⊙ Wie funktioniert das GRS
- ⊙ Mediaarbeit

## Die Batterieverordnung

Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz

Produktverantwortung

EG- Richtlinien

Batterieverordnung



- ⊙ Die Batterieverordnung
- ⊙ Das Rücknahmesystem der Hersteller
- ⊙ Wie funktioniert das GRS
- ⊙ Mediaarbeit

## Die Batterieverordnung

- ⊙ Der Verbraucher hat die Pflicht, seine verbrauchten Batterien zurückzugeben;
- ⊙ Der Handel und die öffentlich- rechtlichen Entsorgungsträger müssen verbrauchte Batterien unentgeltlich zurücknehmen;
- ⊙ Hersteller und Importeure müssen Batterien vom Handel und von den Übergabestellen der öffentlich – rechtlichen Entsorgungsträger unentgeltlich zurücknehmen.



- ⊙ Die Batterieverordnung
- ⊙ Das Rücknahmesystem der Hersteller
- ⊙ Wie funktioniert das GRS
- ⊙ Mediaarbeit

## Das Rücknahmesystem der Hersteller

- ⊙ Die Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien (GRS Batterien) organisiert die Rücknahme für Gerätebatterien gemäß §4 (2) BattV.
- ⊙ Sie wurde von den Batterieherstellern Duracell, Energizer, Panasonic, Philips, Saft, Sanyo Energy, Sony, Varta und dem ZVEI gegründet und vom Senat der Freien und Hansestadt Hamburg im Mai 1998 genehmigt.



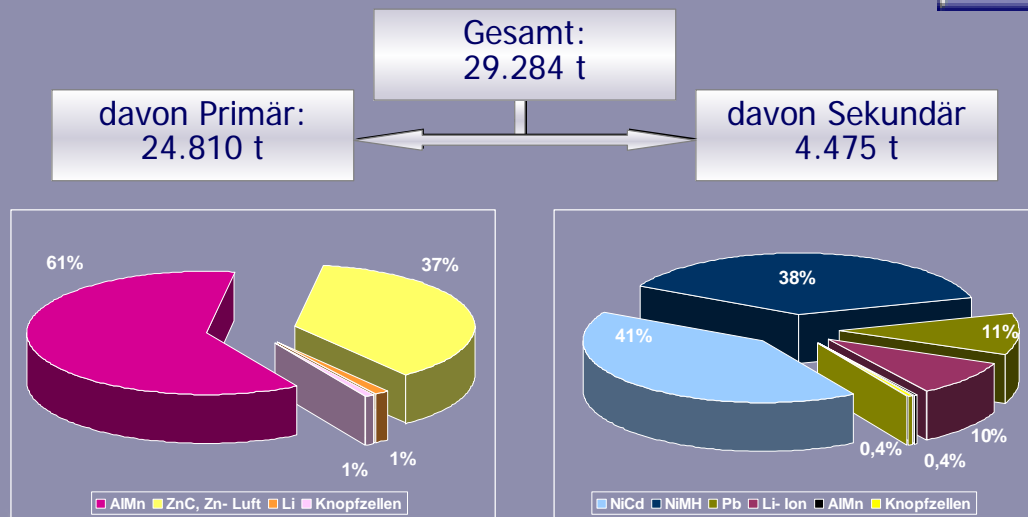
- Die Batterieverordnung
- Das Rücknahmesystem der Hersteller
- Wie funktioniert das GRS
- Mediaarbeit

## Das Rücknahmesystem der Hersteller



- Die Batterieverordnung
- Das Rücknahmesystem der Hersteller
- Wie funktioniert das GRS
- Mediaarbeit

## Absatzmenge Primär- und Sekundärbatterien



Knopfzellen = alle Systeme, beinhalten auch aus Knopfzellen aufgebaute Rundzellen

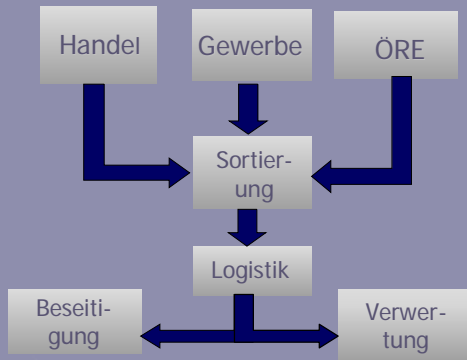




- ⊙ Die Batterieverordnung
- ⊙ Das Rücknahmesystem der Hersteller
- ⊙ Wie funktioniert das GRS
- ⊙ Mediaarbeit

## Wie funktioniert das GRS

### Das GRS gewährleistet seinen Nutzern



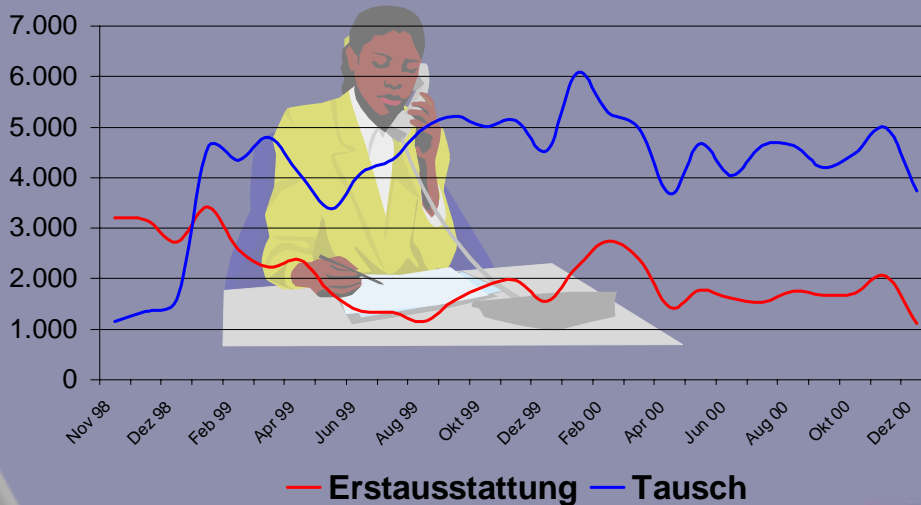
1. die Ausstattung mit Sammel- und Transportbehältern
2. die Abholung der gesammelten Gerätebatterien
3. die Sortierung in die elektrochemischen Systeme
4. den Transport zu Verwertungs- bzw. Beseitigungsanlagen
5. die ordnungsgemäße Entsorgung

und die geforderte Dokumentation gegenüber den Landesbehörden



- ⊙ Die Batterieverordnung
- ⊙ Das Rücknahmesystem der Hersteller
- ⊙ Wie funktioniert das GRS
- ⊙ Mediaarbeit

## Auftragsvolumen



- ⊙ Die Batterieverordnung
- ⊙ Das Rücknahmesystem der Hersteller
- ⊙ Wie funktioniert das GRS
- ⊙ Mediaarbeit

## Handel

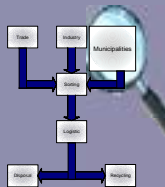


- ⊙ ca. 130.000 outlets
- ⊙ ca. 240.000 Batt- Boxen
- ⊙ ca. 460.000 Transportkartons



- ⊙ Die Batterieverordnung
- ⊙ Das Rücknahmesystem der Hersteller
- ⊙ Wie funktioniert das GRS
- ⊙ Mediaarbeit

## Öffentlich- rechtliche Entsorgungsträger/ Gewerbe

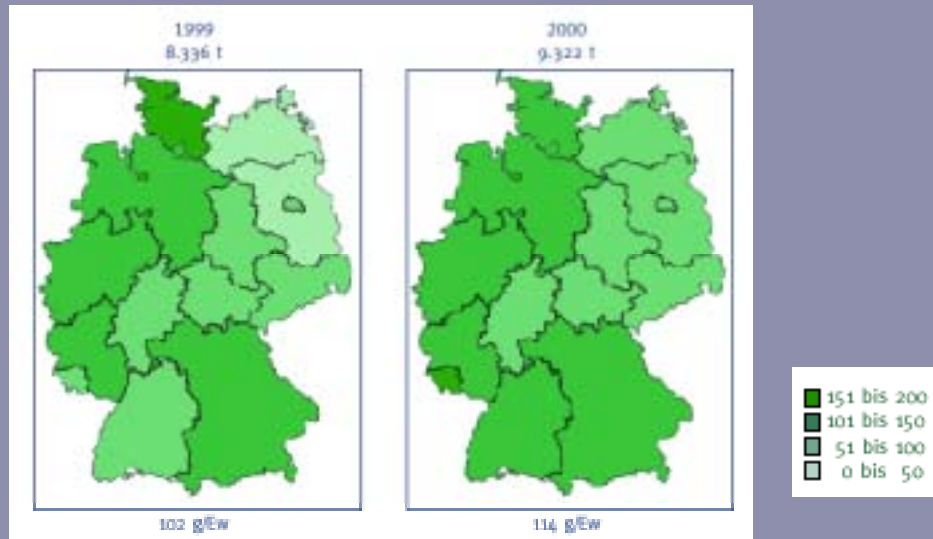


- ⊙ ca. 60.000 Fässer
- ⊙ mehr als 1.000 ö.-r. Übergabestellen
- ⊙ Sammlung in 60-l/ 120 l- Fässer



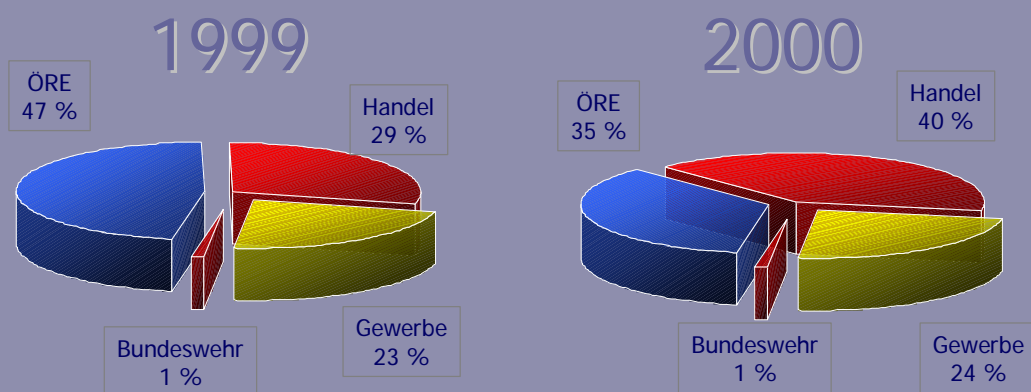
- Die Batterieverordnung
- Das Rücknahmesystem der Hersteller
- Wie funktioniert das GRS
- Mediaarbeit

## Rücknahmemenge pro Bundesland (g/Ew)



- Die Batterieverordnung
- Das Rücknahmesystem der Hersteller
- Wie funktioniert das GRS
- Mediaarbeit

## Rücknahmemenge nach Herkunft

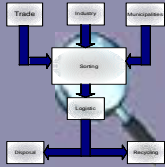


	Handel (t)	Gewerbe (t)	ÖRE (t)
1999	2.846	1.524	3.996
2000	3.729	2.331	3.263



- ⊙ Die Batterieverordnung
- ⊙ Das Rücknahmesystem der Hersteller
- ⊙ Wie funktioniert das GRS
- ⊙ Mediaarbeit

## Die Anforderungen an die Sortierung

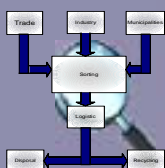


- ⊙ nach elektrochemischen Systemen:
- ⊙ Blei
- ⊙ Nickel- Cadmium
- ⊙ Nickel- Metallhydrid
- ⊙ Silberoxid
- ⊙ Quecksilberoxid
- ⊙ Lithium (primär)
- ⊙ Lithium- Ion
- ⊙ Zink- Luft
- ⊙ Zink- Kohle, Hg- haltig/ Hg- frei
- ⊙ Alkali- Mangan, Hg- haltig/ Hg- frei



- ⊙ Die Batterieverordnung
- ⊙ Das Rücknahmesystem der Hersteller
- ⊙ Wie funktioniert das GRS
- ⊙ Mediaarbeit

## Die Anforderungen an die Sortierung



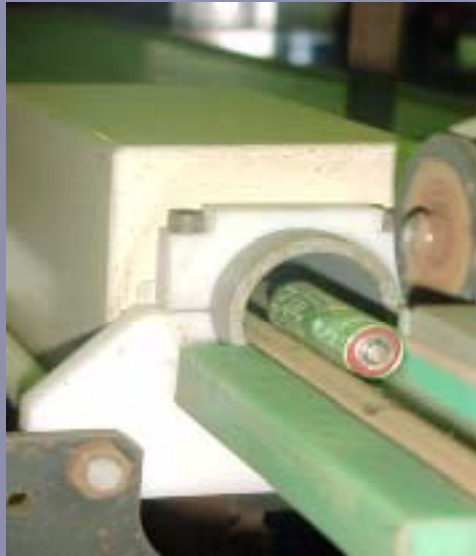
- ⊙ nach elektrochemischen Systemen
- ⊙ automatische Sortierung der Rundzellen
- ⊙ Hg- Identifizierung durch UV- Detector
- ⊙ Reinheit mindestens 98% (Ni-Cd und NiMH 99%)
- ⊙ Sortierung der Powerpacks
- ⊙ Identifizierung von "Trittbrettfahrern"



- Die Batterieverordnung
- Das Rücknahmesystem der Hersteller
- Wie funktioniert das GRS
- Mediaarbeit

## Der Trimag- Sensor

**Elektro-  
magnet.  
Sensor**



- NiCd
- NiMH
- Li



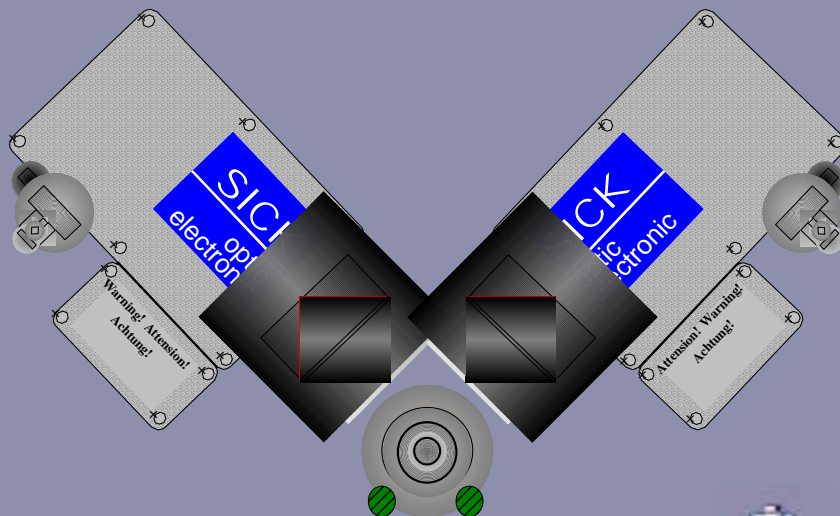
- Die Batterieverordnung
- Das Rücknahmesystem der Hersteller
- Wie funktioniert das GRS
- Mediaarbeit

## Der Sick- Sensor

**UV-  
Sensor**



- ZnC, Hg-frei
- AlMn, Hg-frei



- ⊙ Die Batterieverordnung
- ⊙ Das Rücknahmesystem der Hersteller
- ⊙ Wie funktioniert das GRS
- ⊙ Mediaarbeit

## Sicht auf die Sortieranlage



- ⊙ Die Batterieverordnung
- ⊙ Das Rücknahmesystem der Hersteller
- ⊙ Wie funktioniert das GRS
- ⊙ Mediaarbeit

## Die Entsorgung



- ⊙ ZnC, AlMn, Zn-Luft mit 0% Hg (u.a. Zinkhütte, Wälzrohr)
- ⊙ Teilstrom quecksilberhaltiger AlMn und ZnC (Elektrostahlofen)

⊙ Hg- haltige ZnC und AlMn zur Sonderabfalldeponie

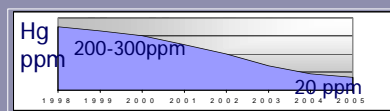
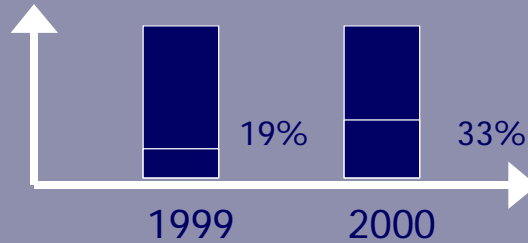
⊙ alle anderen elektrochemischen Systeme recycelt



- Die Batterieverordnung
- Das Rücknahmesystem der Hersteller
- Wie funktioniert das GRS
- Mediaarbeit

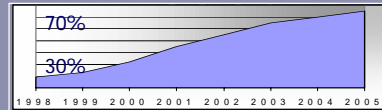
## Die Entsorgung

Verhältnis  
verwertet/gesammelt



Quecksilbergehalt

Verwertung



- Die Batterieverordnung
- Das Rücknahmesystem der Hersteller
- Wie funktioniert das GRS
- Mediaarbeit

## Die Entsorgung

Etablierung von Verwertungsverfahren  
in der Metallindustrie und andere Prozesse

Entwicklung und Etablierung von Verfahren

- Wälz- Ofen
- Zink- Hütte
- Stahlindustrie
- Manganindustrie
- Hydrometallurgische Prozesse



- ⊙ Die Batterieverordnung
- ⊙ Das Rücknahmesystem der Hersteller
- ⊙ Wie funktioniert das GRS
- ⊙ Mediaarbeit

## Forschung und Entwicklung

in den Bereichen:

- ⊙ Sortierung
- ⊙ Qualitätssicherung
- ⊙ Verwertung
- ⊙ Transportsicherheit
- ⊙ Trittbrettfahrer

- ⊙ Evaluierung des Anteils an Trittbrettfahrern bei Rundzellen und Power Packs



- ⊙ Die Batterieverordnung
- ⊙ Das Rücknahmesystem der Hersteller
- ⊙ Wie funktioniert das GRS
- ⊙ Mediaarbeit

## Mediaarbeit

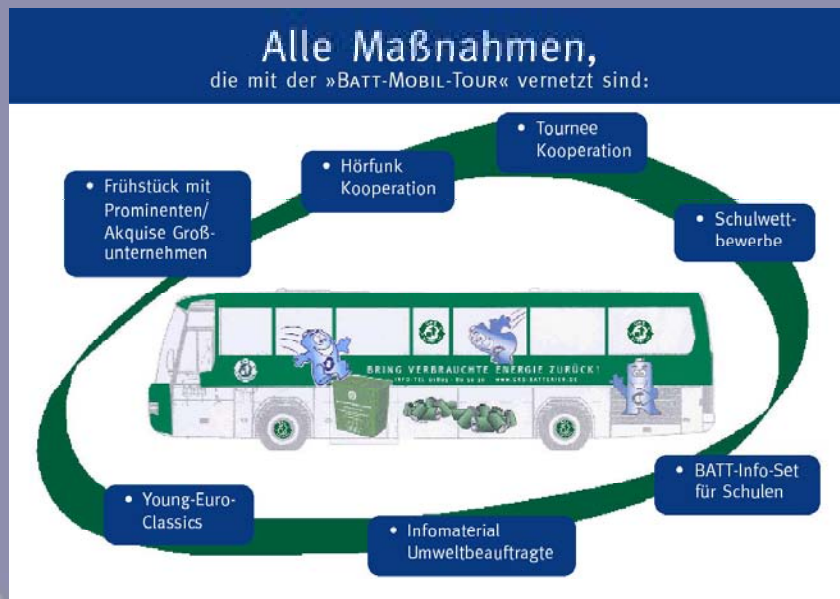
- ⊙ TV-Offensive BATT-Man (Spots, Pumuckl-TV) für Endverbraucher
- ⊙ Pilotaktionen Promotion (Sail, Cuxbau) für Jugendliche/ Endverbraucher
- ⊙ Pressearbeit (PP, TP, FP) für Umwelt-, Handels- und Verbraucherredaktionen
- ⊙ Gewinnspielkooperationen (Hörfunk, PP) für Endverbraucher
- ⊙ Kommunikationsoffensive ÖRE (Abfallkalender etc.) für ÖRE/ Endverbraucher
- ⊙ Neugestaltung BATT-Box/ Transportkarton für Handel/ Endverbraucher
- ⊙ Relaunch Internet für Handel, Schulen, ÖRE, Nutzer etc.
- ⊙ Schulprojekte
- ⊙ Batt- Man on tour





- Die Batterieverordnung
- Das Rücknahmesystem der Hersteller
- Wie funktioniert das GRS
- Mediaarbeit

## Öffentlichkeitsarbeit 2001



## Wir sind für Sie da:

Stiftung  
Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien



Heidenkampsweg 44

D- 20097 Hamburg

Tel +49- 40 23 77 88

Fax +49- 40 23 77 87

<http://www.grs-batterien.de>

e-mail: [info@grs-batterien.de](mailto:info@grs-batterien.de)



# Entsorgung und Verwertung verbraucher Gerätebatterien

## Zusammenfassung/ I

Verfahren	a) Wälzofen	b) Imperial Smelting Furnace/ ISF	c) Electric Arc Furnace/ EAF/ Stahl
<b>Anlage (Beispiele)</b>	BUS, Freiberg	MHD M.I.M., Duisburg	Nedstaal, Niederlande ASW, GB
<b>Input Batterien</b>	10- 20%	2-3%	2- 3%
<b>Produkt</b>	Zinkoxid Schlacke (alk.)	Zink Schlacke	Zink- Staub Schlacke Stahl



# Entsorgung und Verwertung verbraucher Gerätebatterien

## Zusammenfassung/ II

Verfahren	d) Electric Arc Furnace/ EAF/ Ferromangan	e) Blasstahlofen/ Ferromangan	f) Oxy- Reducer
<b>Anlage (Beispiele)</b>	Valdi, Feurs (Frankreich)	DK, Duisburg	Citron, Le Havre (Frankreich)
<b>Input Batterien</b>	100%	2-3%	100%
<b>Produkt</b>	Zink- Staub Schlacke Manganstahl	Zink- Staub Blei Schlacke Roheisen	Zinkoxid Nickel- Cobalt- Legier. Eisen Manganoxid Quecksilber



## Flammschutzmittel und Schwermetalle in Kunststoffen

**Dr. Marion Wolf, Institut für Anorganische Chemie I, Universität Erlangen-Nürnberg**

In vielen Industriebereichen ist der Einsatz von Kunststoffen für die technologische Entwicklung von großer Bedeutung. Elektro- und Elektronikgeräten besitzen einen sehr hohen Kunststoffanteil, bei Haushaltskleingeräten liegt er beispielsweise nach Literaturangaben<sup>1</sup> bei über 50 Gewichtsprozent.

Kunststoffe lassen sich auf gewünschte Produkteigenschaften zuschneiden. Die Polymermatrix bestimmt die mechanischen und optischen Eigenschaften der Kunststoffe.

Durch den Einsatz von Additiven können diese Eigenschaften auf vielfältige Weise modifizieren werden. Organische und anorganische Verbindungen kommen als Flammschutzmittel, UV- und Thermostabilisatoren oder Pigmente zum Einsatz.

Einige Beispiele für solche Additive sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Der Einsatz einiger in den Additiven enthaltener Elemente ist oder wird aufgrund nationaler und internationaler Vorschriften beschränkt. Solche Grenzwerte existieren beispielsweise für den Gehalt an Cadmium, welcher 100 ppm<sup>2</sup> nicht überschreiten darf.

Die geplante EU- Direktive über Abfälle von elektrischen und elektronischen Geräten<sup>3</sup> verbietet den Einsatz von Blei, Cadmium und Chrom(VI)- Verbindungen mit einigen Ausnahmen ohne Nennung irgendwelcher Grenzwerte.

Somit müssen die Hersteller elektronischer Geräte Informationen über die Zusammensetzung ihrer Gehäusekunststoffe besitzen. Außerdem erschwert die Vielfalt der als Additive eingesetzten Stoffe die nachhaltige Wiederverwendung der technischen Kunststoffe.

Während bei der thermischen Verwertung vor allem der Gehalt an chlorierten bzw. bromierten Verbindungen von besonderem Interesse ist, gewinnen beim werkstofflichen Recycling andere Parameter große Bedeutung.

Materialien, die verbotene oder unerwünschte Stoffe in zu hohen Konzentrationen enthalten, sind vom Recycling auszuschließen.

Das betrifft auch Kunststoffe, welche Substanzen enthalten, die während des Recyclings die Bildung solcher verbotenen Stoffe hervorrufen oder katalysieren.

Ebenso müssen Stofffraktionen entfernt werden, welche die werkstofflichen Eigenschaften der Recyclate aufgrund von Additivunverträglichkeiten ungünstig beeinflussen.

---

<sup>1</sup> Schlögl, M: Recycling von Elektro- und Elektronikschrott, 1. Aufl., Vogel Verlag, Würzburg, 1995.

<sup>2</sup> G. Wohlfahrt, in Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Nr. L 186/59 (1991).

<sup>3</sup> Proposal for a Directive on Waste from Electrical and Electronic Equipment (WEEE), 4. Draft Version, European Commission Environment Directorate – General XI, May 10, 2000.

Tab. 1: Beispiele für Additive in Kunststoffen<sup>1</sup>

<b>Farbmittel</b>	weiß	TiO <sub>2</sub> , ZnO, ZnS, 2PbCO <sub>3</sub> *Pb(OH) <sub>2</sub>
	schwarz	C (Ruß), Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , Cu(Cr,Fe) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
	rot	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Cd(S,Se)
	gelb	(Ti,Ba,Sb)O <sub>2</sub> , (Ti,Ni,Sb)O <sub>2</sub> , (Cd,Zn)S, PbCrO <sub>4</sub>
	braun	(FeO) <sub>x</sub> *(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>y</sub>
	blau	(Co,Al,Cr)O
	grün	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (Co,Al,Ti,Ni,Zn)O
<b>Füllstoffe</b>	Verstärker	CaCO <sub>3</sub> , CaSO <sub>4</sub> , SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *SiO <sub>2</sub> *2H <sub>2</sub> O, 3MgO*4SiO <sub>2</sub> *H <sub>2</sub> O, CaSiO <sub>3</sub>
	Schallschutzmatten, Strahlenschutz	BaSO <sub>4</sub>
	hoher Brechungsindex, transparente Erzeugnisse	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	elektr. Eigenschaften	BaTiO <sub>3</sub>
	magnet. Eigenschaften	BaFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
<b>Flammschutzmittel</b>	Organische	P-, Cl- bzw. Br-haltige Kohlenwasserstoffe unterschiedlicher Struktur
	Anorganische	Al(OH) <sub>3</sub> , NaAl(OH) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , Ca/MgCO <sub>3</sub> *H <sub>2</sub> O, MgCO <sub>3</sub> *H <sub>2</sub> O, Zn(BO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> *2H <sub>2</sub> O
	Synergist für organische Flammschutzmittel	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<b>Stabilisatoren</b>	Organozinnverbindungen	Sn
	Carboxylate oder Seifen	Ba, Cd- haltig Ba, Zn- haltig Pb- haltig

### Qualitative Untersuchungen der Inhaltsstoffe von Kunststoffen

Zur Bestimmung der häufig in Kunststoffen der Elektrotechnik enthaltenen Elemente wurde eine große Anzahl solcher Proben mit energiedispersiver Röntgenfluoreszenzanalyse (EDRFA) qualitativ untersucht.

Abbildung 1 zeigt ein typisches Spektrum des flammgeschützten braunen Gehäusekunststoffs eines ca. 15 Jahre alten TV-Gerätes.

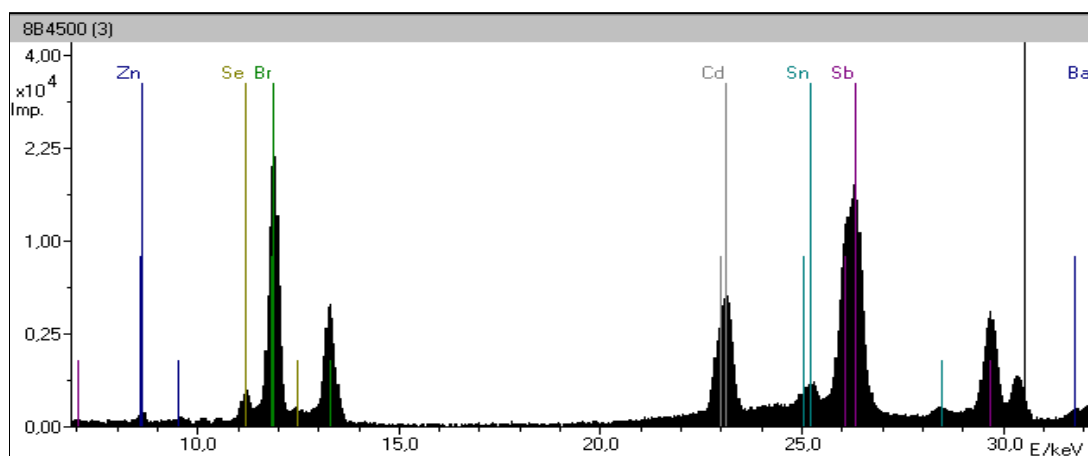


Abb. 1: EDRFA Spektrum des Gehäusekunststoffs eines TV-Gerätes (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Target; Messzeit 100 s)

<sup>1</sup> R. Gächter, H. Müller, Plastic Additives, 4. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, (1993).

Neben Brom aus dem Flammenschutzmittel ist im Spektrum Antimon zu erkennen, welches in Form von  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  als Flammschutzmittelsynergist eingesetzt wird. Der hohe Gehalt von Cadmium zusammen mit dem Auftreten von Selen deutet auf einen Einsatz von CdSe als anorganisches Pigment hin. Weitere Additive enthalten Zinn, Barium und Zink.

Abbildung 2 gibt eine Zusammenfassung der Häufigkeit des Auftretens bestimmter Elemente in den untersuchten Kunststoffen.

Ausgewertet wurden dazu die Spektren von 188 Proben, die nach einer durchschnittlichen Nutzungszeit von 20 Jahren (TV-Geräte) bzw. 10 Jahren (Computer- und Druckergehäuse) beim Verwerterbetrieb zur Entsorgung anfielen.

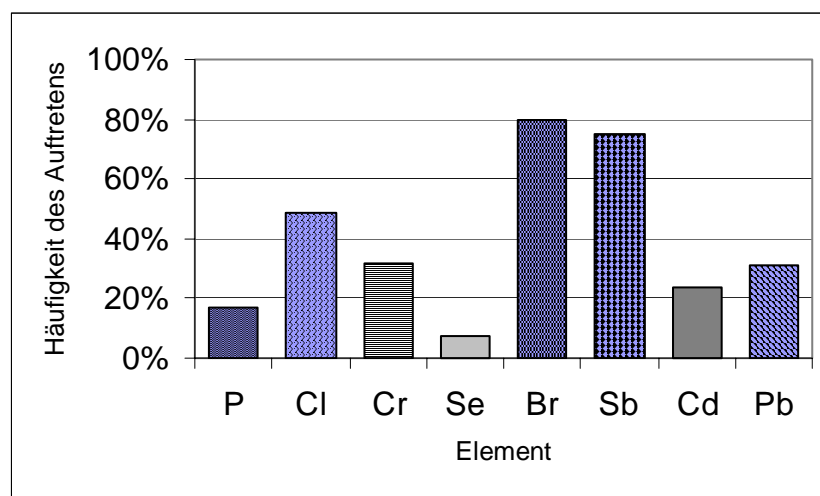


Abb. 2: Häufigkeit des Auftretens verschiedener Elemente in Gehäusekunststoffen

### Kunststoff-/ Flammschutzmittelkombinationen

Es wurden insgesamt 276 verschiedene Gehäusekunststoffe von Elektronikaltgeräten auf ihren Kunststofftyp und die darin eingesetzten Flammenschutzmittel untersucht. Die untersuchten Gerätekunststoffe waren 141 Rückwände von TV-Geräten (Probengruppe FRW) und 135 Gehäuse von Geräten aus der Datenverarbeitung wie Computer, Drucker oder Monitore (Probengruppe PC). In Abbildung 3 ist die Häufigkeit des Auftretens der einzelnen Kunststoff-/ Flammschutzmittelkombinationen in den beiden Produktgruppen gezeigt. Während bei den TV-Geräten die Rückwände zu über 50 % aus schlagfestem Polystyrol bestehen, überwiegt bei den Gehäusen der Monitore, u.ä. Acrylnitril-Butadien-Styrol als Hauptkunststoffkomponente. 37 % der Fernseherrückwände und 20 % der PC's waren nicht flammgeschützt. Der Anteil der inhärent flammwidrigen Proben beträgt bei den Geräten der Datenverarbeitung 22 % gegenüber nur 7 % bei den TV-Geräten.

Auch beim Einsatz der Flammenschutzmittel (FSM) sind Unterschiede erkennbar. Von den untersuchten Fernseherrückwänden waren 30 % mit polybromierten Diphenylethern (OCTA, DECA) flammgeschützt und 9 % mit Octabrombiphenyl (OBB). Bei den Gehäusen von Datenverarbeitungsgeräten waren dagegen nur 16 % mit polybromierten Diphenylethern flammgeschützt, aber 17 % mit Tetrabrombisphenol A (TBBPA) und 15 % mit 1,2-Bis(tribromphenoxy)ethan.

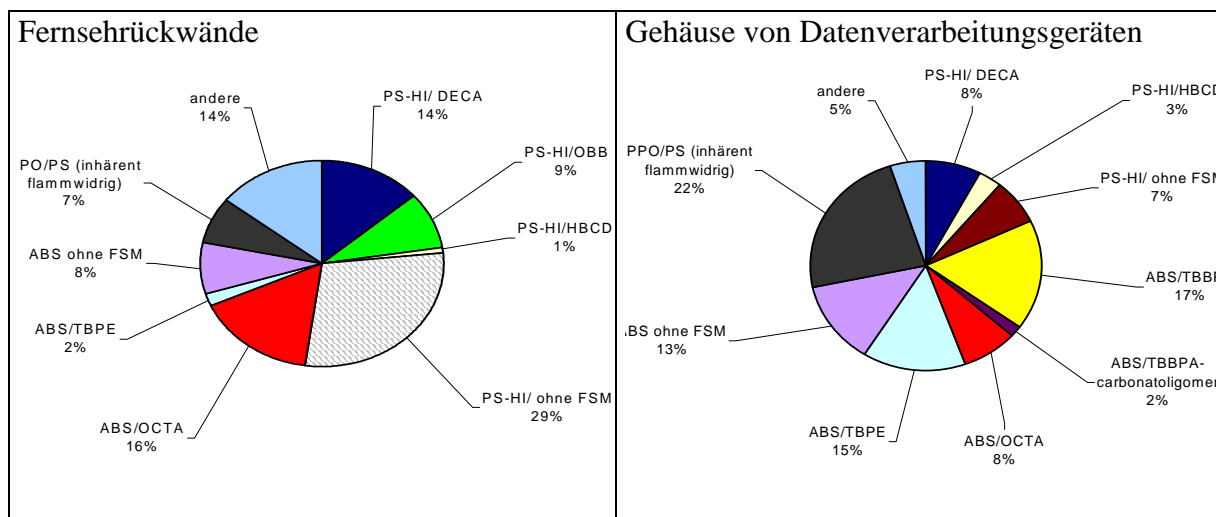


Abb. 3: Anteil verschiedener Kunststoff-/Flammschutzmittelkombinationen bei Fernsehrückwänden und Datenverarbeitungsgeräten

Erklärt werden können die beobachteten Unterschiede mit dem unterschiedlichen Alter der Geräte. Wie in Abbildung 4 zu erkennen ist, gelangen die Geräte aus der Datenverarbeitung nach einer durchschnittlichen Nutzungszeit von zehn Jahren zum Entsorger, während TV-Geräte doppelt so lange genutzt werden.

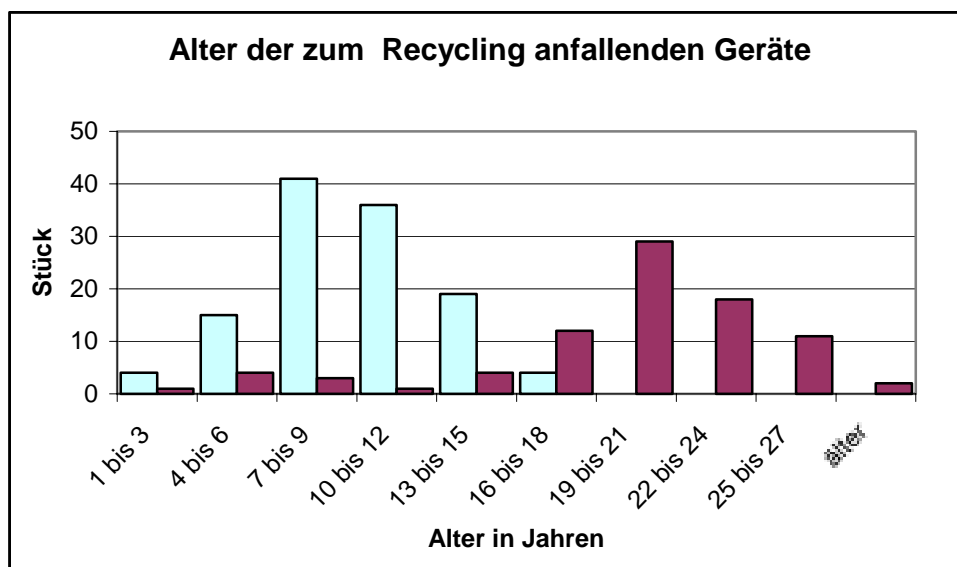


Abb. 4: Alter der beim Verwerter anfallenden Geräte: Geräte aus der Datenverarbeitung (hell); TV-Geräte (dunkel)

### Schadstoffhaltigkeit von Altkunststoffen

Es wurde die Häufigkeit des Auftretens unterschiedlicher Elementkonzentrationen in Altkunststoffen mit energiedispersiver Röntgenfluoreszenzanalyse (EDRFA) untersucht. Dazu wurde ein Testsatz von 149 verschiedenen Kunststoffproben (35 Fernsehrückwände und 114 Monitorgehäuse) bei einer Recyclingfirma ausgewählt und die Elemente Brom, Chrom, Selen, Cadmium, Antimon bzw. Blei bestimmt. Als Hauptkunststoffkomponenten wurden Acrylnitril-Butadien-Styrol ABS (81 Proben), schlagfestes Polystyrol PS-HI (33), Polyphenylenoxid-Polystyrol Copolymer PPO/PS (26), Polystyrol PS (7) und Polycarbonat PC (2) gefunden. Die Ergebnisse der Elementbestimmungen sind in Abbildung 5 zusammengefasst.

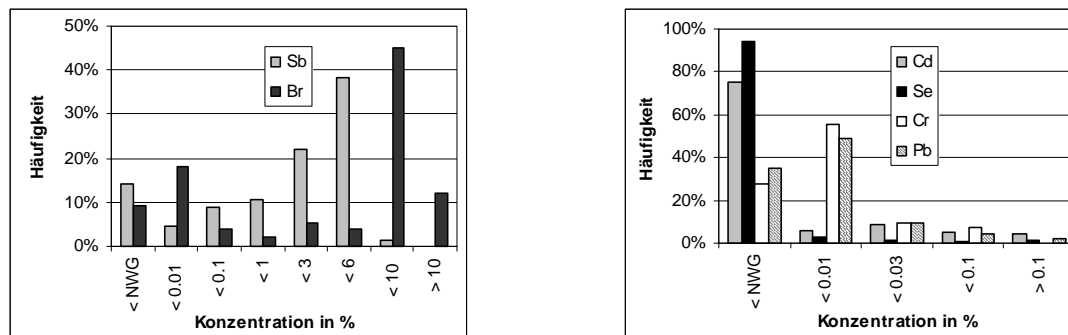


Abb. 5: Häufigkeit des Auftretens verschiedener Elementkonzentrationen in den untersuchten Altkunststoffen

Etwa 70 % der untersuchten Kunststoffe waren mit bromhaltigen Flammenschutzsystemen ausgestattet, wobei in 45 % der Fälle ein **Brom**gehalt zwischen 6 und 10 % (m/m) festgestellt wurde. 12 % der Kunststoffe wiesen sogar einen Bromgehalt von > 10 % auf. Die höchste gefundene Bromkonzentration lag bei 12,8 %.

Ebenfalls etwa 70 % der Proben wiesen höhere Konzentrationen an **Antimon** auf, was auf die Verwendung von  $Sb_2O_3$  als Synergist halogenhaltiger Flammenschutzmittel zurückzuführen ist. Die meisten dieser Proben enthielten zwischen 3 und 6 % Antimon. Hohe Antimonkonzentrationen bereiten Probleme bei der thermischen Verwertung von Altkunststoffen und beeinflussen auch die werkstofflichen Eigenschaften von recycelten Materialien. Antimon steht weiterhin im Verdacht, den plötzlichen Kindstod hervorzurufen<sup>1,2</sup>.

**Selen** wurde nur in 7 % der Proben mit einer Konzentration größer der Nachweisgrenze festgestellt. Alle selenenthaltenden Kunststoffe wiesen auch höhere Cadmiumkonzentrationen auf, was auf die Verwendung von CdSe-haltigen Pigmenten hindeutet. Selen bzw. dessen Verbindungen sind giftig und sollen daher nach Möglichkeit vermieden bzw. vom Recycling ausgeschlossen werden.

In 25 % aller Proben wurde **Cadmium** gefunden. 28 Altkunststoffe (entsprechend 19 %) wiesen Cd in Konzentrationen größer 100  $\mu\text{g/g}$  (Grenzwert) auf. Sieben Proben enthielten mehr als 1000  $\mu\text{g/g}$  und die höchste gefundene Konzentration lag bei 12.000  $\mu\text{g/g}$ , also dem 120-fachen des Grenzwertes. 24 der 28 Cd-belasteten Altkunststoffe bestanden aus ABS. Fünf dieser Materialien entstammten Geräten mit einem Baujahr nach 1990, wobei diese alle in Asien (China, Taiwan, Korea) hergestellt wurden. In Kunststoffen wurde und wird CdS bzw. CdS/Se häufig als anorganisches Gelb- oder Rotpigment eingesetzt. Weitere Quellen für Cd sind die Verwendung gemischter Barium- und Cadmiumcarboxylate als Stabilisatoren. Die Abscheidung cadmiumhaltiger Verbrennungsgase erfordert einen hohen technischen Aufwand in den Müllverbrennungsanlagen<sup>3</sup>.

Lediglich in etwa 30 % der Altmaterialien konnte kein **Blei** bzw. **Chrom** nachgewiesen werden. Allerdings treten beide Elemente meist im Spurenbereich, also in Konzentrationen von bis zu 100  $\mu\text{g/g}$  auf. Konzentrationen größer 100  $\mu\text{g/g}$  fanden sich in 25 (Cr) bzw. 24 (Pb) Proben. Verwendung finden Bleiverbindungen vor allem als Bestandteile von Pigmenten und in Form von Carboxylaten als Stabilisatoren. Nach dem Entwurf zu einer Europäischen Elektronikschrottrichtlinie soll die Verwendung von Bleiverbindungen mit Ausnahme von bleihaltigen Keramiken zum Jahr 2004 auslaufen<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> T.J. Boex, C. Padgham, P.A. Nurse, C.C. Platt, P. Cox, J.S. Wigglesworth, Antimony and Sudden Infant Death Syndrome, *Lancet*, 351 (1998) 1102-1103.

<sup>2</sup> M. Thompson, I. Thornton, Antimony in the domestic environment, *Environ. Technol.*, 18 (1997) 117-119.

<sup>3</sup> R. Martin, Monoverbrennung von Kunststoffen in „Die Wiederverwertung von Kunststoffen“ hersg. Von J. Brandrup, M. Bittner, W. Michaeli, G. Mendes, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1995.

<sup>4</sup> Proposal for a Directive on Waste from Electrical and Electronic Equipment (WEEE), 4. Draft Version, European Commission Environment Directorate – General XI, May 10, 2000.

Geringe Chromkonzentrationen lassen sich auf den Abrieb von Maschinenteilen aus rostfreiem Stahl während der Herstellung und Verarbeitung der Kunststoffe zurückführen.

### Bildung von polybromierten Dibenzodioxinen und Furanen während des Recyclings

Es wurden die in Tabelle 2 aufgeführten Fraktionen von Altkunststoffen (Fernsehrückwände und Gehäuse von Geräten aus der Datenverarbeitung) im Doppelschneckenextruder regranuliert und die einzelnen Fraktionen auf ihren Gehalt an polybromierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen (PBDD und PBDF) untersucht.<sup>1</sup>

Für das Recycling kommen nur die Fraktionen in Frage, bei denen die Grenzwerte der Chemikalienverbotsverordnung an polybromierten Dioxinen und Furanen nicht überschritten werden.

Die Fraktionen ABS / TBPE, HIPS / DECA und ABS / OCTA überschreiten bereits vor der Extrusion einen bzw. sogar beide Grenzwerte und sind demnach nicht zur Regranulierung geeignet. Von den anderen Fraktionen halten die Fraktionen ABS / TBBPA, ABS / TBBPA-co (Tetrabrombisphenol A Carbonatoligomer) und PS / HBCD (Hexabromcyclododecan) auch nach der Extrusion beide Grenzwerte ein, bei der Kombination HIPS / OBB dagegen ist der Summengrenzwert 2 überschritten.

Tab. 2: Reaktivität von Flammschutzmitteln beim werkstofflichen Recycling von Altmaterial

100 % Altmaterial	vor der Extrusion		nach der Extrusion	
	Summe 1	Summe 2	Summe 1	Summe 2
HIPS / OBB	+	+	-	+
HIPS / DECA	-	-	Nicht zur Extrusion geeignet	
ABS / OCTA	-	-	Nicht zur Extrusion geeignet	
ABS / TBBPA	+	+	+	+
ABS / TBBPA-co	+	+	+	+
ABS / TBPE	-	+	Nicht zur Extrusion geeignet	
PS / HBCD	+	+	+	+

Summengrenzwerte nach Chemikalienverbotsverordnung:<sup>2</sup>

Summe 1: 1 µg/kg

Summe 2: 5 µg/kg

+.....Grenzwert eingehalten

-.....Grenzwert überschritten

### Schlussfolgerung

Zur Herstellung von Recyclaten, welche gegenwärtige oder künftige gesetzliche Vorgaben hinsichtlich des Gehaltes an Gefahrstoffen einhalten sollen, sind zwei Wege denkbar. Einerseits können die belasteten Kunststoffe mit Neumaterial verdünnt werden, bis die Grenzwerte unterschritten werden. Vorziehen sollte man aber die gezielte Entfernung und fachgerechte Entsorgung von Materialien mit hohen Schadstoffkonzentrationen aus dem Stoffkreislauf. Für beide Vorgehensweisen ist die Bestimmung der Schadelemente eine unabdingbare Voraussetzung.

<sup>1</sup> Diese Analysen wurden vom Bayerischen Landesamt für Umweltschutz durchgeführt.

<sup>2</sup> Chemikalienverbotsverordnung (ChemVerbotsV) BGBl., 818, 1996.



Die vorgestellten Untersuchungsergebnisse waren Gegenstand verschiedener am Institut für Anorganische Chemie erfolgter Forschungsarbeiten. Im Folgenden waren dies:

T. Ernst, Einsatz der energiedispersiven Röntgenfluoreszenzanalyse (EDRFA) zur Charakterisierung heterogener Materialien aus der Elektrotechnik, Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg 2001.

M. Rieß, Entwicklung chromatographisch-spektroskopischer Methoden zur Bewertung flammgeschützter Kunststoffe, Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg 1999.

R. van Eldik, et al., Bewertung und Optimierung von Verfahren zum Recycling flammgeschützter Kunststoffe aus der Elektrotechnik, Forschungsvorhaben F 116, Bayerischer Forschungsverbund für Abfallforschung und Reststoffverwertung BayFORREST.

Die Untersuchungen der bromierten Flammschutzmittel und möglicher Reaktionsprodukte von diesen erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Landesamt für Umweltschutz.

## Vorkommen und Recycling von Quecksilberschaltern

Maximilian Scheppach, recycle it® GmbH

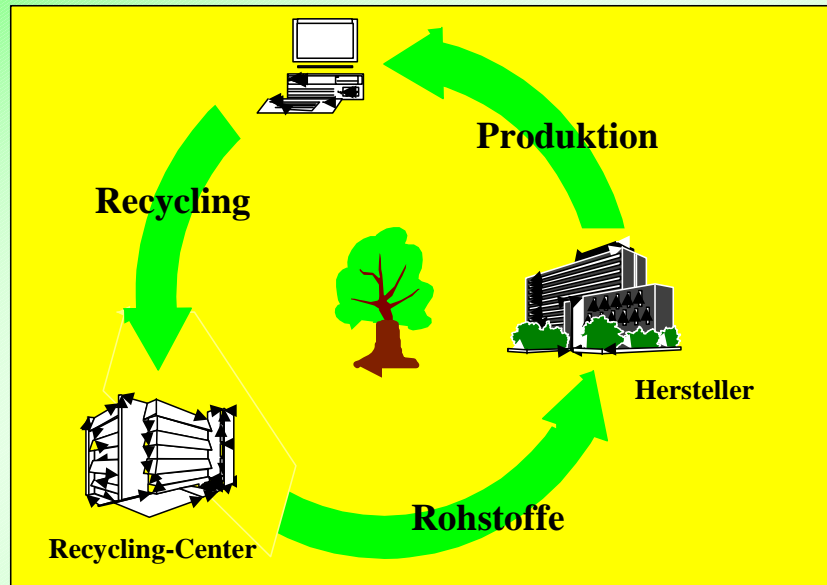
### Rechtliche Situation

#### Ziel der Gesetzgebung:

geschlossene  
Materialkreisläufe  
schaffen

Wertstoffe dem  
Wirtschaftskreislauf  
wieder zuzuführen

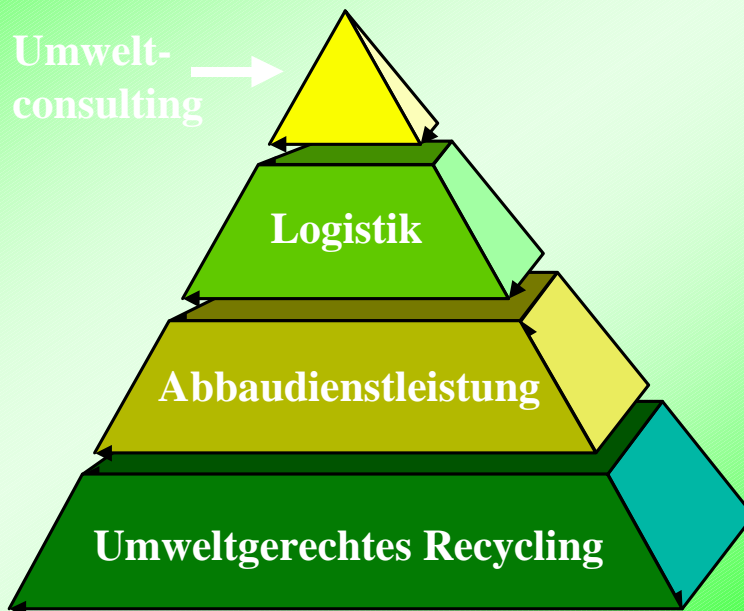
Vermeidung von  
Gefahrstoffen auf den  
Hausmülldeponien  
(Beispiele: Blei, Cadmium,  
Quecksilber, Flamm-  
schutzmittel etc.)



*recycle it*

## Das Dienstleistungsangebot der

*recycle it GmbH*

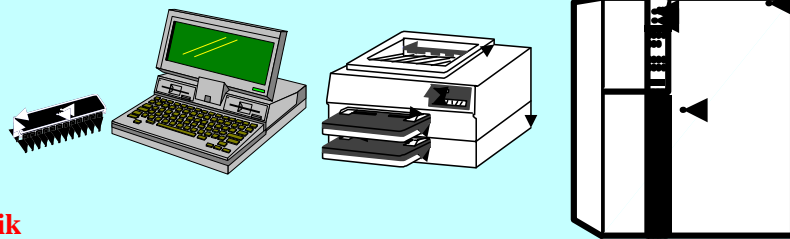


# Die 4-fach-Zertifizierungen der *recycle it GmbH*

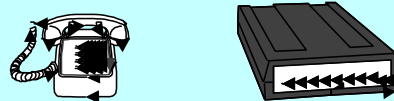


## Recycling-Produktgruppen

**Informationstechnik (IT)**



**Kommunikationselektronik**



**Unterhaltungselektronik**



*recycle it*

## Recycling-Leitlinien

Die nachfolgenden Recycling-Leitlinien sind abgeleitet aus der Unternehmensphilosophie der *recycle it GmbH*:

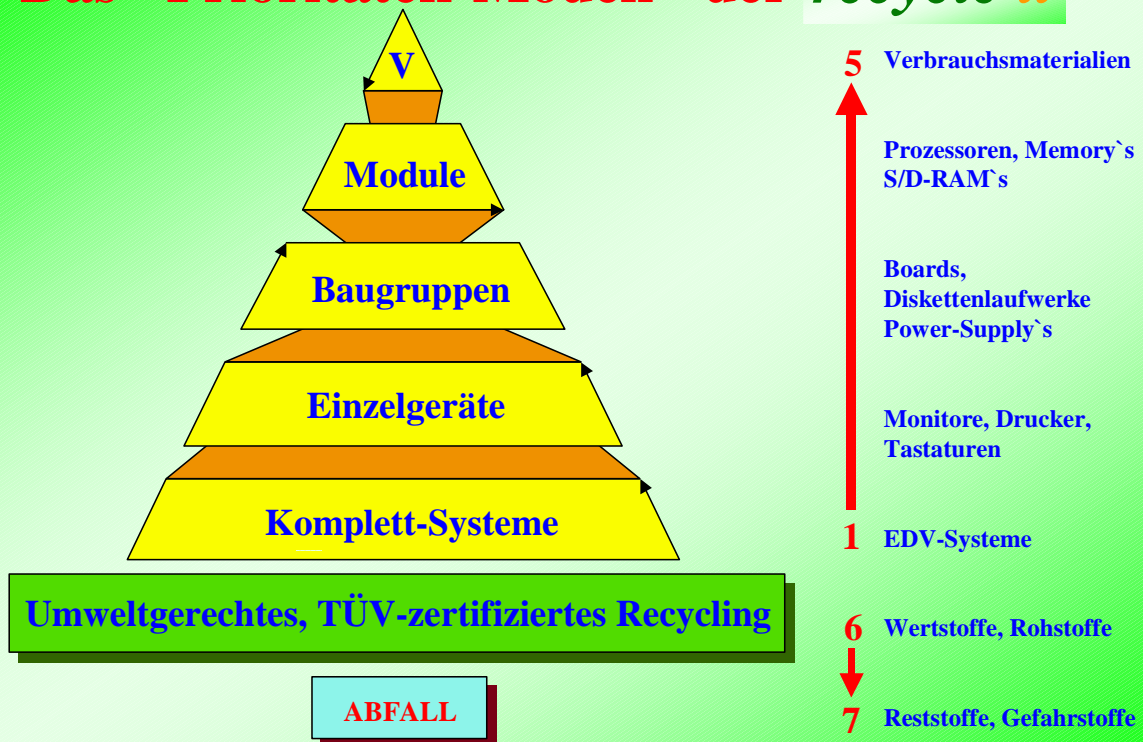
**Umweltschutztechnologie steht vor Umweltsanierungstechnologie**

Geschlossene Recycling-Kreisläufe schaffen und ständig verbessern  
Gefahrstoffe, gefährliche Emissionen und umweltgefährdende Prozesse vermeiden

**Wiederverwendung** vor Wiederverwertung  
Wiederverwertung vor Weiterverwertung  
Weiterverwertung vor **Abfallbeseitigung**

*recycle it*

## Das "Prioritäten-Modell" der *recycle it*



## Quecksilber in der Elektronik

Quecksilber als flüssiges und giftiges Schwermetall wird in der Elektronik vor allem als Kontakt- und Schaltelement in der Relais-technik eingesetzt.

### Gliederungspunkte:

1. Einsatzgebiete / Produktgruppen in der Elektronik
2. Behandlung innerhalb eines manuellen Elektronik-Recyclingbetriebes
3. Verwertung mittels Vakuumdestillation

*recycle it*

## 1. Einsatzgebiete / Produktgruppen

### von Quecksilber:

- |   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| <b>❶ Schalter / Relais</b><br><b>Einsatzgebiete:</b><br>EDV- und Kommunikationstechnik<br>Haushaltsgeräte gross und klein<br>Mess- Regel- und Steuertechnik | <b>❸ Gleichrichter</b>              |
| <b>❷ Batterien</b><br><b>Beispiele:</b><br>Zink-Quecksilberoxid<br>Zink-Silberoxid<br>Zink-Luft<br>Alkali-Mangan<br>Lithium-Mangan                          | <b>❹ Leuchtstoffröhren / Röhren</b> |
|   | <b>❺ (Thermometer)</b>              |

*recycle it*

# 1. Einsatzgebiete / Produktgruppen

von Quecksilber - Praktische Beispiele:



Bewegungsmelder

*recycle it*

# 1. Einsatzgebiete / Produktgruppen

von Quecksilber - Praktische Beispiele:



Bewegungsmelder  
geöffnet

*recycle it*

## 1. Einsatzgebiete / Produktgruppen

von Quecksilber - Praktische Beispiele:



Quecksilberschalter  
aus Bewegungsmelder geöffnet  
Typ 2

*recycle it*

## 1. Einsatzgebiete / Produktgruppen

von Quecksilber - Praktische Beispiele:



Klingelschalter  
Perspektive 1

*recycle it*

## 1. Einsatzgebiete / Produktgruppen

von Quecksilber - Praktische Beispiele:



**Klingelschalter  
Perspektive 2**

*recycle it*

## 1. Einsatzgebiete / Produktgruppen

von Quecksilber - Praktische Beispiele:



**Steuerung-  
schalter  
Foto 1  
geschlossen**

*recycle it*



# 1. Einsatzgebiete / Produktgruppen

von Quecksilber - Praktische Beispiele:



Steuerungsschalter  
Foto 2  
geöffnet

*recycle it*

# 1. Einsatzgebiete / Produktgruppen

von Quecksilber - Praktische Beispiele:



Steuerungsschalter  
Foto 3  
geöffnet

*recycle it*

# 1. Einsatzgebiete / Produktgruppen

von Quecksilber - Praktische Beispiele:



EDV-Board  
Beispiel 1

*recycle it*

# 1. Einsatzgebiete / Produktgruppen

von Quecksilber - Praktische Beispiele:



EDV-Board  
Beispiel 2  
Quecksilberschalter  
ohne  
Kennzeichnung

*recycle it*

# 1. Einsatzgebiete / Produktgruppen

von Quecksilber - Praktische Beispiele:

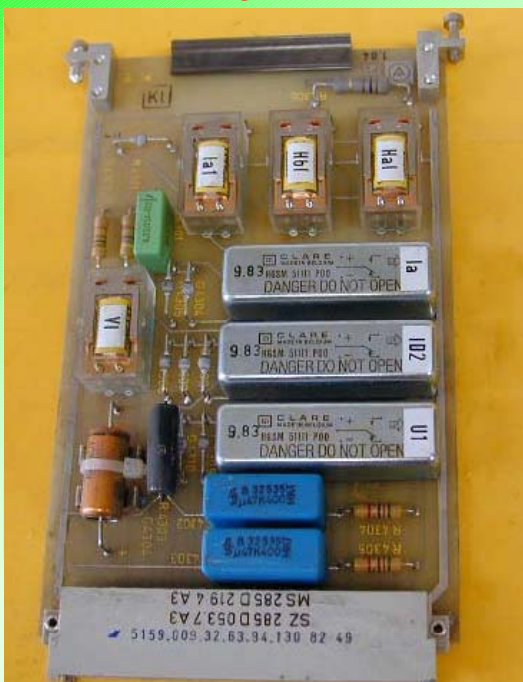


EDV-Board  
Beispiel 3  
Quecksilberschalter  
ohne  
Kennzeichnung

*recycle it*

# 1. Einsatzgebiete / Produktgruppen

von Quecksilber - Praktische Beispiele:

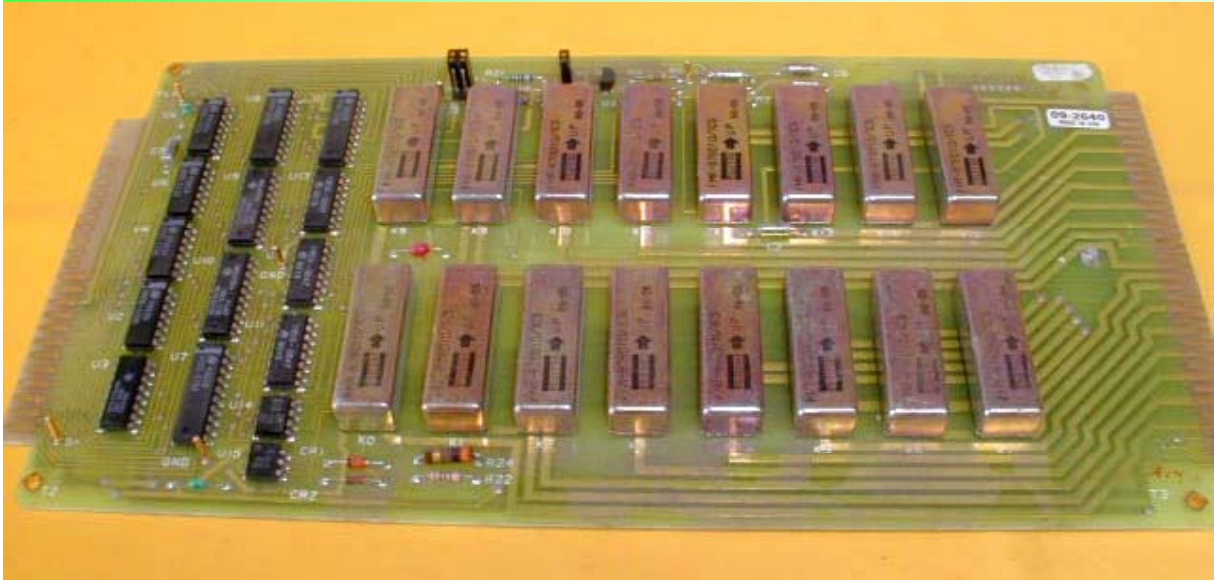


EDV-Board  
Beispiel 4  
Quecksilberschalter  
mit  
Kennzeichnung

*recycle it*

# 1. Einsatzgebiete / Produktgruppen

von Quecksilber - Praktische Beispiele:



*recycle it*

# 1. Einsatzgebiete / Produktgruppen

von Quecksilber - Praktische Beispiele:



*recycle it*

# 1. Einsatzgebiete / Produktgruppen

von Quecksilber - Praktische Beispiele:



*recycle it*

# 1. Einsatzgebiete / Produktgruppen

von Quecksilber - Praktische Beispiele:



**Batterien**

*recycle it*

## 1. Einsatzgebiete / Produktgruppen

von Quecksilber - Praktische Beispiele:



Haushalts-  
großgeräte:

Quecksilber-  
schalter  
aus Boilern

*recycle it*

## 1. Einsatzgebiete / Produktgruppen

von Quecksilber - Praktische Beispiele:



Haushalts-  
kleingeräte:

Quecksilber-  
schalter  
in Bügeleisen

*recycle it*

## 2. Behandlung von Quecksilber innerhalb eines manuellen Elektronik-Recyclingunternehmens:

### VORRAUSSETZUNGEN:

- ❶ Qualifiziertes Personal  
zur Erkennung der  
Quecksilberschalter und Relais  
ideal:  
Elektrotechniker oder  
Kommunikationselektroniker
- ❷ Quecksilberarbeitsplatz  
Material: V2A - gekantet
- ❸ Arbeitsmittel
  - Quecksilberbesteck (Zange)
  - Absorbionsset
  - geeignete Lagerbehältnisse
  - Entlötstation
- ❹ Arbeitsschutzmittel
  - Schutzkleidung
  - Atemschutz
  - Augen- und Gesichtsschutz
  - Gummihandschuhe
- ❺ Betriebsanweisung gem. § 20  
GefStoffV und TRGS 555

*recycle it*

## 2. Behandlung von Quecksilber innerhalb eines manuellen Elektronik-Recyclingunternehmens:



Absorbionsset  
incl.  
Quecksilberzange

*recycle it*

## 2. Behandlung von Quecksilber innerhalb eines manuellen Elektronik-Recyclingunternehmens:



**Kleines  
Lagerbehältnis  
und  
Quecksilberzange**

*recycle it*

## 2. Behandlung von Quecksilber innerhalb eines manuellen Elektronik-Recyclingunternehmens:



**Quecksilber-  
Arbeitsplatz**

*recycle it*



## 2. Behandlung von Quecksilber innerhalb eines manuellen Elektronik-Recyclingunternehmens:



Kleine  
Entlötstation für  
die Entfrachtung  
von Quecksilber-  
bauteilen

*recycle it*

## 2. Behandlung von Quecksilber innerhalb eines manuellen Elektronik-Recyclingunternehmens:



Quecksilber-  
schalter  
aus  
EDV-Leiterplatten  
nach der  
Entlötung

*recycle it*

## 3. Verwertung von Quecksilber

### Vakuumdestillation NQR Lübeck

#### VERFAHREN:

##### ❶ Vakuumthermisches Verfahren

- VTR-Verfahren
- seit 1996 in Betrieb
- Genehmigung nach der 4. BImSchV

##### ❷ Thermischer Prozess

- Elektrische Beheizung und Aufgabe des Primär-Materials
- Betriebs-Temperatur 800° C
- Quecksilber dampft aus dem Primär-Material aus
- Gasstrom mit dem Quecksilberdampf wird flüssigkeitsgekühlten Kondensatoren zugeführt
- Pyrolysegas über thermische Nachverbrennung

##### ❸ Destillation

- Quecksilber kondensiert in Kondensatoren aus
- danach Reinstdestillation

##### ❹ Abluft

- geht mittels Vakkumpumpen in die Abluftanlage
- dort werden die restlichen Quecksilberanteile in schwefelimpregnierte Aktivkohlefilter adsorbiert

##### ❺ Vermarktung von reinem Quecksilber

## Anlage

Quecksilber und seine Verbindungen 193

### Quecksilber und seine Verbindungen

#### Weitere Bezeichnungen:

#### Verwendung in der Elektrotechnik:

- Elektrodenmaterial [1]
- Legierungen
- Kippschalter

#### Emissionsquellen:

- mechanische und thermische Bearbeitungsverfahren (Herstellung, Verwertung, Entsorgung)

#### Angaben über Auswirkungen auf die Umwelt:

- wassergefährdend (Wassergefährdungsklasse 3) [1]

#### Angaben über Auswirkungen auf die menschliche Physiologie:

- Resorption über die Haut [1]
- giftig beim Einatmen [1]
- orale Inkorporation [1]
  - i.d.R. keine Vergiftungserscheinungen bei metallischem Quecksilber
- Inhalation [1]
  - akute Beschwerden:
    - Metallgeschmack
    - Metaldampffieber
    - intestinale Symptome
  - nach Abklingen derselben kann sich eine chronische Quecksilbervergiftung entwickeln
    - sensibilisierend [2]

194 Teil G Datenblätter der Schadstoffe im Elektroschrott

#### Toxikologische Daten:

LD <sub>LO</sub> (oral, Mensch)	1429 mg/kg [1]
TC <sub>LO</sub> (Inhal., Mensch)	0,17 mg/m <sup>3</sup> [1] (40 Jahre, Schädigung des ZNS)
TD <sub>LO</sub> (iv., Mensch)	29 mg/kg [1] (Magenbeschwerden)

#### Entsorgung / Verwertung:

- wenn möglich Reinigung durch Destillation und Rückführung in den Wirtschaftskreislauf, ansonsten Sondermüll [1]
- Aufnahme verschütteter Mengen mit Spezielsorptionsmittel [1]

#### Bemerkung:

#### Literaturquellen:

- [1] Welzbacher, U.: Neue Arbeitsblätter für gefährliche Arbeitsstoffe nach der Gefahrstoffverordnung. Stand August 1993.
- [2] Dauderer, M.: Handbuch der Umweltgifte: klinische Umwelttoxikologie für die Praxis. eco-med, Landsberg/Lech, 1990.

#### Entnommen aus:

„Schadstoffe in elektrischen und elektronischen Geräten; Emissionsquellen, Toxikologie, Entsorgung und Verwertung“, Blum, Bernhard; hrsg. Schmidt, Joachim, Springer Verlag, 1996.

# Toxicological and Ecotoxicological Investigations of Liquid Crystals; Disposal of Liquid Crystal Displays

**Werner Becker\***, **Brigitte Simon-Hettich\*\***, **Petra Hönicke\*\*\***, **Merck KGaA**,

\*Liquid Crystals Division, \*\*Institute of Toxicology, \*\*\*CHN Division (formerly at Waste Management Department)

## Introduction

Nowadays Liquid Crystal Displays (LCDs) are ubiquitous and dominate the Flat Panel technology. Typical applications are in notebooks, desktop monitors, electronic organizers, mobile phones, pocket calculators, measuring instruments, electronic toys, miniature and large area TVs, digital cameras, audio-video equipment, household appliance, large signboards and automotive displays. It is expected that -in terms of revenues- LCDs will surpass the well-established CRTs, still predominant in TV and PC monitors, before the year 2005.

Although LCDs are produced in a huge number of units the total quantity of liquid crystals (LCs) manufactured world-wide was only about 60 tons in 2000 because of the very small amount used in each display, typically only about 0.0006 g LC per cm<sup>2</sup> display area. Due to the constantly increasing quantity of LCs their toxicological and ecotoxicological properties and their environmental impacts become more and more important, however. For chemical compounds several tests have to be performed before their introduction into the market.

The testing strategy of Merck for liquid crystals will be explained in detail in the following presentation.

Since the inception of its LC activities Merck has carried out numerous toxicological (and recently also various ecotoxicological) investigations of liquid crystals and moreover committed itself not to introduce into the market materials which are acutely toxic or mutagenic.

Electronic equipment including LCDs is already on the market for several years but the lifetimes of these devices are limited and users may need to dispose of them as waste. Small items such as toys or mobile phones may be disposed of into the household garbage. Accordingly, these LCDs will be deposited in a municipal landfill or incinerated together with garbage. Larger devices like notebooks or PC monitors can be returned to the supplier or to electronic waste collecting firms for disassembly and separation into various fractions. These may then be reused, recycled or disposed of in an appropriate way. To answer the question which is the best way to dispose of waste LCDs one needs to investigate the structure of LCDs and examine their composition.

The major compound (over 90 %) is glass. Only at most 0.2 % by weight is the liquid crystal mixture.

These mixtures consist of typically 10 to 25 (in rare cases even over 30) single compounds. Depending on the toxicological testing results of liquid crystals and a special declaration analysis carried out for a representative cross-section of LCD technologies and subject to current German legal waste regulations ways of disposal for Liquid Crystal Displays can be suggested.

## Notification regulations for new chemical substances in the EU

For the notification of new chemical substances according to directive 67/548/EEC [1] toxicological and ecotoxicological tests are required.

The type and extent of testing have been more or less fixed in a testing programme based on a stepwise approach governed by the quantity marketed annually in the EU (Table No.1).

As more than 95 % of all LCDs are produced in Asia most of the LCs are exported, and therefore only a few liquid crystal compounds have met the production volume requirements for a notification in the EU up to now.

Table 1: Testing requirements for the notification of new chemical substances in the EU\*

	10 - <100 kg	100 - <1000 kg	1000 kg - <100 t
<i>Toxicity studies</i>			
Acute Toxicity (oral or inhalative)	x	x	X
Acute Toxicity (2nd route)			X
Skin Irritation		x	X
Eye Irritation		x	X
Skin Sensitization		x	X
Mutagenicity (bacterial)		x	X
Mutagenicity (in vitro, non-bacterial)			X
Subacute Toxicity (28 days)			X
<i>Ecotoxicity studies</i>			
Fish: Acute Toxicity			X
Daphnia: Acute immobilization		x	X
Algae: Growth inhibition			X
Bacteria: Respiration inhibition			X
Ready biodegradation		x	X
<i>LCs produced by Merck worldwide in 2000 (only few % sold in the EU)</i>	<i>109</i>	<i>74</i>	<i>4</i>
<i>Comparative data for 1999</i>	<i>77</i>	<i>64</i>	<i>1</i>

\*Additionally, a range of physico-chemical properties have to be assessed.

In 2000 Merck has produced 341 different liquid crystal substances, only 4 of which have reached a world wide production volume of 1000 kg (Table 1) or more. Almost half of these, namely 154 substances, were sold worldwide in quantities below 10 kg each. The rest is distributed between 10 and 1000 kg as shown in Table 1. For a quantity of up to 10 kg introduced in the EU per year no tests are required by law. The above figures refer to the worldwide production quantities, however.

Merck has committed itself to perform toxicological tests with liquid crystals already in the development stage without legal obligation and regardless of the expected sales volume. It is part of our sales policy and also fixed in the LC Division mission statement that acutely toxic or mutagenic substances would not be introduced into the market. However, as stated later in this paper, in the numerous tests carried out so far only one LC substance was found to be acutely toxic and another one to be mutagenic. Both were excluded from further development and were not introduced into the market. Detailed safety information about liquid crystals can be also found on the Merck Liquid Crystals Division homepage [19] and respective brochures are available upon request.

### **Toxicological testing strategy for liquid crystals at Merck**

Toxicity is the capacity of a chemical to cause adverse effects/functional or structural changes to a living organism. Toxicity is dependent on the dose administered, as already Paracelsus (1493-1541) found: '*All substances are poison, only the dose makes that a substance is not a poison*'. Toxicological studies are designed to reveal such hazardous properties and to provide data for risk assessment purposes.

To find possible hazardous properties of these compounds, acute toxicity studies, skin and eye irritation studies and bacterial mutagenicity tests were performed with many liquid crystals. Additionally, information on skin sensitization, aquatic toxicity and biodegradability is available for a few LCs (data presented in [2], [19]). Data from these studies are used in human health hazard evaluation and may also serve as basis for classification and labelling of the substances. All toxicological studies were performed according to recent International Guidelines (OECD, EU) [3], [4], and followed the national regulations for animal welfare as well as the principles of 'Good Laboratory Practice' (GLP).

## Acute toxicity testing

In the assessment of the toxic characteristics of a substance, the determination of the acute oral toxicity is usually the initial step. It provides information on the possible effects occurring within a short time after the administration of a single dose and also on the degree of toxicity of a chemical substance, on the dose-response-relationship, on specific toxic effects, and on the mode of toxic action. The numerical value of the median lethal dose (LD<sub>50</sub>) is a statistically derived single dose of a substance, that can be expected to cause death in 50% of the test animals. This value is widely used in toxicity classification systems, but it should not be regarded as an absolute number identifying the toxicity of a chemical substance. LD<sub>50</sub> values for the same chemical may vary from study to study and between species or even within a species because acute toxicity is influenced by both, internal and external factors.

One of the most recent guidelines for acute toxicity testing describes the 'Acute toxic class method' (OECD 423), a stepwise procedure where 3 rats per step are dosed with the test substance orally. On the average 2-4 steps may be necessary to allow a judgement on the acute toxicity of the test substance. This procedure results in the use of substantially fewer animals than other guideline methods (e.g. classical LD<sub>50</sub> tests, OECD 401).

## Local effects on skin and eye

Determination of the surface effects of a chemical on the skin and eye is important because accidental contamination during production and processing can occur especially in an abnormal or accidental situation. Hazards may be related to the physical form, with a liquid or particulate having a greater potential for contaminating the body surface, and to physical properties, notably the pH which can indicate a potential for producing extensive tissue damage or corrosion.

For the acute skin irritation testing, the method according to Draize [5] is used to assess reversible skin inflammation caused by the occlusive application of the test substance on the intact rabbit skin for 4 hours (OECD 404). For the assessment of acute eye (mucous membrane) irritation according to Draize [5]; OECD 405), the substance to be tested is applied in a single dose to one of the eyes of test animals (rabbits).

## Mutagenicity and carcinogenic potential

DNA damage is a critical event in the initiation of cancer. Such damage can result in mutations, and tests to detect mutagenic activity may also identify chemicals that have the potential to lead to carcinogenesis. Thus, mutagenicity tests are useful for the investigation of putative carcinogenic activity. The most widely used assays for detecting chemically-induced gene mutations are those using bacteria. They are rapid, reproducible, and give reliable data on the ability of a chemical to interact with DNA and to produce mutations.

For an assessment of the mutagenic potential of liquid crystal compounds the bacterial reverse mutation test with *Salmonella typhimurium* ('Ames-Test', OECD 471), a very sensitive microbial assay, was performed. This assay measures the histidine<sup>-</sup> → histidine<sup>+</sup> reversion by chemicals which cause gene mutations (base substitutions or frame shift mutations) in the genome of this organism. Usually, 5 bacterial strains are exposed to the test substance with and without metabolic activation (i.e. rat liver S9) and plated on histidine-free minimal medium. After a suitable period of incubation, revertant colonies are counted and compared to the number of spontaneous revertants in an untreated and/or solvent control culture [6], [7].

Bacteria, however, are simple organisms with simpler DNA structure and DNA control mechanisms, thereby raising the question of relevance to man. A positive result in a bacterial assay does not necessarily indicate that the compound will induce similar effects in animal cells. Similarly, a negative result does not invariably mean that the compound lacks mutagenic activity in eukaryotic cells or intact mammals. However, a suitably designed and properly conducted bacterial mutation assay can give data of useful predictive value when considered together with results from other tests. To increase the confidence and enhance the predictivity of the mutagenicity tests, an *in vitro* mammalian cell gene mutation assay (Mouse Lymphoma Assay, OECD

476) with cultured mammalian cells was performed with compounds that represent technically important classes of liquid crystals. The physiological and genetical properties of mammalian cells are more similar to man than those of bacteria. Additionally, the Mouse Lymphoma Assay records a broader spectrum of different mutations. The L5178Y mutant cells, deficient in the enzyme thymidine kinase (TK) due to the mutation  $TK^{+/-} \rightarrow TK^{-/}$ , are resistant to the cytotoxic effects of the pyrimidine analogue trifluorothymidine (TFT). Thus, mutant cells are able to proliferate in the presence of TFT, whereas normal cells, which contain thymidine kinase, are not [8].

Short term mutagenicity tests cannot, of course, mimic all the stages in the carcinogenicity process but are assumed to detect a decisive event leading to the initiation phase, i.e. the ability to interact with DNA and produce a detectable change in the genetic material. The main value of these procedures, therefore lies in their ability to identify chemicals that may, under certain exposure conditions, either cause cancer by a genotoxic mechanism or induce the initial phase of the carcinogenic process and thus provide useful information.

### Presentation of data

Of the 224 tested liquid crystal substances, the vast majority (215 compounds = 96 %) did not have any acute toxic potential. Only 8 substances are classified as harmful. The only substance with an LD<sub>50</sub> value of slightly below 200 mg/kg was excluded from further development and not introduced into the market. The 8 harmful substances are used in concentrations below 10 weight % (individually or in total) which means that for the respective liquid crystal mixtures no harmful properties are expected and no labelling is legally required. For comparison, the LD<sub>50</sub> value (rat, oral) for sodium chloride is 3000 mg/kg bw, that for caffeine is 192 mg/kg bw, and nicotine sulfate has an LD<sub>50</sub> value of 50 mg/kg bw [9].

Table 2: Results of acute toxicity studies

LD <sub>50</sub> value [mg/kg body weight]	Classification (EU)	No. of LCs	No. of LC mixtures
≤25	very toxic	0	-
≤200	toxic	1	-
≤2000	harmful	8	-
>2000	no classification	215	14

Only 3 out of 110 LC compounds tested for skin irritation were found to be corrosive, but none of the 64 tested for eye irritation. The concentrations of these 3 substances in mixtures are reduced to a level at which no corrosive properties are expected anymore. Moreover, 14 LC mixtures containing these substances were tested, and no irritation effects were detected.

Table 3: Results of skin and eye irritation studies

Effect	single LC compounds		LC mixtures	
	skin irritation	eye irritation	skin irritation	eye irritation
Corrosive	3	0	0	0
Irritant	10	11	0	0
no effect	97	53	14	14

In the bacterial mutagenicity test 207 individual substances and 14 LC mixtures were studied. Only one compound showed a mutagenic potential and was excluded from further development and not introduced into the market; all other 206 LC compounds and 14 LC mixtures proved to be non-mutagenic in this test.

Table 4: Results of mutagenic potential studies

	Single LC compounds	LC mixtures
effect	Mutagenic potential	mutagenic potential
mutagenic	1	0
no effect	206	14

Moreover, in the subsequently performed Mouse Lymphoma Assay with mammalian cells, all 10 LC compounds, which represent the presently important liquid crystal groups, were not mutagenic and the results obtained in the bacterial mutagenicity test were confirmed. Thus, there is no suspicion of a carcinogenic potential of liquid crystal compounds.

### Ecotoxicological testing of liquid crystal compounds

The actual environmental concentration of a substance firstly depends on the amount emitted, but this is greatly influenced by the physical and chemical properties of the substance and the particular transport media involved (air, water, soil). Physico-chemical properties, such as volatility and solubility, determine the distribution among the different environmental compartments. In addition, factors such as chemical stability, adsorption and biodegradability are decisive and may influence and reduce the initial environmental concentration. Degradability of LCs by bacteria was assessed in ready biodegradability tests (OECD 301), which are stringent tests and provide limited opportunity for biodegradation.

Since most of the pollutants are found in water, aquatic organisms are used for a first indication of environmental effects of chemicals. In aquatic toxicity tests, organisms from different taxonomic groups are generally used: primary producers (algae), primary consumers (daphnia), secondary consumers (fish), and destruents (bacteria). According to OECD guidelines (201-203), the organisms are exposed to the test compound dissolved in the test medium. The measured endpoints are death (fish), immobilization (daphnia), growth inhibition (algae), and respiration inhibition (bacteria). Most commonly, the results are expressed as median lethal concentration ( $LC_{50}$ ), which is estimated to kill 50% of the test organisms, or as median effect concentration ( $EC_{50}$ ), which is estimated to cause the specified effect, e.g. respiration inhibition. Depending on their chemical stability some liquid crystals are not easily biodegradable whereas others have shown degradation rates up to 55 % within 28 days. Also, no toxic effects to fish, algae, daphnia and bacteria were found for all substances tested. Details of recent aquatic toxicity tests were reported end of last year [10] and further information can be found on the Merck website [19].

### Disposal of Liquid Crystal Displays (LCDs)

#### Structure of Liquid Crystal Displays

The definition of "LCD" describes the sandwich composed of the two glass plates with connected polymers (for example polarizers, colour filters) and the sealed liquid crystal mixture in between the two glass plates. This definition does not include the backlight unit, the printed circuit board, cables and frame. They are part of the LCD module. The following figure (figure 1) shows the structure of a liquid crystal display.

#### *Polymers, ITO-electrodes*

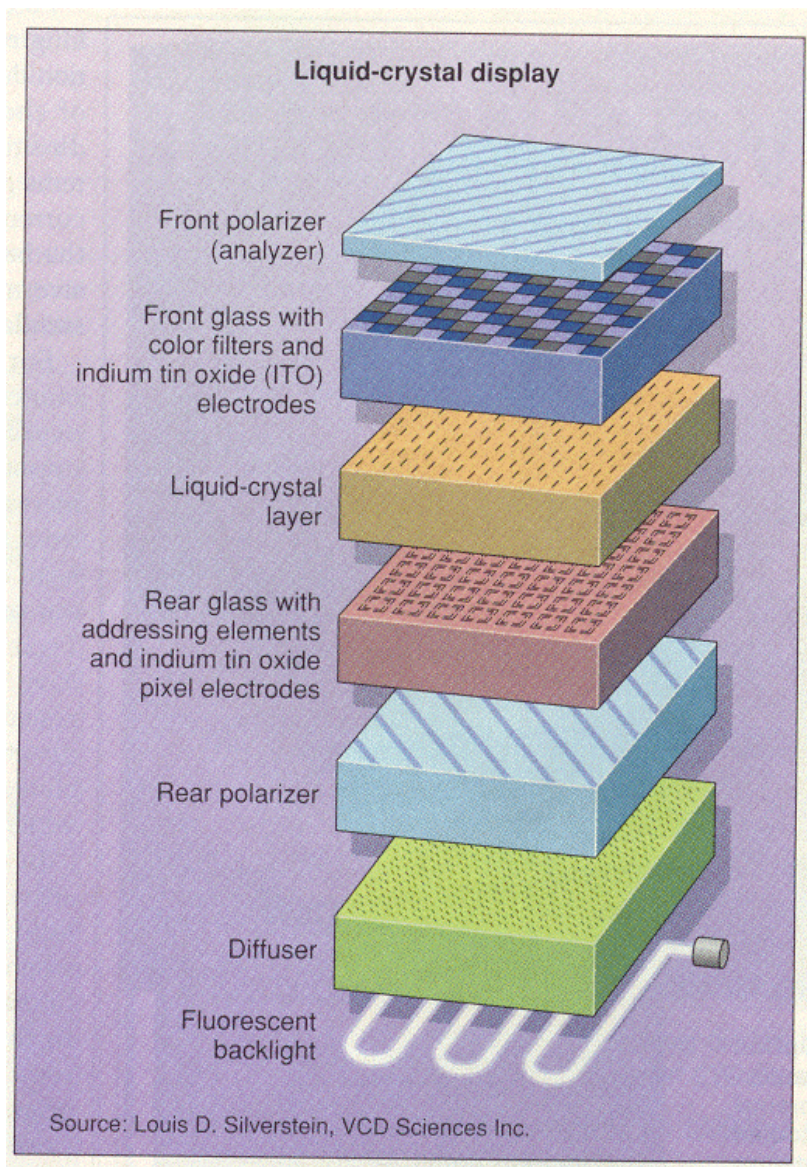
Polarizers are usually composed of polycarbonate. Thickness of the foil is typically about 200 nm. The orientation layer consists of a polyimide which is about 30 to 100 nm thick. The ITO-electrode-layer is also about 30 to 80 nm thick.

#### *Glass plates*

The ingredients of glass are analogous to float glass or high melting borosilicate glass. Glass plates used for LCDs have a thickness of 0.4 to 1.1 mm.



Figure 1: Structure of a liquid crystal display [13]



### Liquid crystals

Liquid crystals are used as mixtures typically containing between 10 and 25 single compounds. These mixtures are composed of chemically quite similar compounds. Some of the compounds only differ in their alkyl or alkoxy side chains by varying number of carbon atoms (homologous compounds, figure 2). Results of the toxicological investigations of liquid crystals have already been shown in detail in the first part of this presentation.

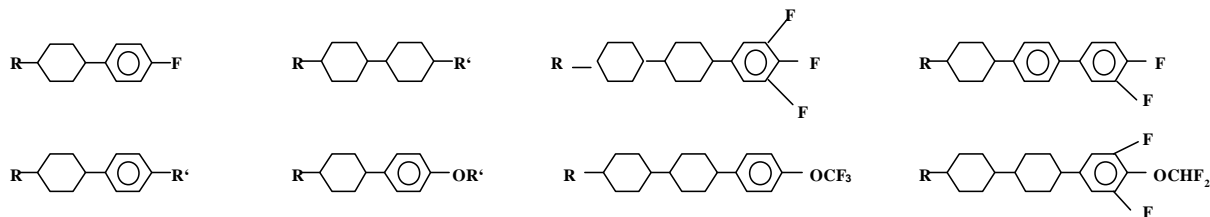
It is important to emphasize again that Merck never has found a very toxic liquid crystal compound or has introduced a toxic or carcinogenic liquid crystal substance into the market.

### Backlight unit

About 95 % of the laptops and notebooks use a backlight unit. This unit is built by up to four cold cathode fluorescent lamps (CCFL) and a reflector.

In older electronic devices these lamps still contain mercury. In more recent units light emission is based on phosphors or mercury-free dielectric barrier discharge flat fluorescent lamps.

Figure 2: Typical liquid crystals of an active matrix display [14]



R, R' : alkyl groups

## Ways of disposal

What happens today, if a customer owns an electronic device of no further use to him? Depending on the size he might put it into the household garbage. Together with typical municipal waste this electronic device will find its way into an incinerator or a landfill. Another possibility is separated collection of electronic devices by municipal authorities, trade or waste collecting firms. These might disassemble the waste, remove the hazardous compounds, separate it into different fractions and recycle or dispose of those fractions in an appropriate way. To answer the question, whether LCDs are hazardous waste and which is the best way of disposal, we need to investigate their structure and analyse the amounts of the different compounds by weight (table 4).

## Composition of liquid crystal displays

Table 4: Composition of LCDs

Device	Area [cm <sup>2</sup> ]	LC [mg]	LCD [g]	LCD- Module [g]	LC/LCD [% bw]	LC/LCD- Module [% bw]
Mobile phone	7.5	4.5	2.5	5.0	0.2	0.09
Navigation system	108.0	65.0	65.0	200.0	0.1	0.03
15" LCD-Monitor	700.0	420.0	500.0	1500.0	0.1	0.03

Three examples are given: a mobile phone, a navigation system and a 15" LCD monitor. LCDs and LCD modules were weighed, and the LC amounts were calculated based on following figures:

typical cell gap 6  $\mu\text{m}$ ,  
density of LCs about 1 g/cm<sup>3</sup>, resulting in:  
0.6 mg LC per cm<sup>2</sup> display area.

Different weight percentages of LCs depend on glass substrate thicknesses which are typically for:

Mobile phone: 0.5 mm  
Navigation system: 0.7 mm  
15" LCD-monitor: 0.7 – 1.1 mm.

It is easy to demonstrate that with increasing area of the electronic device the relative amount of liquid crystals is decreasing. Highest rates are reached at about 0.2 % bw in mobile phones. In relation to a complete electronic device the amount of LC is about 12 ppm [18].

## European regulations

In agreement with the European waste catalog [15] LCDs as waste are classified as 16 02 02. In Council Directive 91/689/EEC [11] on hazardous waste this classification is not indicated as hazardous waste.

Council Directive 91/689/EEC gives in article 1 the definition of "hazardous waste". Depending on article 1 Council Decision 94/904/EC [12] was released. This Council Decision includes a catalog of hazardous waste and specifies it further by giving the following criteria for classification:

- *flash point*  $\leq 55$  °C,
- one or more substances classified as *very toxic* at a total concentration  $\geq 0.1$  %,
- one or more substances classified as *toxic* at a total concentration  $\geq 3$  %,
- one or more substances classified as harmful at a total concentration  $\geq 25$  %,
- one or more *corrosive* substances classified as R35 at a total concentration  $\geq 1$  %,
- one or more *corrosive* substances classified as R34 at a total concentration  $\geq 5$  %,
- one or more *irritant* substances classified as R41 at a total concentration  $\geq 10$  %,
- one or more *irritant* substances classified as R36, R37, R38 at a total concentration 20%
- one or more substances known to be *carcinogenic* (categories 1 or 2) at a total concentration  $\geq 0.1$  %.

Liquid crystals marketed by Merck have no very toxic, toxic or carcinogenic properties. Some of the produced liquid crystals have irritating, sensitizing or harmful properties. In LCDs the amount of LCs is at maximum about 0.2 % by weight. In the mixtures the share of corrosive or irritant liquid crystals is reduced to a level at which no corrosive or irritant properties are expected anymore.

Application of the criteria to LCDs indicate *LCDs are no hazardous waste* according to Council Decision 94/904/EC.

It has to be noted, however, that a new EU directive on Waste of Electrical and Electronic Equipment (WEEE) is under preparation at present. In this, selective treatment of hazardous materials and components is demanded. With respect to LCDs it requires that those of a surface greater than 100 cm<sup>2</sup> and all those using backlights with (mercury-containing) gas discharge lamps have to be removed from separately collected WEEE and be disposed of or recovered in compliance with article 4 of Council Directive 75/442/EEC.

## German waste regulations

In Germany there are two waste regulations defining the way of disposal in landfills. Hazardous waste is regulated under "Zweite Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz" [16] and municipal waste under "Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz" [17]. If a decision is needed whether to deposit waste in a landfill for municipal or hazardous waste a chemical analysis is necessary.

Merck has ordered an analysis of isolated LCDs for this purpose. Depending on the results of this analysis a decision whether deposition on a landfill for municipal or hazardous waste is possible.

The analysis was made with LCDs filled with Merck's liquid crystals.

The LCDs represent a cross-section of typical LCD technologies and of typical liquid crystal mixtures produced by Merck.

The results are presented in table 5.

Table 5: Declaration analysis of liquid crystal displays according to German waste regulations (TA Abfall and TA Siedlungsabfall)

Parameter	unit	Criteria for classification			analysis of LCDs
		TA Abf.	TA Si	TA Si	
		Annex D	Annex B	Annex B	
			<b>D.-class I</b>	D.-class II	
ignition loss	% bw	≤ 10	≤ <b>3</b>	≤ 5	<b>2.3</b>
extractable lipophile compounds	% bw	≤ 4	≤ <b>0.4</b>	≤ 0.8	<b>0.095</b>
pH		4 – 13	<b>5.5 - 13</b>	5.5 - 13	<b>10.36</b>
conductivity	μS/cm	≤ 100 000	≤ <b>10 000</b>	≤ 50 000	<b>25</b>
total organic carbon	mg/l	≤ 200	<b>20</b>	-	<b>1.1</b>
TOC,	% bw	-	≤ <b>1</b>	≤ 3	<b>n.a.</b>
phenole	mg/l	≤ 100	≤ <b>0.2</b>	≤ 50	≤ <b>0.005</b>
arsene	mg/l	≤ 1	≤ <b>0.2</b>	≤ 0.5	≤ <b>0.001</b>
lead	mg/l	≤ 2	≤ <b>0.2</b>	≤ 1	≤ <b>0.005</b>
cadmium	mg/l	≤ 0.5	≤ <b>0.05</b>	≤ 0.1	≤ <b>0.0005</b>
chromium –IV	mg/l	≤ 0.5	≤ <b>0.05</b>	≤ 0.1	≤ <b>0.02</b>
copper	mg/l	≤ 10	≤ <b>1</b>	≤ 5	≤ <b>0.005</b>
nickel	mg/l	≤ 2	≤ <b>0.2</b>	≤ 1	≤ <b>0.005</b>
mercury	mg/l	≤ 0.1	≤ <b>0.005</b>	≤ 0.02	≤ <b>0.0002</b>
zinc	mg/l	≤ 10	≤ <b>2</b>	≤ 5	<b>0.005</b>
fluoride	mg/l	≤ 50	≤ <b>5</b>	≤ 25	≤ <b>0.02</b>
ammonium	mg/l	≤ 1 000	≤ <b>4</b>	≤ 200	<b>0.02</b>
chloride	mg/l	≤ 10 000	-	-	≤ <b>1</b>
cyanide	mg/l	≤ 1	≤ <b>0.1</b>	≤ 0.5	≤ <b>0.01</b>
sulfate	mg/l	≤ 5 000	-	-	≤ <b>1</b>
nitrite	mg/l	≤ 30	-	-	≤ <b>0.02</b>
adsorbable organic halogens	mg/l	≤ 3	≤ <b>0.3</b>	≤ 1.5	<b>0.02</b>
water soluble share	% bw	≤ 10	≤ <b>3</b>	≤ 6	<b>0.006</b>

n.a.

not analysed

-

not necessary

TASi, D.-class I and II

landfill for municipal waste

TAAbfall

landfill for hazardous waste

Correlating the results of the analysis of LCDs with the criteria fixed under German waste regulation it can be shown that *isolated LCDs can be disposed of in landfills for municipal waste.*

## Conclusion

Liquid crystal substances marketed by Merck possess no acutely toxic properties. Few substances showed harmful effects after single oral application or corrosive effects on skin and eye. These effects are prevented in practice by reduction of the concentration of the respective LCs in the LC mixtures to concentrations where no harmful or corrosive properties are to be expected anymore.

In mutagenicity studies with bacteria and mammalian cells, no indication for a mutagenic or carcinogenic potential was found.

From the data presented, the conclusion can be drawn that the hazard posed to humans by liquid crystals is low. Due to the construction of LCDs, i.e. small amounts and hermetical isolation of LCs in LCDs, any exposure of users to liquid crystals in LCDs or release of LCs to the environment is estimated to be very unlikely.

Also, in ecotoxicological studies no toxic effects to fish, algae, daphnia and bacteria were found for the substances tested. Thus, it can be concluded that the risk for the user and the environment is extremely low [19].

According to European waste regulations the classification hazardous waste is depending on the total amount of very toxic, toxic, harmful, irritant, sensitizing or carcinogenic compounds in the waste.

Keeping in mind that the amount of liquid crystals in the LCD is at most 0.2 % by weight and that all liquid crystals marketed by Merck and other manufactures have no acutely toxic or carcinogenic properties, there is no reason to assume that isolated LCDs are hazardous waste.

<b>Device</b>	<b>Area [cm<sup>2</sup>]</b>	<b>LC [mg]</b>	<b>LCD [g]</b>	<b>LCD- Module [g]</b>	<b>LC/LCD [% bw]</b>	<b>LC/LCD- Module [% bw]</b>
<b>Mobile phone</b>	7.5	4.5	2.5	5.0	0.2	0.09
<b>Navigation system</b>	108.0	65.0	65.0	200.0	0.1	0.03
<b>15" LCD Monitor</b>	700.0	420.0	500.0	1500.0	0.1	0.03

The analysis of isolated LCDs representing a cross-section of today's LCD technologies and filled with Merck's liquid crystals according to German regulations gave following result: disposal of isolated LCDs on a landfill for municipal waste is possible. New EU regulations may implement in future, however, the removal of LCDs with a surface greater than 100 cm<sup>2</sup> and those backlit with mercury-containing gas discharge lamps from waste electrical and electronic equipment, and their separate appropriate treatment or disposal.

Despite the possibility to dispose of waste LCDs on a landfill according to current legislation we do recommend, however, incineration as preferred way for a more appropriate disposal of LCDs, if the incinerator is equipped with appropriate techniques which applies for German incineration plants.

## References


- [1] Council Directive 67/548/EEC of 16 August 1967 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions relating to the classification, packaging and labelling of dangerous substances. Off. J. Eur. Communities (1967) L196
- [2] B.Simon-Hettich & W.Becker (1999) Toxicological Investigations of Liquid Crystals, Presented at the 28<sup>th</sup> Freiburger Arbeitstagung 'Liquid Crystals', March 24-26, 1999
- [3] Annex to Commission directive 92/69/EEC of 31 July 1992 adapting to technical progress for the seventeenth time Council Directive 67/548/EEC, Off. J. Eur. Communities, L383A
- [4] OECD Guidelines for Testing of Chemicals, loose-leaf paper copy, latest addendum 21<sup>st</sup> September 1998; Organization for Economic Co-operation and Development, Paris, France
- [5] Draize (1959) Dermal toxicity: Appraisal of the Safety of Chemicals in Foods, Drugs, and Cosmetics. Association of Food and Drug Officials of the FDA (eds.), Baltimore
- [6] Maron & Ames (1983) Revised methods for the *Salmonella* Mutagenicity Test. Mutat. Res. 113: 173-215
- [7] Ames et al. (1975) Methods for detecting carcinogens and mutagens with the *Salmonella* Mammalian-Microsome Mutagenicity Test. Mutat. Res. 31: 347-364
- [8] Cole et al. (1983) A comparison of the agar cloning and microtitration techniques for assaying cell survival and mutation frequency in L5178Y mouse lymphoma cells. Mutat. Res. 111: 317-386
- [9] Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (1999) National Institute of Occupational Safety and Health, Cincinnati, Ohio (CD ROM version), Micromedex, Inc., Englewood, Colorado
- [10] T.H.Broschard, B.Simon-Hettich, W. Becker & al.: 7<sup>th</sup> International Display Workshops, Kobe, Japan, November 29 – December 01, 2000
- [11] Council Directive 91/689/EEC of 12 December 1991 on hazardous waste
- [12] 94/904/EC: Council Decision of 22 December 1994 establishing a list of hazardous waste pursuant to Article 1 (4) of Council Directive 91/689/EEC on hazardous waste
- [13] Laser Focus World, November 1997, page 137
- [14] W. Becker; B. Simon-Hettich; P. Hönicke, "Toxikologische Untersuchungen mit Flüssigkristallen" and "Entsorgung von Flüssigkristallanzeigen", presented at Expertenforum 1998/1999 "Entsorgungslogistik und Produktrecycling" at Frankfurt on 25 February 1999
- [15] Verordnung zur Einführung des Europäischen Abfallkataloges vom 13. September 1996
- [16] Zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall), Teil 1: Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen vom 12. März 1991
- [17] Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall), Teil 2: Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen vom 14. Mai 1993
- [18] Kommission der Niedersächsischen Landesregierung zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen, Abschlussbericht des Arbeitskreises 13 "Elektronikschrott", 1998
- [19] [http://www.merck.de/speciality\\_chemicals/liquid\\_crystals/safety\\_information](http://www.merck.de/speciality_chemicals/liquid_crystals/safety_information)

## Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden

Eine Verfahrensbeschreibung für geschlossene Kreisläufe beim Recycling von End-of-Life Bildröhren aus dem Elektronik-Schrott

Thomas Oberle, Schott Glas

**Wie stellt sich die derzeitige Entsorgungspraxis für Fernsehglas dar ?**



Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 1

**SCHOTT**  
glass made of ideas

## Derzeit „übliche“ Entsorgungswege für Fernsehglas

- Deponierung ganzer Geräte
- Verbringung von „Altgeräten“ in das Ausland
- Deponierung des Glases mit und ohne Leuchtschicht
- Einsatz im Straßenbau
- Schlackenbildner in Sekundärblei- und Buntmetall-Hütten
- Zuschlag im Flachglas (Schirmglas)
- ...
- ...
- Wiedereinsatz in der Fernsehglas-Schmelze

Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 2

**SCHOTT**  
glass made of ideas

## Welche Folgen hat die bisherige Praxis ?

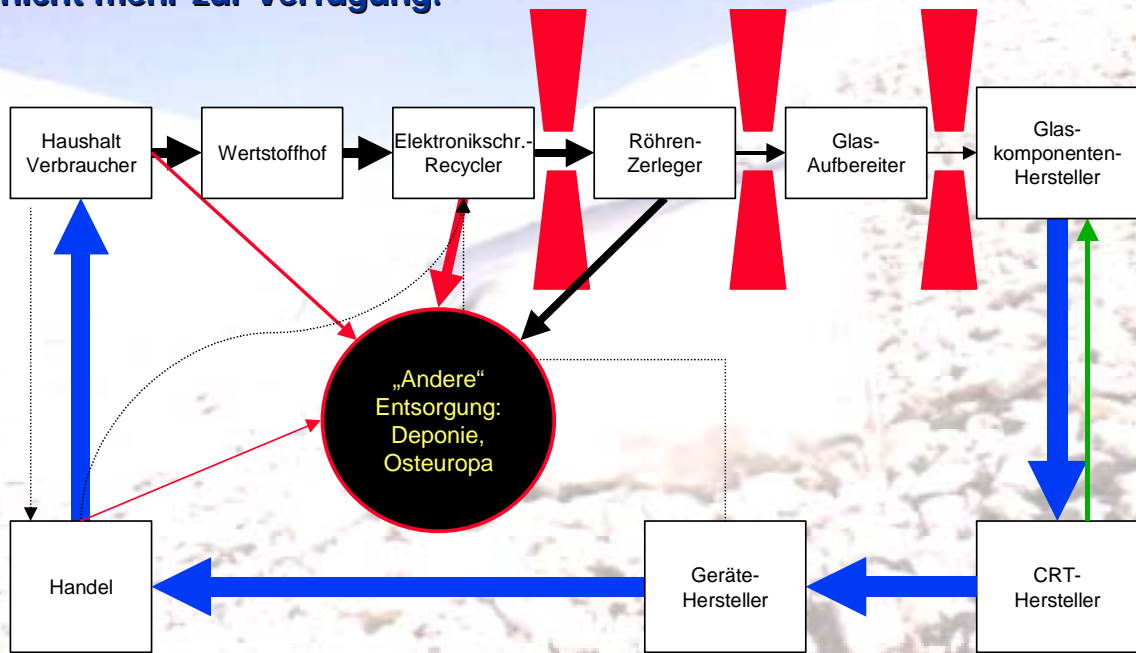
- Bleihaltiges Glas wird unkontrolliert in die Umwelt verbracht
- Abgasproblematik in der Containerglas-Industrie wird ggf. verschärft
- Schäden im Straßenunterbau
- starker Preisdruck auf anspruchsvollere Recyclingverfahren
- Entzug von Mengen für Closed Loop Recycling
- .....

Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 3

**SCHOTT**  
glass made of ideas



**Große Mengen Fernsehglases werden durch E-Schrott-Recycler und Bildröhrenzerleger entsorgt und stehen für Schott als Rohstoff nicht mehr zur Verfügung.**

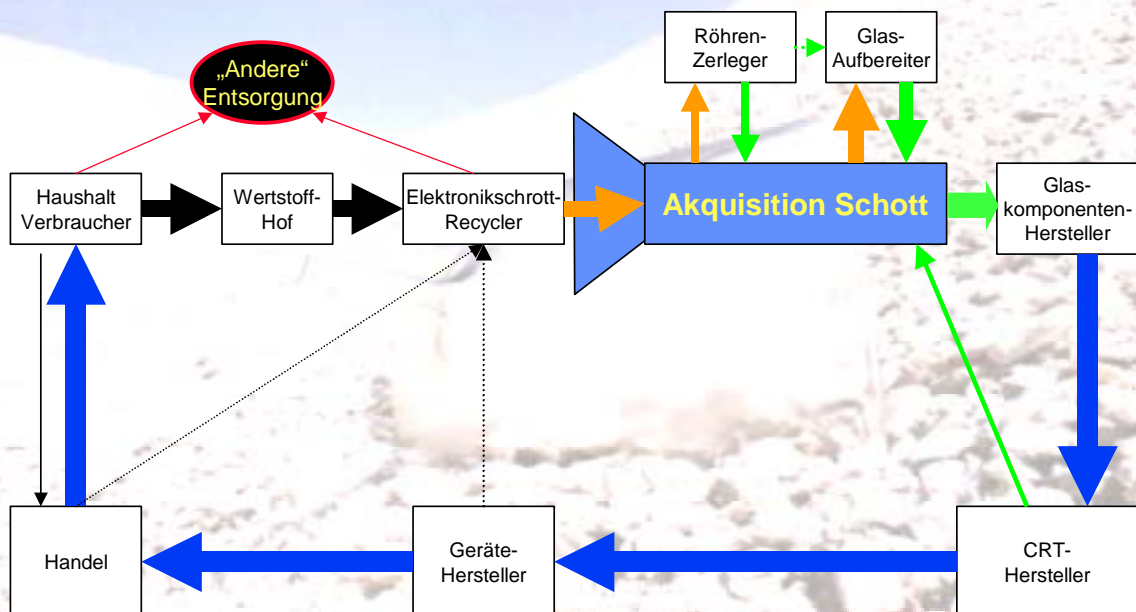


Quelle: Teamrecherche, -einschätzung

Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 4



**Schott will durch aktive Akquisition Engpässe im Stoffstrom beseitigen und die zum wirtschaftlichen Closed-Loop-Recycling erforderlichen Mengen beschaffen.**



Quelle: Teameinschätzung

Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 5



## Recyclingpartner von SCHOTT GLAS

**Aufbereiter:**  
GRIAG, Werder  
RtG, Reddeber

**Recycler (Auswahl):**  
RDE, Pulheim und Baumholder  
Rplus, Eppingen und Lustadt  
rectec, Ginsheim-Gustavsburg  
ZME, Heuchelheim  
A.R.T., Trier  
ECG, Goslar  
Schirmbeck, Schierling  
von Roll, Ingolstadt  
STENA, Norwegen  
STENA, Schweden  
APPAREC, Belgien  
Danbørs, Dänemark

*in Vorbereitung (Stand 06/2001)*  
Rethmann, Selm  
Rhenus, Nürnberg u. Essen  
EGR, Herten (Teilmengen)  
WER, Wilhelmshaven  
EKOKEM, Finnland  
Coolrec, Holland

Grafik: UFT-4/Obl 2001-02-27\_Rpartner\_Karte2001.ppt

Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 6

**SCHOTT**  
glass made of ideas

## Prozentuale Verteilung der Fernsehglasmengen in Europa im Jahre 2000

● Belgien	2,0%
● Dänemark	1,7%
● Deutschland	22,3%
● Finnland	1,5%
● Frankreich	18,3%
● Italien	12,4%
● Niederlande	4,1%
● Österreich	1,9%
● Portugal	2,0%
● Schweden	2,1%
● Spanien	8,9%
● UK	22,8%
<b>Summe:</b>	<b>100,0%</b>

Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 7

**SCHOTT**  
glass made of ideas

## Bildröhren bestehen nicht nur aus Glas...

...und müssen darüber hinaus auch noch sicher, umweltverträglich und wirtschaftlich gelagert und transportiert werden.

Fallen nur kleinere Mengen - unter ca. 150 Tonnen pro Jahr - an Bildröhren an, so ist ein Transport per Gitterbox oder in einer Holz-Stapelbox zu einem unserer Aufbereiter durchaus sinnvoll.



Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 8

**SCHOTT**  
glass made of ideas

## Bei manchen Lieferungen sieht man auf den ersten Blick das Glas vor lauter Metall nicht.

Dies wird oftmals durch - absolut unnötiges - Verdichten der gesammelten Bruchglasfraktion aus kompletten Bildröhren im Container verursacht.

Der Aufbereiter hat dann das Problem, die bei diesem Verdichten entstehende umfangreiche Feinfraktion, die sich mit den Schlämmen aus dem Reinigungsprozeß untrennbar vermischt, für teures Geld auf Sondermüll-Deponien entsorgen zu müssen.



Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 9

**SCHOTT**  
glass made of ideas

## Die Fernsehbildröhre besteht aus verschiedenen Komponenten



Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Elektronen herzu...

**SCHOTT**  
glass made of ideas

## ...hier im Det

### Metallische Bauteile

- Ablenkeinheit
- Spann- oder Imploband
- Schlitz- oder Lochmaske
- Abschirm-Konus
- Anode und Getterfeder
- 4 Pins im Schirmglas (Maskenbefestigung)

### Metall/Keramik/Glas

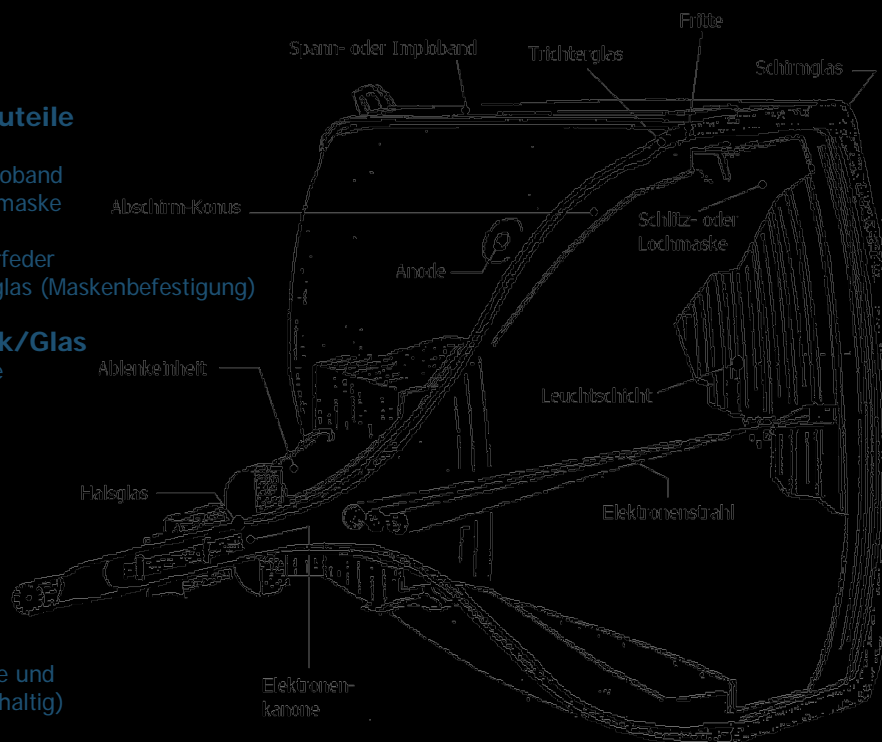
- Elektronenkanone

### Chemie

- Leuchtschicht
- evntl. Kunststoff- oder Beschichtung der Schirmvorderseite
- Eisenoxid und andere Oxide auf Trichterglas

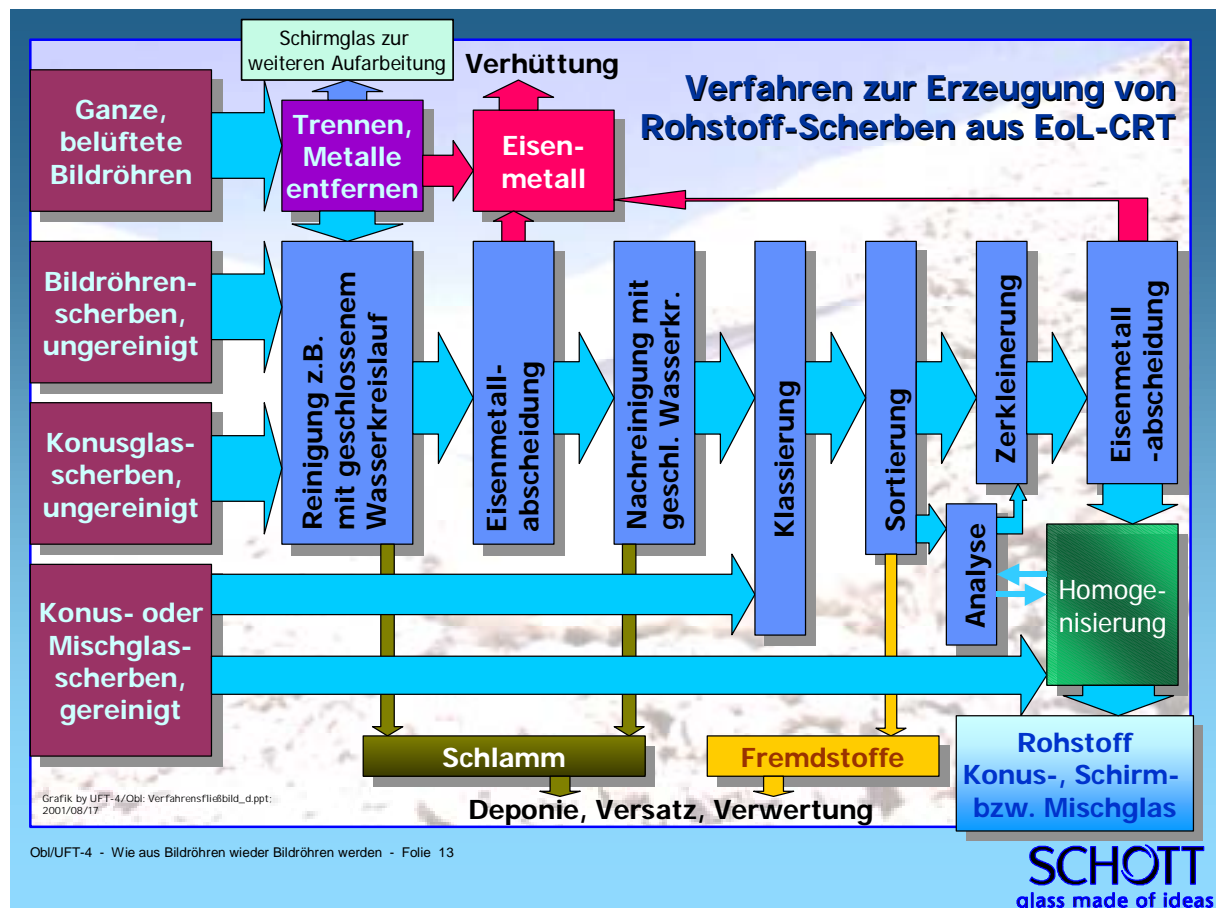
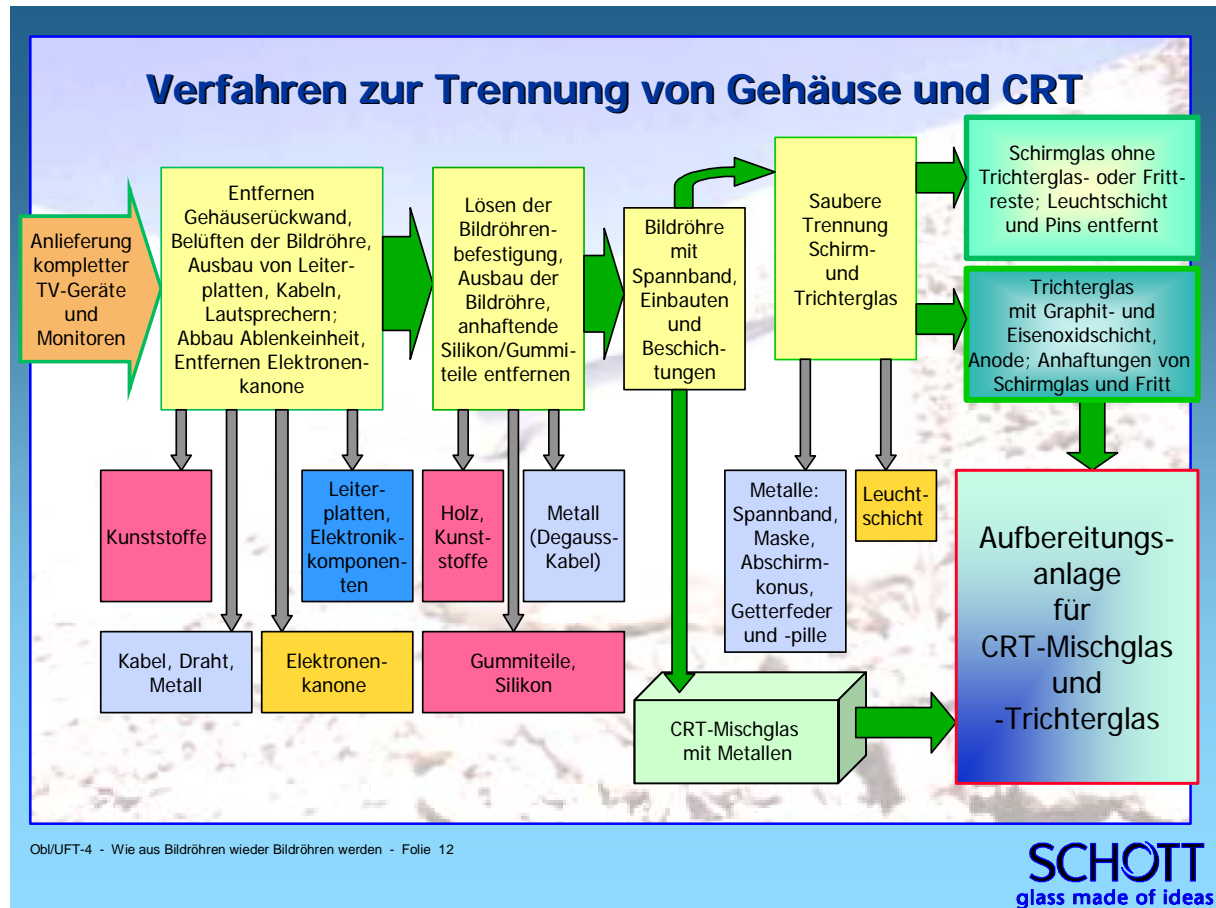
### Glas

- Trichterglas, Fritte und Halsglas (alle bleihaltig)
- Schirmglas



Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Elektronen herzu...

**SCHOTT**  
glass made of ideas



## Möglichkeiten der ökologisch sinnvollen Verwertung von Fernsehglas

- Recycling im geschlossenen Kreislauf
- Nutzung im offenen Kreislauf



Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 14

**SCHOTT**  
glass made of ideas

### Recycling im geschlossenen Kreislauf

## Qualitätsanforderungen für die Nutzung von EOL-Fernsehglas im geschlossenen Kreislauf

- Einhaltung der Spezifikationen hinsichtlich:
  - Sortenreinheit des jeweiligen Glasstyps (Schirm-, Konus-, Mischglas)
  - Homogenität
  - Korngröße
  - keine Fremdstoffe: Metalle, Plastik, Holz, ...
  - alle Beläge abgereinigt

**Um die Spezifikationen einzuhalten,  
ist ein umfangreicher Aufbereitungsprozeß notwendig!**

Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 15

**SCHOTT**  
glass made of ideas

## Recycling im geschlossenen Kreislauf

- **In der Trichterglasschmelze ist der Einsatz von End-of-Life Trichter- und Mischglas bereits heute großtechnisch realisiert**
- **In der Schirmglasschmelze laufen derzeit die ersten großtechnischen Versuche mit End-of-Life Schirmgläsern**
- **Nutzbare Qualitäten:**  
getrenntes Trichterglas  
Mischglas aus Schirm- und Trichterglas  
Halsglas und Pumpstutzen (aus industrieller CRT-Produktion)  
  
getrenntes Schirmglas

Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 16

**SCHOTT**  
glass made of ideas

## Recycling im geschlossenen Kreislauf

### Fernsehglas-Recycling bei SCHOTT GLAS, Mainz

#### Was kann Schott zur Zeit realisieren?

- Schott kann derzeit 15% der Schmelzkapazität der Trichterwanne in Form von Mischglas-Scherben zusetzen. Dies entspricht ca. 17.000 t/a EoL-Mischglas-Scherben.
- Alternativ können ca. 50% der Schmelzkapazität der Trichterwanne in Form von Trichterglas-Scherben zugesetzt werden, das sind ca. 38.000 t/a EoL-Trichterglas-Scherben.
- Großtechnische Versuche zum Einsatz aufbereiteten Schirmglases in der Schirmglas-Schmelze laufen, erreicht wurden ca. 10% der Schmelzkapazität der Schirmwanne.
- Die anfallende Menge von 76.000 t/a Schirmglas kann auch in alternativen, hochwertigen Anwendungen eingesetzt werden; entsprechende Anfragen liegen vor, Versuche werden gefahren bzw. sind für einzelne Bereiche bereits abgeschlossen.

Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 17

**SCHOTT**  
glass made of ideas

Recycling im geschlossenen Kreislauf

Closed-Loop-Recycling in der Fernsehglas-Schmelze bei SCHOTT GLAS, Mainz und STVG, Valasské Mezíříčí

Welche Mengen können aufgenommen bzw. eingesetzt werden?

• SCHOTT GLAS, Mainz

Mischglas	maximal	17.000 t/a
Trichterglas	maximal	38.000 t/a
Schirmglas	maximal	? in progress

• STVG, Valasské Mezíříčí (CZ)

Mischglas	maximal	11.000 t/a
Trichterglas	maximal	24.000 t/a



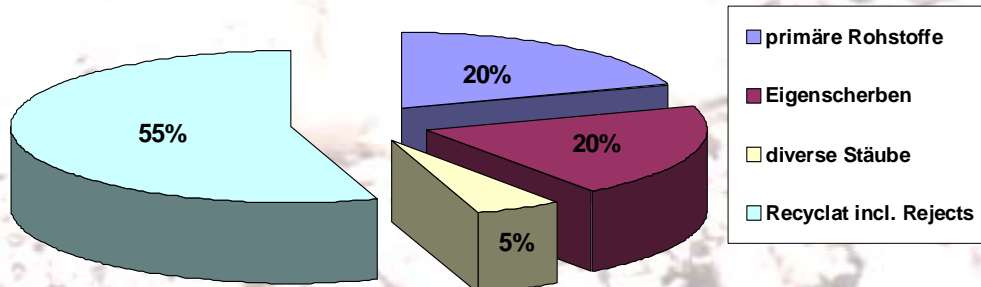
Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 18

**SCHOTT**  
glass made of ideas

Recycling im geschlossenen Kreislauf

Warum können maximal nur 55% End-of-Life und Line-Reject-Trichterglasscherben in der Trichterglas-Schmelze wiedereingesetzt werden?

- Zum Ausgleich fehlender Bestandteile in den Sekundärrohstoffen ist eine bestimmte Menge an neuen Rohstoffen erforderlich
- Auch in der besten Glasproduktion fallen Eigenscherben und Stäube an, die ebenfalls wieder in die Schmelze eingebracht werden müssen



Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 19

**SCHOTT**  
glass made of ideas



## Recycling im geschlossenen Kreislauf

### Haupthemmnisse beim Ausbau des Closed-Loop-Recyclings für EoL-Bildröhrenglas

- Es gibt billigere „Verwertungswege“ und Deponieräume, die trotz aller sachlichen Bedenken nach wie vor auch rechtskonform sind und keinen funktionierenden Beschränkungen unterliegen
- Die Definition der zulässigen Entsorgungs- bzw. Verwertungswege berücksichtigt noch nicht oder nicht ausreichend die heute vorhandenen Möglichkeiten des geschlossenen Kreislaufs
- Teilweise fehlende Logistik zur Erfassung der angebotenen Mengen und Unkenntnis der vorhandenen Möglichkeiten
- Mangelhafte Trenntechnik für Bildröhren
- Die Recycler benutzen häufig den geschlossenen Kreislauf nur für eine Teilmenge des anfallenden EoL-Bildröhrenglases (Feigenblatt) und verbringen weiterhin in die - billigere - Deponie.

Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 20

**SCHOTT**  
glass made of ideas

## Recycling im offenen Kreislauf

Für den offenen Kreislauf bietet sich in erster Linie bleifreies Schirmglas von Farb-Bildröhren an.

- überschüssiges Schirmglas muß ökologisch und ökonomisch sinnvoll verwertet werden
- Mögliche Nutzungen sind bereits erprobt:
  - Isolierglasfasern
  - Ersatz primärer Rohstoffe in der Keramikindustrie
  - Glasuren
  - Elemente für die Bauindustrie



**Hier kann nur definitiv bleifreies Recyclat genutzt werden !**

Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 21

**SCHOTT**  
glass made of ideas



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

Für weitere Fragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung:

Thomas Oberle Tel. 06131/66-3834, Fax 06131/66-1965, Mobile 0171/6843980  
e-mail: [thomas.oberle@schott.com](mailto:thomas.oberle@schott.com)

Dr. Eckart Döring Tel. 06131/66-2187, Fax 06131/66-2073, Mobile 0171/2209417  
e-mail: [eckart.doering@schott.com](mailto:eckart.doering@schott.com)

Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 22

**SCHOTT**  
glass made of ideas



**Backup-Folien**

Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 23

**SCHOTT**  
glass made of ideas

## Möglichkeiten des Fernsehglas-Recyclings im geschlossenen Kreislauf in der SCHOTT Gruppe

### In welchen Betrieben wird das EoL-Glas recycelt?

- **SCHOTT GLAS in Mainz**  
ist eines der weltweit führenden Technologie-Unternehmen auf dem Spezialglas-Sektor und verfügt über eine hohe Kompetenz bei allen Spezialglas-Produkten und den damit verbundenen neuen Technologien einschließlich eigener Forschungs- und Entwicklungs-Kapazitäten  
ist ein unabhängiger Hersteller von u.a. Glaskomponenten für Bildröhren mit internationalen Kundenkontakten  
verfügt in Mainz über eine Trichterglas-Wanne und zwei Schirmglas-Wannen  
ist seit vielen Jahren in der Entwicklung und Erprobung der Recyclingmöglichkeiten von EoL-Bildröhrenglas engagiert, so u.a. im internationalen Recytube-Projekt  
setzt seit 2000 kontinuierlich aufbereitete EoL-Bildröhrenscherben als Sekundärrohstoff in der Trichterglas-Schmelze ein
- **STVG in Valasské Mezířící (CZ)**  
ist eine 100%ige Tochter der SCHOTT GLAS, Mainz und fertigt Trichter für Bildröhren  
verfügt in Valasské Mezířící, Tschechien über eine Trichterglas-Schmelzwanne mit zwei Produktions-Linien

Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 24

**SCHOTT**  
glass made of ideas

## Welchen Limitierungen unterliegt das Recycling im geschlossenen Kreislauf ?

- Es existieren 2 Grenzen für den Wiedereinsatz von Recycling-Glas:
  - **Chemische Limitierung**
    - Absättigung einzelner Oxide durch Recyclat
    - Menge wird durch Glaschemie und Recyclat-Typ bestimmt
  - **Logistische Limitierung**
    - Begrenzung durch bestehende Stoffströme

Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 25

**SCHOTT**  
glass made of ideas

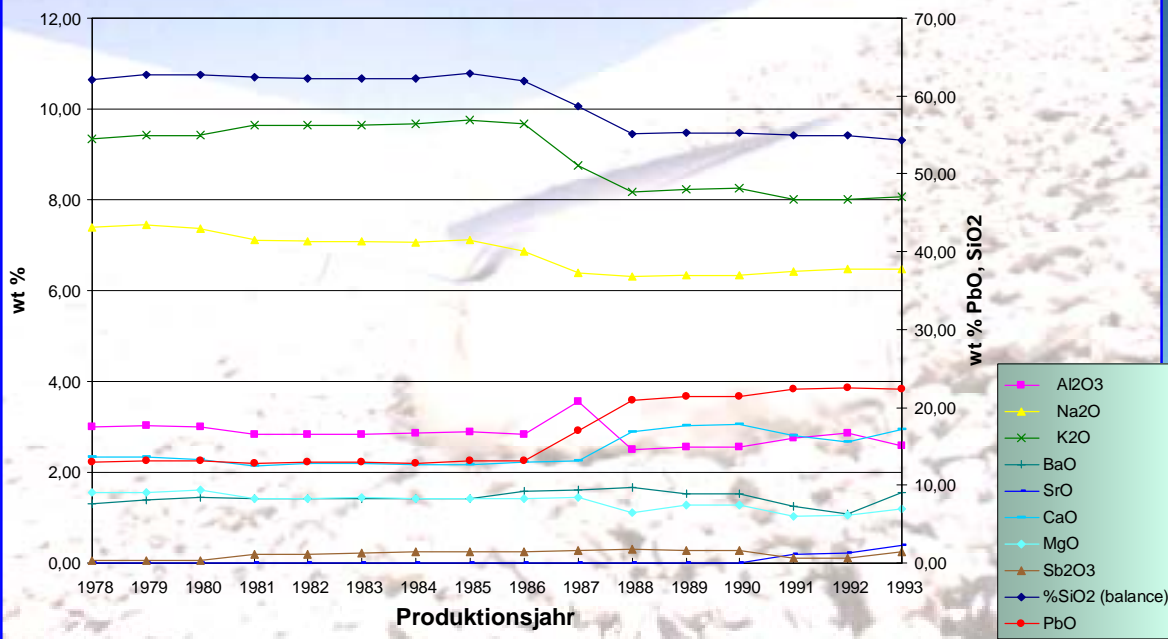
## Zusammensetzungsbereiche Fernsehglas

Konusglas-Zusammensetzungen				Schirmglas-Zusammensetzungen			
Oxide	Min	Mittel	Max	Oxide	Min	Mittel	Max
SiO <sub>2</sub>	51,19	57,53	63,45	SiO <sub>2</sub>	58,85	61,67	65,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,10	2,63	5,00	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,20	2,57	3,70
Na <sub>2</sub> O	5,25	6,59	8,05	Na <sub>2</sub> O	6,15	7,83	9,80
K <sub>2</sub> O	7,15	8,58	10,30	K <sub>2</sub> O	6,00	7,37	8,95
				Li <sub>2</sub> O	0,00	0,12	0,50
				F	0,00	0,25	0,83
BaO	0,00	0,95	3,00	BaO	1,90	9,46	14,20
SrO	0,15	0,30	0,65	SrO	0,00	6,46	11,60
CaO	1,60	3,04	4,45	CaO	0,00	1,81	4,55
MgO	0,90	1,89	3,00	MgO	0,00	0,70	1,95
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,07	0,15	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,06	0,30
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	0,18	0,35	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,18	0,41	0,70
				TiO <sub>2</sub>	0,00	0,36	0,60
				CeO <sub>2</sub>	0,00	0,24	0,55
PbO	11,60	18,56	24,60	PbO	0,00	0,54	3,25
ZrO <sub>2</sub>	0,20	0,20	0,20	ZrO <sub>2</sub>	0,00	1,05	3,50
				ZnO	0,00	0,16	0,65
				Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	0,04	0,07

Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 26

**SCHOTT**  
glass made of ideas

## Änderungen der Trichterglas-Zusammensetzungen in Europa



Obl/UFT-4 - Wie aus Bildröhren wieder Bildröhren werden - Folie 27

**SCHOTT**  
glass made of ideas

# Leuchtstofflampen - und Motorkondensatoren, sonstige Starkstromkondensatoren

Robert Huber, Electronicon Kondensatoren GmbH

## 1. Funktion von Kondensatoren

Kondensatoren können Energie speichern und sehr schnell auch bei Bedarf wieder abgeben. Sie können für Gleich – und Wechselspannung gebaut werden.

An Wechselspannung sorgen sie für eine Verschiebung des Stromes zur Spannung um elektrisch  $90^\circ$  was 100% Blindleistung verursacht.

Diese Eigenschaft nutzt man, um den Blindstrom von induktiven Verbrauchern zu kompensieren.

Das heißt überall wo Motoren, Transformatoren, Induktive Erwärmungs- und –schmelzanlagen oder Lichtbogenofenanlagen installiert sind, gibt es auch Kondensatoren.

In Haushalt und Büro finden wir Kondensatoren in der Waschmaschine, in Trockner, Dunstabzugshaube, Kühlschrank( nicht immer), Mikrowelle, Leuchtstofflampen, Kopiermaschine, USV-Anlagen, Lüfter, Heizungspumpen, Heimwerker- Maschinen wie Kreissägen, Rasenmäher, Hochdruckreiniger – im Prinzip überall, wo ein kleiner Antrieb sitzt , der etwas bewegt ab einer gewissen Leistung und Einschaltdauer.

Bei sehr kleinen Leistungen kann statt eines Kondensatormotors auch ein Spaltpolmotor verwendet sein, bei dem die Phasenverschiebung durch einen Widerstand erfolgt

## 2. Bauarten von Kondensatoren mit organischem Dielektrikum.

Es gibt zwei generelle Bauarten nach der Belagart:

**Selbsteilende** mit aufmetallisierten Belägen ca. 0,00001 mm dick aus Alu, Zink oder Alu/ Zink gemischt und Spuren anderer Metalle.

**Diese Bauart enthält keinerlei Halogene, weil dies die Selbstheilung beeinträchtigen würde.**

**Kennzeichnung: SH**

**Nichtselbsteilende** Kondensatoren haben Alufolien von ca. 0,005mm Dicke als Beläge.

Diese Bauart wurde aus Gründen des Feuerschutzes über viele Jahre mit PCB imprägniert.

Bis zum Verbot der PCBs 1982 (Polychlorierte Biphenyle), gab es keinerlei Grenzwerte für Verunreinigungen. Da häufig neben PCB auch Mineralöle oder andere Öle parallel verarbeitet wurde oftmais in denselben Anlagen- ist bis zu diesem Zeitpunkt mit Vermischungen > 50ppm zu rechnen.

**Das heißt, erst ab ca. 1982 wird der Aufdruck NON PCB oder PCB frei auch tatsächlich der Definition < 50ppm PCB auch gerecht.**

## 3. Inhaltsstoffe von Kondensatoren

### Selbsteilende Kondensatoren:

Wie bereits oben kurz angerissen, können selbstheilende Kondensatoren weitgehend losgelöst von der PCB- Problematik betrachtet werden.

Hauptanteile:

Papier und / oder Kunststoffe, weitestgehend halogenfrei.

Metalle : Kupfer, Blei , Zinn, sowie je nach Gehäuseart Aluminium, Stahl, Edelstahl mit Legierungsanteilen und Kunststoffe mit oder ohne Flammschutz

Imprägnierte Bauformen enthalten Mineralöle , Harze, synthetische- und sogar natürliche Öle mit kleinen Mengen an Stabilisatoren. (1)

Fest vergossene Kondensatoren enthalten PU- Massen, Epoxidmassen, Wachse und darin oftmals flammhemmende Zuschläge.

#### **Nichtselbstheilende Kondensatoren:**

Hauptanteile wie oben.

Bis 1982 sind diese Kondensatoren zumeist mit PCB oder mit NICHT PCB – Ölen mit meist mehr oder weniger hoher PCB Verunreinigung imprägniert worden.

Ab 1983 wurden verschiedene Tränköle verwendet, die in (1) ausführlich beschrieben sind.

Die technisch interessantesten zeichnen sich durch hohe Gasabsorptionsfähigkeit aus und sind der Gruppe der Aromatischen Kohlenwasserstoffe zuzuordnen.

Gegenüber den PCBs unterscheiden sie sich durch hohe Brennbarkeit (vergleichbar leichtes Heizöl) und biologische Abbaubarkeit.

Sie dürfen nicht ins Oberflächenwasser und ins Grundwasser gelangen.

#### **4. Erkennungsmerkmale von PCB Kondensatoren**

Der Fachverband Starkstromkondensatoren im ZVEI hat in Zusammenarbeit mit seinen Mitgliedern ein Merkblatt herausgegeben mit dem Titel

##### **Entsorgung von PCB - haltigen Starkstromkondensatoren (2)**

Leuchtstofflampen- und Motorkondensatoren, Leistungskondensatoren

Die Ausgabe vom Stand Oktober 2000, die Ihren Unterlagen beigelegt ist, kann Ihnen wertvolle Hilfestellung bei der Entsorgung von Starkstromkondensatoren leisten.

Die Geschäftsstelle des Fachverbandes kann darüber hinaus zusätzliche Unterstützung bieten, falls es weitere Fragen zu diesem Thema gibt.

An dieser Stelle ist es nicht erforderlich, die enthaltenen Informationen zu wiederholen.

#### **5. Literaturangaben**

Die Titelseiten folgender Unterlagen sind in Kopie Ihren Unterlagen beigelegt.

Zum Vortrag liegen die o.g. Broschüren auf zur Einsicht.

- |   |   |
|---|---|
| (1) Texte Ersatzstoffe  | Umweltbundesamt / 7.89  |
| (2) Entsorgung von PCB  | Fachverband Starkstromkondensatoren /10.2000                          |
| (3) Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben PCB- Kleinkondensatoren | TU Berlin / 12. 88  |
| (4) Herkunft und Verbleib PCB-haltiger Rückstände                   | BSM im Auftrag des Umweltbundesamtes /4. 90                           |
| (5) PCB- Bilanz 1981-1984   | LGA Bayern/ 5.87  |
| (6) Verordnung über die Entsorgung polychlorierter Biphenyle        | Bundesminister für Umwelt, Naturschutz.../6.2000                      |
|   | Zu finden in Website BMU : <a href="http://www.bmu.de">www.bmu.de</a> |
|   | <<PCB- AbfallVO _20000626.pdf>>                                       |

TEXTE 33/89

---

ERSATZSTOFFE FÜR IN KONDENSATOREN,  
TRANSFORMATOREN UND ALS HYDRAULIK-  
FLÜSSIGKEITEN IM UNTERTAGEBERGBAU  
VERWENDETE POLYCHLORIERTE BIPHENYLE

- Eine Zusammenstellung und  
Bewertung -

Dr. H. Peter (UBA)  
Dr. W. Karl (BAM)  
Dr. G. Roll (BGA)  
Dr. Dr. B. Schlatterer (UBA)

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Bismarckplatz 1  
1000 Berlin 33  
Tel.: 030/8903-0  
Telex: 183 756

Redaktion: Fachgebiet I 4.5  
Dr. Horst Peter

Gebühr: 10,-- DM

2. Auflage  
Stand: Juli 1989

Berlin, September 1989



## Fachverband Starkstromkondensatoren

Am Schillertheater 4  
10625 Berlin  
Telefon (030) 306 960-0  
Telefax (030) 306 960-20

E-mail: starkstromkondensatoren@zvei.org

<http://www.zvei.org>

Oktober 2000

# Merkblatt

## Entsorgung von PCB-haltigen Starkstromkondensatoren

(Leuchtstofflampen- und Motorkondensatoren, Leistungskondensatoren)

### Zielsetzung des Merkblatts

Mit den im vorliegenden Merkblatt enthaltenen Hinweisen wollen die im Fachverband zusammengeschlossenen Hersteller von Starkstromkondensatoren darüber informieren,

- was PCB-haltige Starkstromkondensatoren sind, wo und wie lange sie eingesetzt wurden
- welche Gefahren von PCB ausgehen
- welche gesetzlichen Regelungen existieren
- wie PCB-haltige Kondensatoren und PCB-freie Kondensatoren zu erkennen sind
- wie man sachgemäß mit solchen Kondensatoren umgeht und
- auf welchem Wege sie entsorgt werden.

Wenn weitere Fragen zu beantworten sind, stehen die Fachverbandsgeschäftsstelle und die Hersteller von Starkstromkondensatoren mit Rat zur Verfügung.

Dass PCB-haltige Starkstromkondensatoren einer ordnungsgemäßen Entsorgung zugeführt werden und keinesfalls mit dem Hausmüll auf Deponien landen dürfen, ist seit Jahren aktives Bemühen der im Fachverband zusammengeschlossenen Hersteller von Starkstromkondensatoren sowie der für die Abfallbeseitigung zuständigen Behörden, der Hersteller von PCB und der Anwender von Kondensatoren.

### PCB-Einsatz und -Gefahren

Polychlorierte Biphenyle (PCB) wurden seit den 30er Jahren in vielen Industrieländern als flüssiges Dielektrikum bei der Produktion von Starkstromkondensatoren verwendet. Sie zeichnen sich durch hohe elektrische Stabilität und schwere Entflammbarkeit aus.

Ende der 60er Jahre wurde erkannt, dass Polychlorierte Biphenyle biologisch schwer abbaubar und ökologisch bedenklich sind. Die Verwendung von PCB wurde 1978 in der Bundesrepublik Deutschland auf bestimmte Anwendungsgebiete (sog. „geschlossene Systeme“), zu denen auch Kondensatoren gehören, beschränkt. Ende der 70er Jahre wurde deutlich, dass sich PCB bei hohen Temperaturen, wie sie z. B. bei Umgebungsbränden auftreten können, zersetzt. Bei bestimmten Temperaturen können Polychlordibenzodioxine (PCDD) und Polychlordibenzofurane (PCDF) freigesetzt werden, von denen toxische Gefahren ausgehen.

Diese Erkenntnisse haben dazu geführt, dass die Produktion von PCB 1982 in der Bundesrepublik Deutschland eingestellt wurde. Gleichzeitig haben auch die Hersteller von Starkstromkondensatoren - ohne dass ein behördliches Verwendungsverbot vorlag - auf den Einsatz polychlorierter Biphenyle verzichtet, weil Ersatzstoffe mit annähernd gleichen dielektrischen Eigenschaften auf den Markt kamen.

Wesentliche Einsatzgebiete von Starkstromkondensatoren sind die Kompensation von Leuchtstofflampen (Leuchtstofflampenkondensatoren), die Blindleistungskompensation von gewerblichen Energieverbrauchern (Leistungskondensatoren, Phasenschieber, Kondensator-Regelanlagen) sowie Anlauf und Betrieb von Elektromotoren (Motorkondensatoren z. B. in Waschmaschinen, Pumpen, Lüftern).



## **Gesetzliche Regelungen für die Verwendung und Entsorgung von PCB-haltigen Kondensatoren**

Die seit 30.06.2000 in Kraft getretene Verordnung über die Entsorgung polychlorierter Biphenyle, polychlorierter Terphenyle sowie halogenerter Monomethyldiphenylmethane und zur Änderung chemiekaufenrechtlicher Vorschriften (PCB-Abfallverordnung), veröffentlicht am 29. Juni 2000 im Bundesgesetzblatt Teil I Nr. 28 S. 932, regelt u. a. die Verwendung von PCB-haltigen Erzeugnissen. Danach ist grundsätzlich die Verwendung von Erzeugnissen verboten, die Zubereitungen mit einem PCB-Gehalt von mehr als 50 mg/kg enthalten. Für Erzeugnisse, die am 29. Juli 1989 bereits in Betrieb waren, gilt demnach eine neue Übergangsregelung gem. § 54 Abs. 2 Gefahrstoffverordnung. Danach dürfen:

1. Kondensatoren, die mehr als 100 ml, aber nicht mehr als 1 l PCB-haltiger Flüssigkeit enthalten, bis zu ihrer Außerbetriebnahme, längstens jedoch bis zum 31. Dezember 2010
2. Kondensatoren, die bis zu 100 ml PCB-haltiger Flüssigkeit enthalten, bis zu ihrer Außerbetriebnahme (ohne konkretes Enddatum)

verwendet werden.

Für die Entsorgung von PCB-haltigen Kondensatoren gilt das Kreislaufwirtschafts-/Abfallgesetz mit den entsprechenden Verordnungen. Der Transport PCB-gefüllter Kondensatoren unterliegt den verkehrsträgerspezifischen Gefahrgutvorschriften, z. B. ADR, GGVS, GGVE usw.

## **Empfehlung des Fachverbandes Starkstromkondensatoren**

Die PCB-Abfallverordnung lässt zum Teil lange Verwendungsfristen oder gar die Verwendung bis zur Außerbetriebnahme ohne Befristung zu. Der Fachverband Starkstromkondensatoren empfiehlt jedoch, PCB-haltige Kondensatoren grundsätzlich außer Betrieb zu nehmen und zu entsorgen, weil solche Kondensatoren über diese langen Zeiträume undicht werden können und dabei PCB abtropfen oder in die Raumluft gelangen kann. Außerdem können bei der thermischen Zersetzung von PCB, z.B. bei einem Umgebungsbrand, giftige Stoffe wie Dibenzodioxine oder Dibenzofurane entstehen. Bei einer Risikoabschätzung durch den Betreiber ist zu beachten, dass PCB-haltige Kondensatoren bei bestimmten Anwendungen z.B. bei Beleuchtungsanlagen in erheblicher Stückzahl vorhanden sein können.

## **Kennzeichnung von PCB-haltigen und PCB-freien Starkstromkondensatoren**

PCB-haltige Starkstromkondensatoren sind im allgemeinen mit den Buchstabenkombinationen CD, CI, CP oder A 30, A 40 gekennzeichnet. Eine Typenliste PCB-haltiger Starkstromkondensatoren ist Anlage des Merkblatts. In geringem Umfang können andere Bezeichnungen - z. B. von ausländischen oder nicht mehr existierenden Herstellerfirmen - vorkommen; in diesen Fällen sollten die Kondensatoren aus Sicherheitsgründen wie PCB-haltige Kondensatoren behandelt werden.

Bei den Buchstabenkombinationen MP, MKK, MKP, MPP, MKV, MFV, MPK sowie LK und LP kann davon ausgegangen werden, dass diese Kondensatoren kein PCB enthalten. Soweit ein Herstellungsdatum angegeben ist, kann man ab 1983 von „PCB-frei“ ausgehen.

## **Umgang mit PCB-haltigen Materialien**

Dichte Starkstromkondensatoren, auch wenn sie PCB-haltig sind, erfordern keine besonderen Behandlungsvorschriften. Undichte Kondensatoren sollten umgehend außer Betrieb gesetzt, demontiert und flüssigkeitsdicht einschließlich sonstiger kontaminierter Materialien (Putzlappen, Sägespäne, Papier) verpackt werden. Hautkontakt ist zu vermeiden. Grundsätzlich sind Außerbetriebnahme und Demontage von Fachleuten vorzunehmen und die gesetzlichen Regelungen für die weitere Behandlung zu beachten.

## **Entsorgung von PCB-haltigen Materialien**

Nach dem Kreislaufwirtschafts-/Abfallgesetz mit den entsprechenden Rechtsverordnungen muss der Besitzer/Betreiber von PCB-haltigen Materialien /Geräten die ordnungsgemäße Entsorgung veranlassen.

PCB-kontaminierte Feststoffe werden in der Untertage-Deponie Herfa-Neurode endgelagert, PCB-haltige Flüssigkeiten werden in Hochtemperaturöfen verbrannt. Für die Vorbehandlung, Verpackung und den Transport sind grundsätzlich konzessionierte Abfallvorbehandlungs-, Transport- und Entsorgungsunternehmen einzuschalten.

Die bei Drucklegung dieses Merkblattes gültige Fassung des ADR lässt zu, dass Geräte mit PCB bis zu 500ml je Gerät und bis zu 2 Liter je Versandstück in flüssigkeitsdichter Verpackung transportiert werden.

Sachkundige Auskunft über die Entsorgung und Neubeschaffung von Starkstromkondensatoren geben die Mitgliedsfirmen des Fachverbandes nach folgender Zuordnung:

<b>FIRMA</b>	<b>Leuchtstofflampen- und Motorkondensatoren</b>	<b>Leistungs-kondensatoren</b>
ABB Kondensatoren GmbH Bremecketal - Postfach 11 50 59914 Brilon - Tel.: (02961) 782-0	●	●
AEG Kondensatoren und Wandler GmbH Sickingenstr. 71 10553 Berlin - Tel.: (030) 34692-1	●	●
Baugatz/Hoppe GmbH Elektrische Kompensations- und Schaltanlagen Lahnstr. 74 12055 Berlin - Tel.: (030) 682950-0		●
Electronicon Kondensatoren GmbH Keplerstraße 2 07548 Gera - Tel.: (0365) 7346-0	●	●
FRAKO Kondensatoren- und Anlagenbau GmbH Schanzenstr. 24-30 51063 Köln - Tel.: (0221) 676-0		●
FRAKO Kondensatoren- und Anlagenbau GmbH Tscheulinstr. 21a 79331 Teningen - Tel.: (07641) 453-0	●	●
Siemens Aktiengesellschaft Energieübertragung und -verteilung Humboldtstr. 64 90459 Nürnberg - Tel.: (0911) 433-0		●
VISHAY Electronic GmbH Geschäftsbereich Roederstein/ESTA Hofmark-Aich-Str. 36 - Tel.: (0871) 86-1 84030 Landshut	●	●
ZVEI Fachverband Starkstromkondensatoren Am Schillertheater 4 10625 Berlin - Tel.: (030) 306960-0	●	●
In einigen Bundesländern sind Landesgesellschaften für die Entsorgung von Kondensatoren zuständig:		
Gesellschaft zur Entsorgung von Sondermüll in Bayern mbH (GSB) Winzererstr. 47 d - 80797 München, Tel.: (089) 306290		
Hessische Industriemüll GmbH (HIM) Kreuzberger Ring 58 - 65205 Wiesbaden, Tel.: (0611) 71490		
Niedersächsische Gesellschaft zur Endablagerung von Sonderabfällen mbH (NGS) Alexanderstr. 4 - 20159 Hannover, Tel.: (0511) 36896-0		
Sonderabfallentsorgung Saar (SES) Postfach 102 754 - 66027 Saarbrücken, Tel.: (0681) 3870413		

Typenkennzeichnung von PCB-haltigen Starkstromkondensatoren				
FIRMA	Leistungskondensatoren		Leuchtstofflampen- und Motorkondensatoren	
	Typenkennzeichnung	Tränkmittelkennzeichnung	Typenkennzeichnung	Tränkmittelkennzeichnung
ABB (ASEA Dominit, Lepper Dominit, ASEA Lepper)	CPN... (außer CPN 7 und CPN 9 ) CPH... CKN... CKH... .	A 30 A 50 3 CD Cp. Cpstab	—	—
AEG (Hydra)	im Typenschild	CPA 30, 40, 50 3 CD 4 CD	Nennspannung- Tränkmittel- VDE-Zeichen	3 CD 4 CD
Berliner Kondensatoren- fabrik BAUGATZ	LD... CpD... LU... CpM... KSE... CpN... OVL... CpNK... KSE/OVL... HSE... TV... HSD... KSE/TV... RKO... ZZD... CpH...	CD, 3 CD, 4 CD CPA 30, CPA 40	MB... CpL... Motostat...	Cp, CPA 40, 3 CD, 4 CD
ELECTRONICON RFT/ GERA	0218.XXX	Chlordiphenyl CD, 3 CD, 5 CD Orophen Orogen Clophen	0219.XXX	Chlordiphenyl
FELTEN & GUILLEAUME AG	Angabe der Leistung 0.220... 0.230... 0.380... 0.400... 0.500... 0.525...	CP P CP 25, 30, 40, 50	—	—
FRAKO	Ph (außer PH-M) PKS (außer PKS-M)	3 CD 4 CD A 40 Cp	LR M...RLB M...RKB M...RFB	3 CD A 30 4 CD A 40 Cp
ISOKOND	BC BK LKC LKP KC KCI KPI	Orophen Cp, CD A 50, A 30 5 CD, 3CD	—	—
OTTO JUNKER	CF... CE... CD... CP... CW...	A 30; CP 30 A 40; CP 40 A 50; CP 50 3 CD; 4 CD; 5 CD;	—	—
VISHAY (ERO-Starkstrom- Kondensatoren- ESTA -) SIEMENS	Phcl Phkc Phcz Phfp Phcf Phfpw Nsp: Ce..., Co..., Cd..., Cod..., 4RA Msp: fCd..., fCe..., fCp..., frCE..., 4RG..., 4RH..., MF: 1CE..., 1Cy..., wCe..., kCe..., 4RI..., (bis 1976)	CPA 40 P 25 PCB Askarel Clophen CP A 30 CP A 50	LCX LMU LCU MCX LMX MCU B 13311... B 13312... B 13314...(bis 1973) B 13319... B 15030...	CD Cp —
SÜKO	(bis 1976) Ph...380 PH...400 (bis 1974)	CD CPA	MCAL (bis 1970) 31...260 bis 450 (bis 1982) CLA (bis 1970) CDA (bis 1970) 11/13...220 (bis 1982) 12/14...380 (bis 1982) 12/14...420 (bis 1982) LEUKO-LS XXX 250-420 MOTKO-16.60 XXXX DCT -MS XX Elos	CD
THOMSON - CSF (Elos, Ducati)	—	—	—	3 CD 3 DC

Kondensatoren mit folgenden Firmen-Bezeichnungen sind außerdem noch in Gebrauch (keine Vollständigkeit):  
ELOS / GRUNOW / JAHRE / NEUBERGER / RÜPPEL / ROEDERSTEIN

**ABSCHLUSSBERICHT  
ZUM FORSCHUNGSVORHABEN  
PCB-KLEINKONDENSATOREN**

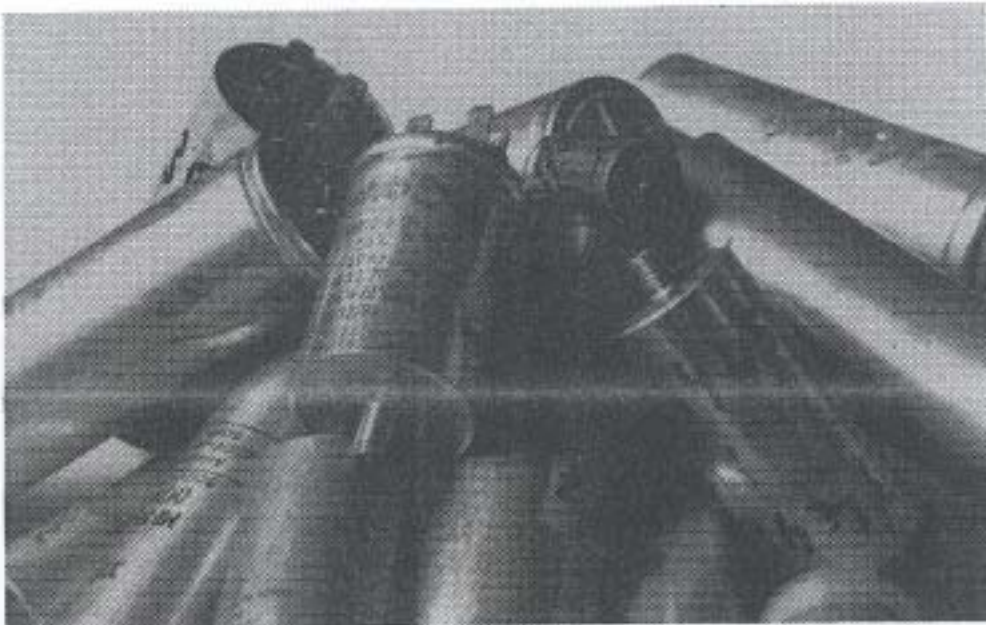
**IM AUFTRAG DES SENATORS FÜR  
STADTENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ**

**VORGELEGT VON DER  
ARBEITSGRUPPE UMWELTSTATISTIK - ARGUS  
AN DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BERLIN**

**PROFESSOR R. K. BAUER**

**VERFASSER: M. BARGHOORN**

**MITARBEIT: P. GÖSSELE**



**BERLIN IM DEZEMBER 1988**

**BSM** Gesellschaft für Betriebsberatung mbH

---

**Bundesminister für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit**

**Herkunft und Verbleib PCB-haltiger Rückstände**

**Forschungsbericht Nr. 103 02 119**

**von**

**Dipl.-Ing. agr. Ulrich Hillejan  
Dr. Jobst von Schaaffhausen**

**B S M - Gesellschaft für  
Betriebsberatung mbH  
Düsseldorf**

**April 1990**

**Diese Studie wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes  
im Rahmen des Umweltforschungsplanes  
- Förderungskennzeichen 103 02 119 -  
erstellt und mit Bundesmitteln finanziert**

Landes-  
gewerbeanstalt  
Bayern

**LGA**



Information + Dokumentation/  
Technische Betriebswirtschaft

# PCB-Bilanz 1981–1984

in Auftrag des  
Umweltbundesamtes, Berlin

Verbrauch und Verbleib von polychlorierten Biphenylen  
(PCB) in der Bundesrepublik Deutschland

Landesgewerbeanstalt Bayern  
Gewerbemuseumplatz 2  
8500 Nürnberg 1  
Telefon (0911) 20171  
Fernschreiber 6 22 229, Fax (0911) 2017-504

PCB-AbfallVO\_20000626.pdf  
Website des BMU zu PCB: www.bmu.de  
<<PCB-AbfallVO\_20000626.pdf>>

**Hinweis: Diese Fassung kann in Details von der veröffentlichten Fassung im Bundesgesetzblatt (BGBl. I S. 932) abweichen.**

**Verordnung über die Entsorgung polychlorierter Biphenyle, polychlorierter Terphenyle sowie halogenerter Monomethyldiphenylmethane und zur Änderung chemikalienrechtlicher Vorschriften<sup>1)</sup>**

Vom 26. Juni 2000

Die Bundesregierung verordnet auf Grund

- des § 14 Abs. 1 Nr. 3 Buchstabe a des Chemikaliengesetzes in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. Juli 1994 (BGBl. I S. 1703) sowie des § 57 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes vom 27. September 1994 (BGBl. I S. 2705) und
- des § 6 Abs. 1 Satz 4 des § 7 Abs. 1 Nr. 1, 2 und 4, des § 12 Abs. 1 und des § 48 Nr. 1 und 2 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes sowie des § 17 Abs. 1 Nr. 1 Buchstabe a und c sowie Nr. 2, Absatz 3 und Absatz 5 des Chemikaliengesetzes nach Anhörung der beteiligten Kreise und
- des § 59 Satz 1 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes unter Berücksichtigung der Rechte des Bundestages:

**Artikel 1**

**Verordnung über die Entsorgung polychlorierter Biphenyle, polychlorierter Terphenyle und halogenerter Monomethyldiphenylmethane  
(PCB/PCT-Abfallverordnung - PCBAbfallV)**

<sup>1)</sup> Diese Verordnung dient der Umsetzung der Richtlinie 96/59/EG des Rates vom 16. September 1996 über die Beseitigung polychlorierter Biphenyle und polychlorierter Terphenyle (Abl. vom 24. 9. 96 Nr. L 243/31) sowie der Richtlinie 99/51/EG der Kommission vom 26. Mai 1999 zur fünften Anpassung des Anhangs I der Richtlinie 76/769/EWG des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen (Zinn, PCP und Cadmium) an den technischen Fortschritt (Abl. vom 5. 6. 99. Nr. L 142/22)

...

# Das Motorola Öko-Handy

Dr. Siegfried Pongratz, Director MATC-Europe, Motorola GmbH

## Motorola and the Environment

---

### Motorola Environmental Goals

- All manufacturing sites ISO 14001 certified by the end of 2000
- Design our products to be highly recyclable
- Reduce the use of hazardous materials
- Reduce energy use in our products
- Increase the use of recycled materials in our products
- Minimize the ratio of packaging material to product volume
- Label all plastic parts weighing greater than 4 grams to aid future recycling




MOTOROLA LABS



MATC-Europe
Fachtagung Bayerisches LfU SP 09/25
1

## Joint Motorola-Swisscom Life Cycle Assessment (LCA) Project

---



MOTOROLA LABS

Life Cycle of a Product

Inputs		Outputs
	Raw Material Acquisition	Products
Energy	Engineered Materials	By-products
Process Materials	Manufacturing & Assembly	Air Emissions
	Use & Service	Water Emissions
	End of Life	Solid Waste

Life cycle phases studied

### Focus of the Study

Material Toxicity:

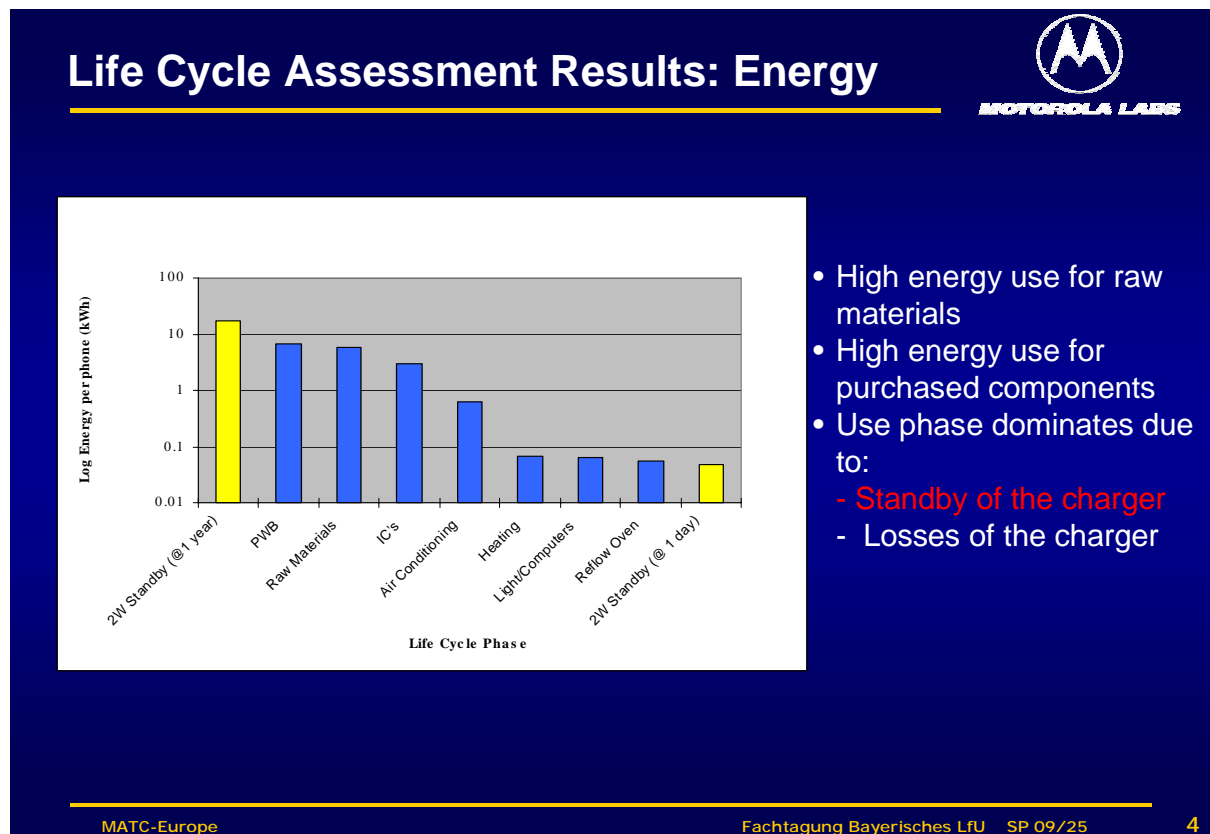
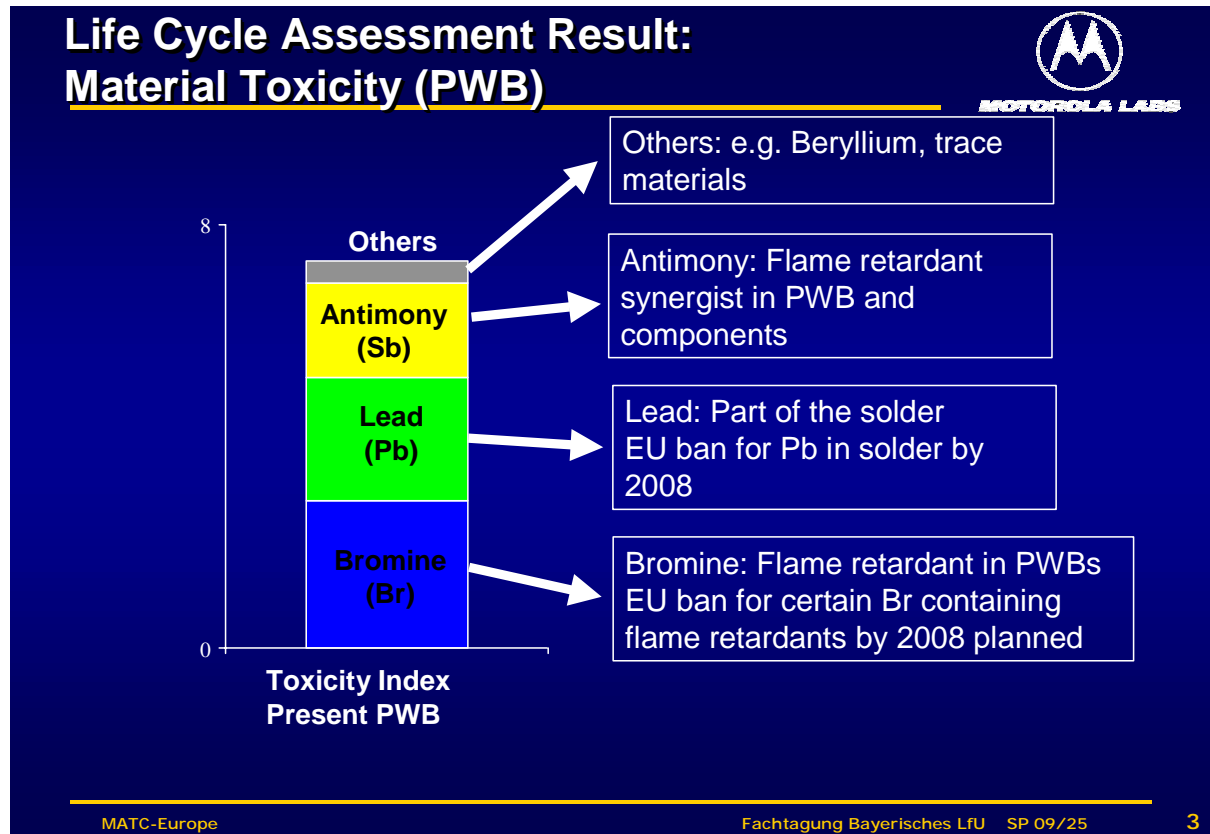
- Material inherent toxicity
- Determined by the Motorola Toxicity Index
- Takes regulation into account

Energy Use:

- Energy used for materials
- Energy used for manufacturing of components and product
- Energy used during use phase (charging, standby charger)

MATC-Europe
Fachtagung Bayerisches LfU SP 09/25
2





# Motorola and Swisscom Present First Environmentally Improved Mobile Phone



Press Release:

Motorola's Personal Communications Sector and Swisscom showcased **the world's first ecologically improved mobile phone prototype** at Orbit/Comdex show in Switzerland.

The prototype, a Motorola V.2288, has the following features:

- WAP-enabled
- integrated FM radio
- **lead-free solder**
- **bromine-free wiring board**
- **housing of recycled plastic**
- **energy-efficient charger**

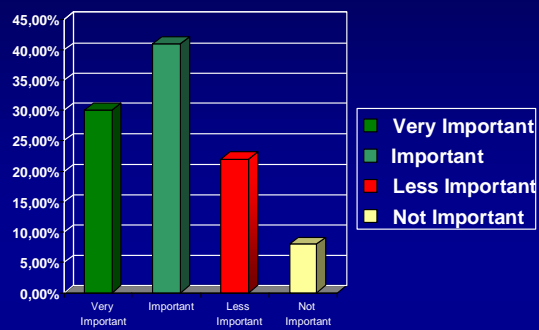


This innovative prototype was developed by Motorola **implementing findings from ecological research** conducted by Swisscom and **demonstrates Motorola's superior technological capabilities.**

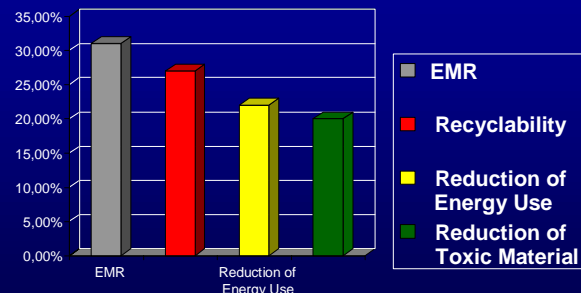
# Results of Consumer Inquiries



**Importance of Environmentally Preferred Products to consumers (600 people)**



**Major issues for Environmentally Preferred Products for consumers**

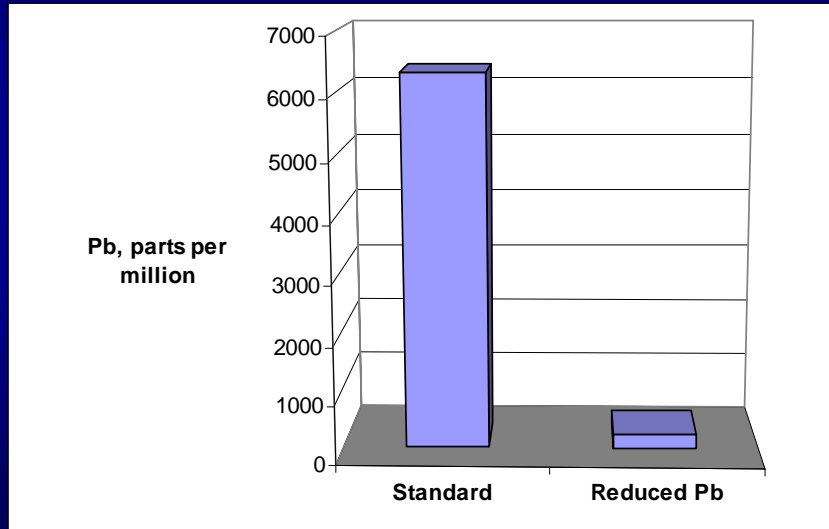


Courtesy Swisscom: 05/2000

## Environmentally Improved Mobile Phone Prototype: Reduction in Lead (Pb)



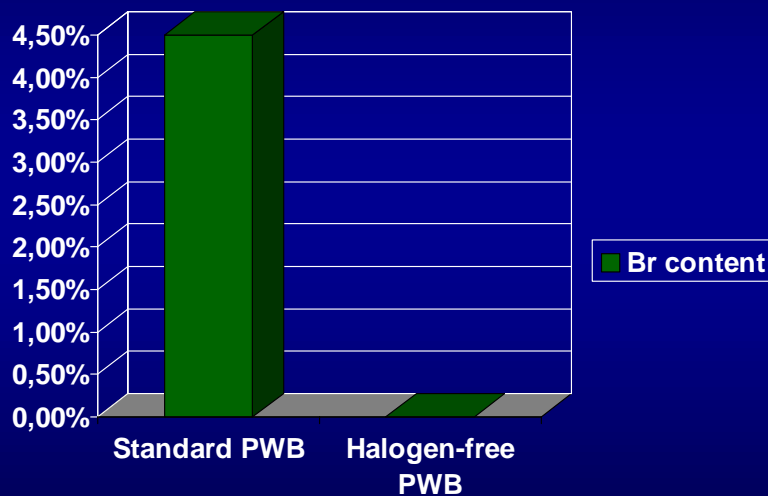
MOTOROLA LABS




## Environmentally Improved Mobile Phone Prototype: Br Reduction for Br-free PWB



MOTOROLA LABS



## Reduce Hazardous Materials



**MOTOROLA LABS**

- Hazardous Materials 12M02897W18 Specification
- Banned Materials
  - Asbestos
  - Cadmium and Compounds
  - Mercury and Compounds
  - Ozone Depleting Substances (Class 1 & 2)
  - Polybrominated Aromatic Compounds
  - PCB / PCT (polychlorinated biphenyls/terphenyls)
- Alert Materials
  - Antimony and Antimony Compounds
  - Arsenic and Arsenic Compounds
  - Beryllium and Beryllium Compounds
  - Chromium and Compounds
  - Lead Compounds and alloys
  - Nickel and Compounds
  - Organo-Tin Compounds
  - Selenium Compounds


In effect since 1996.

Regular Updated

---

MATC-Europe Fachtagung Bayerisches LfU SP 09/25 9

## Environmentally Improved Mobile Phone Prototype: Recycled Plastic Housing



**MOTOROLA LABS**

Post Production Waste


Post Industrial Waste

Post Consumer Waste

Waste stream convergence

Processing plastic waste into specified regrind

Processing of specified regrind into quality assured base recyclate



**Recycled Content Housing**

- PC+ABS recyclate blend
- comparable to lower grade virgin resin properties
- slightly lower toughness for comparable heat resistance

Production of **quality assured recyclate** (pellets) consisting of base recyclate and virgin material = **"Recycled" grades**

---

MATC-Europe Fachtagung Bayerisches LfU SP 09/25 10


## Environmentally Improved Mobile Phone Charger: Reducing Stand-by Energy



**Motorola signing Voluntary EU Commitment targeting:**

<u>Rated Output</u>	<u>Phase 1 1.1.2002</u>	<u>Phase 2 1.1.2005</u>
0.3 to 15 W	0.75 W	0.3 W
15 W to 50 W	0.75 W	0.5 W


**New Motorola models will reduce no-load energy loss - one example:**  
 0.44W @ 110VAC input  
 0.66W @ 220VAC input




---

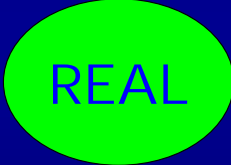
MATC-Europe Fachtagung Bayerisches LfU SP 09/25 **11**

## Rapid Environmental Assessment Lab



Customer related goals:

- Material assay
- Environmental Risk Assessment
- De-manufacturing properties
- Recyclability
- End of life issues
  - LCA and Eco labeling
  - Product Benchmarking



How to achieve the goals:

- Rapid material assay and Risk Assessment methods
- Disassembly studies
- Energy measurement
- University projects
- Cooperation with best in class:  
 AOC, material assay  
 RCM, ref. material assay  
 LKT, IKP, Polymer recycling  
 Oekometric, Environmental Risk Assessment

---

MATC-Europe Fachtagung Bayerisches LfU SP 09/25 **12**

## Referenten

Bayer. Landesamt für Umweltschutz  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg

Dr. Manfred Harant

Tel.: (0821) 90 71 - 53 54  
Fax: (0821) 90 71 - 55 53  
[manfred.harant@lfu.bayern.de](mailto:manfred.harant@lfu.bayern.de)

Osram GmbH  
Hellabrunner Str. 1  
81543 München

Monika Greczmiel

Tel.: (089) 6213 - 33 77  
Fax: (089) 6213 - 4 63  
[m.greczmiel@osram.de](mailto:m.greczmiel@osram.de)

VARTA Gerätebatterie GmbH  
Heidenkampsweg 44  
20097 Hamburg  
Eckhard Fahlbusch

Tel.: (07961) 83 - 747  
Fax: (07961) 83 - 744  
[eckhard.fahlbusch@varta.com](mailto:eckhard.fahlbusch@varta.com)

Institut für Anorganische Chemie I  
der Universität Erlangen-Nürnberg  
Egerlandstraße 1  
91058 Erlangen

Dr. Marion Wolf

Tel.: (09131) 85 27 - 689  
Fax: (09131) 85 27 - 687  
[wolf@anorganik.uni-erlangen.de](mailto:wolf@anorganik.uni-erlangen.de)

recycle it ® GmbH  
Steinrinnenweg 1  
87745 Eppishausen

Maximilian Scheppach

Tel.: (08266) 10 46  
Fax: (08266) 10 49  
[info@recycle-it.de](mailto:info@recycle-it.de)

Merck KGaA  
Frankfurter Str. 250  
64293 Darmstadt

Dr. Werner Becker

Tel.: (06151) 72 - 29 61  
Fax: (06151) 72 - 31 32  
[werner.becker@merck.de](mailto:werner.becker@merck.de)

Schott Glas  
Hattenbergstr. 10, Postfach 2480  
55014 Mainz

Thomas Oberle

Tel.: (06131) 66 - 38 34  
Fax: (06131) 66 - 19 65  
[thomas.oberle@schott.com](mailto:thomas.oberle@schott.com)

Electronicon Kondensatoren GmbH  
Kepplerstr. 2  
07549 Gera

Robert Huber

Tel.: (08781) 20 36 07  
Fax: (08781) 20 36 06  
[rh.huber@t-online.de](mailto:rh.huber@t-online.de)

MATC-Europe Motorola GmbH  
Hagenauer Str. 44  
65203 Wiesbaden/Germany

Dr. Siegfried Pongratz

Tel.: (0611) 36 11 - 496  
Fax: (0611) 36 11 - 436  
[Siegfried.Pongratz@motorola.com](mailto:Siegfried.Pongratz@motorola.com)