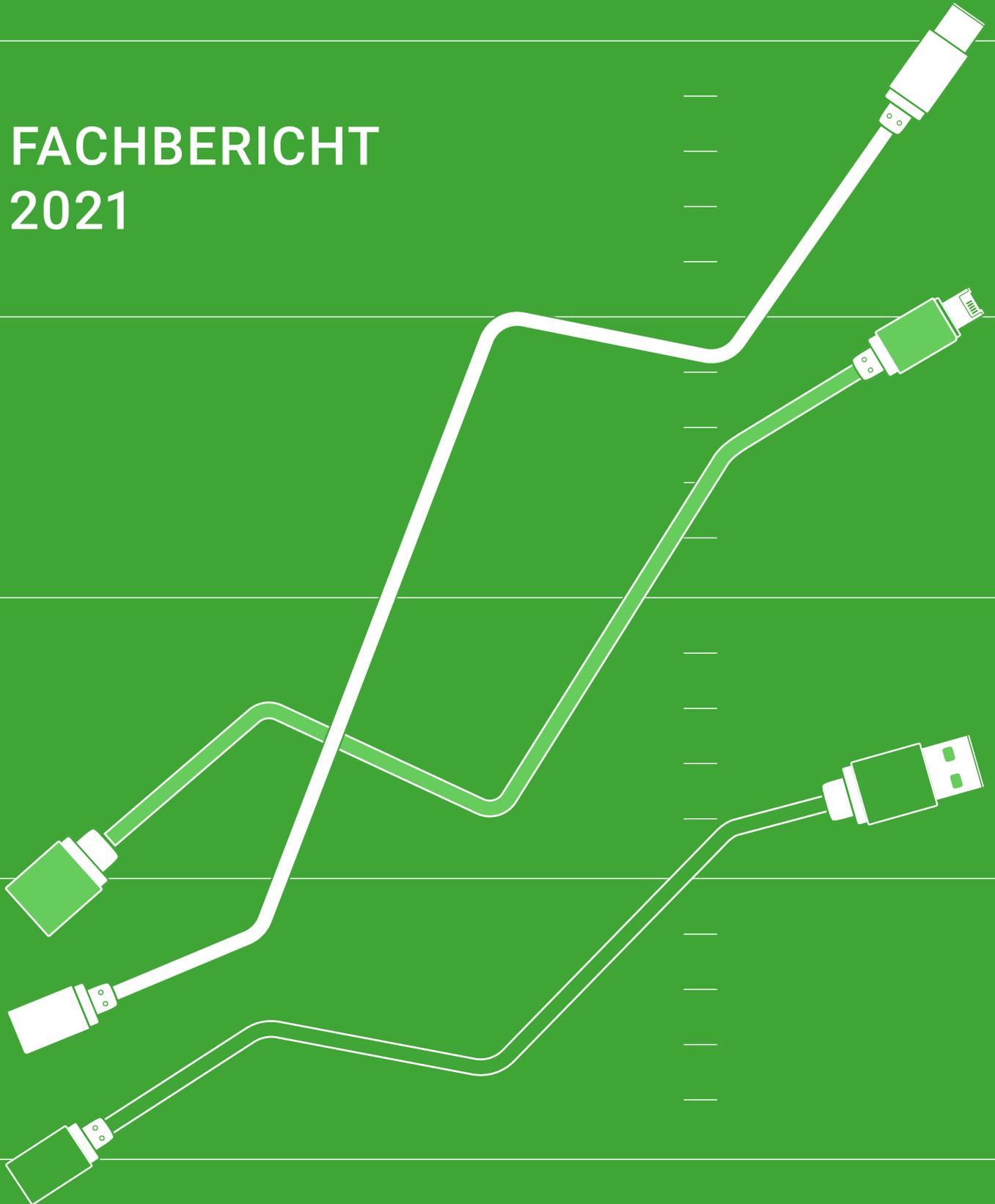


# FACHBERICHT 2021



# Inhalt

1	<a href="#">Porträt Recyclingsysteme</a>	4
2	<a href="#">Technische Kommission Swico/SENS</a>	8
3	<a href="#">Mengen</a>	10
4	<a href="#">Kühlgeräte</a>	14
5	<a href="#">Recycling von Leuchtstoffröhren</a>	18
6	<a href="#">Neue Methode für Batch</a>	19
7	<a href="#">Elektronik in Fahrzeugen</a>	22
8	<a href="#">Innovationsfonds Swico</a>	26
9	<a href="#">Flachbildschirme</a>	30
10	<a href="#">Brandrisiko LiBat</a>	34
11	<a href="#">Schadstoffe Kondensatoren</a>	38
12	<a href="#">PCB in WEEE</a>	42
13	<a href="#">Internationale Entwicklungen</a>	44
14	<a href="#">Verabschiedung Geri Hug</a>	46

[Autorinnen und Autoren](#)

[Links](#)

[Kontakte und Impressum](#)

## Stresstest bestanden

Wie jedes Jahr präsentieren wir, die Recyclingsysteme Swico, SENS und SLRS, gemeinsam die technischen und wissenschaftlichen Erkenntnisse des vergangenen Jahres. Und erneut können wir mit Befriedigung festhalten, dass das Recycling von Elektro- und Elektronikgeräten eine ökologische Errungenschaft ist und sich auf hohem Niveau Jahr für Jahr steigert.

Nur war das verstrichene Jahr nicht wie jedes andere zuvor. Es war geprägt von Lockdowns, Unwägbarkeiten, abwechslungsweisem Stillstand und überschüssendem Nachholbedarf. Für Konsumentinnen und Konsumenten, aber auch für Geräteproduzenten, Handelsunternehmen, Recyclingbetriebe und Sammelstellen war das Pandemiejahr äusserst anspruchsvoll und labil. Gerade in solchen Krisenzeiten zeigt sich die Resilienz von Systemen – und wir können mit Stolz feststellen: Wir haben den Stresstest bestanden.

Swico, SENS und SLRS zeichnen sich durch ihre eng verflochtenen Ökosysteme von Hunderten von Vertrags- und Leistungspartnern, Politik und

Verwaltung auf allen Stufen und nicht zuletzt auch Konsument\*innen aus. Daraus erwachsen ist ein feines Gleichgewicht, das der Nachhaltigkeit und Konsumentenfreundlichkeit des Recyclings gewidmet ist. Die Robustheit dieser Systeme zeigt sich nicht zuletzt in ihrem finanziellen Stehvermögen. Jede einzelne Rechnung wurde überpünktlich bezahlt, Indexanpassungen wurden zügig umgesetzt, Innovationen unkompliziert finanziert und periodenweise wurden sogar coronabedingte Spezialentschädigungen gesprochen. Dennoch schlossen alle Systeme das Pandemiejahr mit ausgeglichenen Ergebnissen und ohne Rückgriff auf ihre Reserven ab.

Auch der Zukunft blicken die drei Systeme mit Zuversicht entgegen: Wir sind nicht nur fachlich und finanziell solide aufgestellt, sondern verfügen, wie der vorliegende Fachbericht aufzeigt, über die Innovationskraft, um die künftigen ökologischen Herausforderungen der Elektro- und Elektronikindustrie zu bewältigen. Wir freuen uns, unseren Beitrag zur Nachhaltigkeit unermüdlich weiterzuführen und den weltweiten Spitzenplatz der Schweiz im Recycling zu erhalten.



Judith Bellaiche  
Swico



Heidi Luck  
SENS



Silvia Schaller  
SLRS

# Swico, SENS und SLRS: kompetent und nachhaltig

Seit über 20 Jahren stellen die 3 Rücknahmesysteme Swico, SENS eRecycling und SLRS die ressourceneffiziente Rücknahme und Wiederverwertung sowie die fachgerechte Entsorgung von elektrischen und elektronischen Geräten sicher.

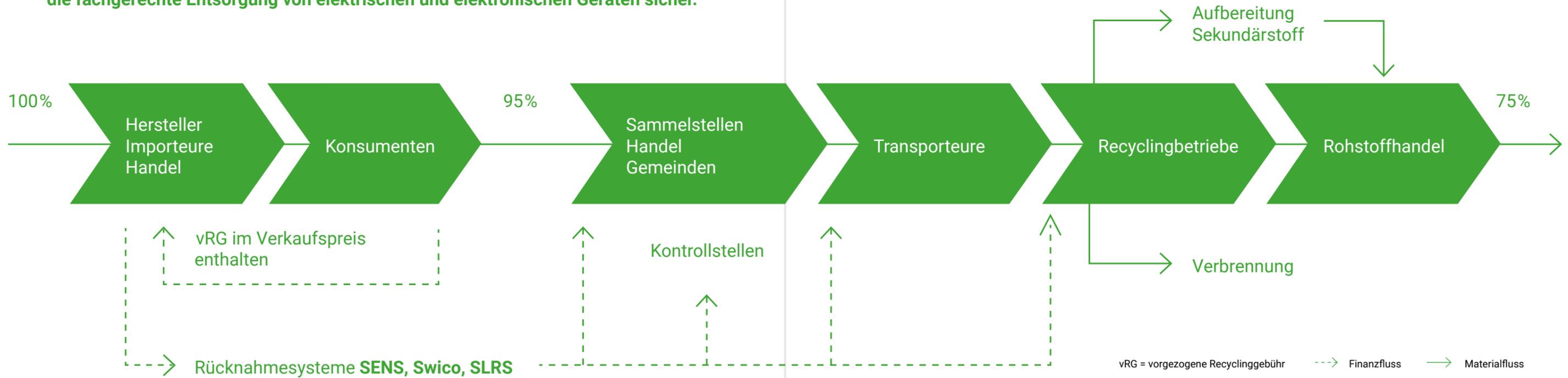


Abbildung 1: Die Rücknahmesysteme im Überblick

Die Aufteilung auf 3 Systeme hat historische Gründe, da in den Anfangsjahren des institutionalisierten Recyclings branchenspezifische Systeme aufgebaut wurden. Diese dienten dem Zweck, die Nähe zur jeweiligen Branche zu gewährleisten, um damit auf deren spezifische Bedürfnisse eingehen zu können. Dadurch konnten auch anfängliche Vorbehalte gegen die bis heute freiwillige Teilnahme an einem Rücknahmesystem abgebaut werden. Je nachdem, um welche Art von elektrischem oder elektronischem Gerät es sich handelt, ist heute entweder Swico, SENS oder die Stiftung Licht Recycling Schweiz (SLRS) für die Rücknahme zuständig. Im Jahr

2020 wurden von den 3 Systemen rund 129 800 Tonnen ausgediente elektrische und elektronische Geräte entsorgt. Damit haben Swico, SENS und SLRS auch bedeutend dazu beigetragen, dass wertvolle Ressourcen wieder in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden konnten. Mit der internationalen Vernetzung der 3 Organisationen auf europäischer Ebene – beispielsweise als Mitglieder des WEEE-Forums (Forum for Waste Electrical and Electronic Equipment) – helfen sie mit, auch grenzüberschreitend Massstäbe beim Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten zu setzen.

Die Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte (VREG) verpflichtet Händler, Hersteller und Importeure, Geräte, die sie im Sortiment führen, kostenfrei zurückzunehmen. Um ein nachhaltiges und umweltbewusstes Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten wettbewerbsgerecht finanzieren zu können, wird bereits beim Kauf solcher Geräte eine vorgezogene Recyclinggebühr (vRG) erhoben. Die vRG ist ein effizientes Finanzierungsinstrument, welches gewährleistet, dass sich Swico, SENS und SLRS der fachgerechten Bearbeitung ihres jeweiligen Gerätebereichs annehmen sowie sich den Herausforderungen der Zukunft stellen können.

### Swico

Swico Recycling ist ein Spezialfonds innerhalb des Wirtschaftsverbands Swico, der sich ausschliesslich mit der kostendeckenden Verwertung von Altgeräten befasst. Die Tätigkeit von Swico hat zum Ziel, Rohstoffe zurückzugewinnen und Schadstoffe umweltgerecht zu entsorgen. Dabei liegt der Fokus von Swico auf Geräten aus den Bereichen Informatik, Unterhaltungselektronik, Büro, Telekommunikation, grafische Industrie sowie Mess- und Medizinaltechnik, beispielsweise Kopierer, Drucker, Fernsehapparate, MP3-Player, Handys, Fotokameras usw. Eine enge Zusammenarbeit mit der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa), einer Forschungs- und Dienstleistungsinstitution für Materialwissenschaften und Technologieentwicklung innerhalb des ETH-Bereichs, trägt entscheidend dazu bei, dass Swico hohe und schweizweit einheitliche Qualitätsstandards bei allen Entsorgungsdienstleistungen durchsetzen kann.

### SENS

SENS eRecycling ist eine unabhängige, neutrale und nicht gewinnorientierte Stiftung und tritt nach aussen mit der Marke SENS eRecycling auf. Ihr Fokus liegt auf der Rücknahme, der Wiederverwertung und der Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten der Bereiche Haushaltsklein- und Haushaltsgrossgeräte, Bau-, Garten- und Hobbygeräte sowie Spielwaren. Dazu arbeitet die SENS eng mit spezialisierten Netzwerken zusammen, in denen die am Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten beteiligten Parteien vertreten sind. In Kooperation mit ihren Partnern setzt sich die SENS dafür ein, dass das Recycling dieser Geräte im Einklang mit ökonomischen und ökologischen Grundsätzen stattfindet.

### SLRS

Die grundsätzliche Systemverantwortung für Leuchten und Leuchtmittel trägt die SLRS. Die SLRS kümmert sich um die Organisation der flächendeckenden Entsorgung von Leuchtmitteln und Leuchten in der ganzen Schweiz. Für die Finanzierung dieser Aktivitäten verwaltet die SLRS je einen Fonds für Leuchtmittel und Leuchten, der sich aus der jeweiligen vRG speist. Ferner gehören die Schulung und Sensibilisierung der Marktteilnehmenden in Bezug auf das Recycling von Leuchtmitteln und Leuchten sowie die Information aller Anspruchsgruppen zum Tätigkeitsbereich der SLRS. Die SLRS unterhält in allen Bereichen eine enge Partnerschaft mit der Stiftung SENS. So setzt die Stiftung SENS als Vertragspartnerin der SLRS mit ihrem Rücknahme- und Recyclingsystem nicht nur Sammlung und Transport, sondern auch Recycling, Kontrolle und Reporting im Bereich Leuchten und Leuchtmittel operativ um.

# SWICO

# SENS eRecycling

# SLRS



# Auditpraxis – quo vadis?

Heinz Böni und Roman Eppenberger

**Viele Anforderungen an die Audits wurden in den letzten Jahren erweitert, was die Auditprozesse immer länger und schwerfälliger machte. Die Dokumentenprüfung im Büro hat auf Kosten des Betriebsrundganges an Umfang zugelegt. Die Auditoren waren sich einig, dass sie diesbezüglich über die Bücher müssen. Die Technische Kommission von Swico/SENS ist deshalb Mitte 2020 in Klausur gegangen und macht erste Vorschläge.**

Das Auditsystem, nach welchem die Recyclingpartner von Swico und SENS regelmässig auf der Basis technischer und umweltrechtlicher Vorgaben überprüft werden, hat sich über die letzten fast 30 Jahre ständig weiterentwickelt. Nachdem die Anzahl zu auditierender Recyclingbetriebe – aktuell 18 direkte Recyclingpartner und daran angeschlossen 121 Zerlegebetriebe – seit Jahren praktisch gleich ist, sind die technischen Anforderungen laufend erweitert worden. Insbesondere mit der Einführung des SN-EN-50625-Standards, der von Swico ab 2017 und von SENS ab 2019 als technische Grundlage der Auditierung festgelegt wurde, nahm der Auditumfang zu. Das führte teilweise zu sehr langen, umfangreichen Dokumentprüfungen und Nachweispflichten, zusammen mit der Betriebsleitung, worunter der Betriebsrundgang und damit die Überprüfung einzelner Normanforderungen vor Ort wesentlich litt. Folge davon war in nicht wenigen Fällen eine gewisse Frustration auf Seiten der Auditoren, aber auch auf Seiten der auditierten Betriebe.

Ziel der Auditierung ist es, einen Beitrag zur kontinuierlichen Verbesserung der Recyclingsysteme zu leisten. Dazu gehört die Unterstützung bei der Optimierung betrieblicher Abläufe und eine Beurteilung der Ressourceneffizienz bei der Verarbeitung der Elektroaltgeräte (EAG). Letztere ist ausgerichtet auf die Zielstoffe des Recyclings: die möglichst vollständige Abtrennung und umweltgerechte Entsorgung der in den Geräten enthaltenen Schadstoffe sowie eine weitest-

gehend verlustfreie Rückgewinnung wertvoller Sekundärrohstoffe. Mit einer Beurteilung der Prozesse durch die Auditoren leisten die Audits einen Beitrag zur Verbesserung des Standes der Technik im Recycling von EAG.

### Was ändert?

Die Auditpraxis muss, um diesen Anforderungen zu genügen, effektiv und effizient sein. Effektiv heisst, das Richtige zu tun («Do the right thing») und effizient bedeutet, das Richtige gut zu machen («Do the things right»). In einem Auditprozess ist das immer eine Gratwanderung: Sollen vor allem Dokumente geprüft werden, um mögliche Fehler oder Schwachstellen oder eine ungenügende Rechtskonformität festzustellen, oder soll das Hauptaugenmerk auf die betriebliche Praxis gelegt werden, um 1:1 festzustellen, was zwar vielleicht gut dokumentiert, aber in der Praxis ungenügend umgesetzt wird? Eines ist klar: Ein Audit gibt umfangmässig einen nur sehr beschränkten Blick in die Realität und der Einblick ist zeitlich auf weniger als 0,5 % der Jahresarbeitszeit beschränkt.

Vor dem Hintergrund der weiterhin unklaren Situation bezüglich der anstehenden VREG-Revision hat sich die Technische Kommission von Swico und SENS darauf beschränkt, vorerst nur kleine Anpassungen am Auditablauf vorzunehmen. Wichtigste Änderungen sind, dass die Dokumentenprüfung möglichst weitgehend vor dem eigentlichen Besuchstermin im Betrieb

stattfinden soll und dass einige der Punkte nicht mehr jährlich geprüft werden sollen. Damit wird Freiraum für einen erweiterten Betriebsrundgang geschaffen. Weitergehende Änderungen werden geprüft, wenn sich die Situation bezüglich VREG geklärt hat und sich an der Auditpraxis nicht wesentliche Änderungen ergeben, indem die Auditierung z. B. neu auf nationaler Ebene festgelegt würde. Mit der jetzigen Änderung erfolgt also eine kleine Revision. Kein grosser Sprung zwar, aber zumindest einer in die richtige Richtung.

### Auf Seite der Auditoren gab es einige Veränderungen:

Michael Gasser hat das Swico Auditteam per Ende 2019 verlassen. Er wird ersetzt durch Charles Marmy, der 2020 eine Einführung in die Audittätigkeit bekommen hat und ab 2021 als Auditor tätig sein wird. Beim SENS Auditteam ist neu Stefanie Conrad von der Carbotech AG dazugestossen: Sie wird in einer Anfangsphase vor allem Zerlegebetriebe auditieren. Zudem hat Erhard Hug seine Audittätigkeit per Ende 2020 definitiv eingestellt. Ihm ist ein spezieller Artikel gewidmet (siehe Seite 46).



Kunststoffballen, die auf dem Gelände von Thévenaz Leduc S. A. bis zur Verarbeitung gelagert werden

# Hohe Sammelmengen und weitere Veränderung der Zusammensetzung

Michael Gasser

**Die verarbeitete Menge an Elektro- und Elektronikaltgeräten bleibt im langjährigen Durchschnitt. Die Zusammensetzung nach einzelnen Kategorien verändert sich weiter. Bei den Elektronikgeräten sind die Mengen weiter gefallen, was durch höhere Mengen Elektrogrossgeräte und Elektrokleingeräte kompensiert wurde.**

Im Jahr 2020 haben die Swico und SENS Recycler rund 129 800 Tonnen Elektro- und Elektronikgeräte (E + E Geräte) verarbeitet. Im Vergleich zum Vorjahr ist dies ein leichter Anstieg, die Menge bleibt aber im langjährigen Durchschnitt (Tabelle 1 und Abbildung 1). Die langjährigen Veränderungen in den verschiedenen Kategorien gehen jedoch weiter. Die Menge von Nicht-VREG-Geräten, welche nicht in den Listen der Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte (VREG) aufgeführt sind, sowie jene der Kühlgeräte und Leuchtmittel bleibt konstant. Die Menge der Elektronikgeräte nimmt entsprechend dem

langjährigen Trend, unter anderem auf Grund des Rückgangs von schweren Röhrenbildschirmen von Computermonitoren und Fernsehern, weiter ab (-1 %). Die Abnahme scheint sich jedoch mit dem fast vollständigen Verschwinden dieser Bildschirme zu verlangsamen. Bei den Elektrogrossgeräten ist nach einer Änderung der Erfassungsmethodik im Jahr 2017 nun im dritten Jahr in Reihe ein Anstieg (+4 %) zu beobachten. Auch bei den Elektrokleingeräten ist, wie im Vorjahr, ein weiterer Anstieg zu beobachten (+4 %). Die Menge verarbeiteter Photovoltaikausrüstung nimmt im Vergleich zum Vorjahr etwas ab und ihre Menge ist mit insgesamt 200 Tonnen weiterhin klein.

Jahr	Elektro-grossgeräte	Kühl-, Gefrier- und Klimageräte	Elektro-kleingeräte	Elektronik-geräte	Leuchtmittel	Photovoltaik	Nicht-VREG-Geräte	Total Tonnen/Jahr
2009	30 400	15 300	14 900	47 300	1 100		1 200	110 200
2010	30 700	15 900	15 400	50 700	1 130		3 500	117 400
2011	27 800	16 800	16 300	51 300	1 110		5 200	118 500
2012	30 300	17 500	18 800	55 500	960		6 000	129 100
2013	30 600	16 700	22 300	53 200	1 100		4 000	127 900
2014	29 400	17 200	23 900	52 000	1 100		3 000	126 600
2015	32 900	18 100	25 000	51 900	1 100	100	3 000	132 100
2016	32 500	19 200	27 900	49 000	1 100	100	1 900	131 800
2017	28 100	19 400	26 700	46 000	970	300	1 300	122 800
2018	34 200	19 900	27 600	41 900	1 100	300	1 000	125 900
2019	35 800	19 900	28 700	41 000	1 000	300	1 000	127 600
2020	37 100	20 100	29 800	40 600	1 000	200	1 000	129 800
<b>Veränderung gegenüber Vorjahr</b>	<b>4 %</b>	<b>1 %</b>	<b>4 %</b>	<b>-1 %</b>	<b>0 %</b>	<b>-33 %</b>	<b>0 %</b>	<b>2 %</b>

Tabelle 1: Total verarbeitete elektrische und elektronische Geräte in der Schweiz in Tonnen aus der Stoffflusserhebung

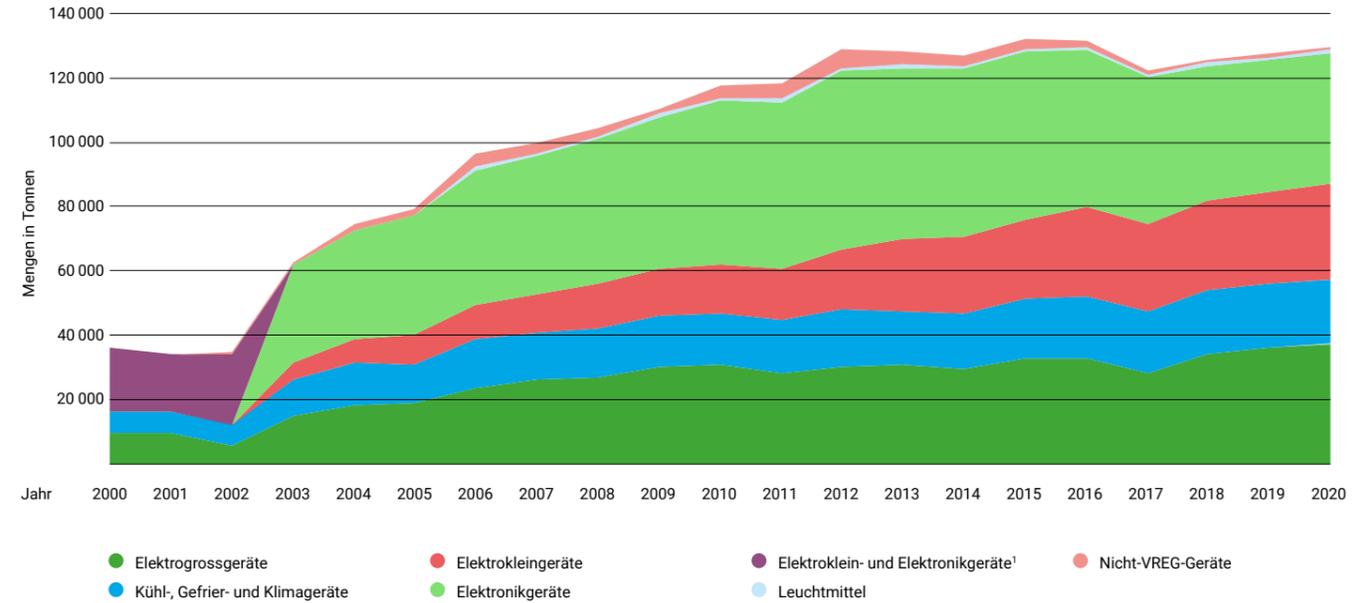


Abbildung 1: Total verarbeitete elektrische und elektronische Geräte in der Schweiz in Tonnen aus der Stoffflusserhebung (Quelle: Toocy)

## Wertstoffverwertung

Aus den verarbeiteten Elektroaltgeräten werden durch manuelle und mechanische Verarbeitung Wert- und Schadstofffraktionen gewonnen (Abbildung 2). Die grösste Wertstofffraktion bilden die Metalle mit 62 %. Kunststoff-Metall-Gemische (17 %) und Kunststoffe (9 %) sind die 2 nächstgrössten Fraktionen. Der Anteil des Glases aus der Bildröhrenverarbeitung hat im Vergleich zum Vorjahr um weitere 17 % abgenommen und beträgt noch 0,8 %. Die besonders wertvollen Leiterplatten machen nur 1,4 % der Gesamtmenge aus. Dennoch lohnt es sich oft, diese Materialien vorgängig zur mechanischen Verarbeitung manuell zu entfernen und sie möglichst vollständig zurückzugewinnen. Die erhaltenen Wertstofffraktionen werden in nachgelagerten Betrieben weiterverarbeitet und stofflich oder thermisch verwertet.

Die Wertstofffraktionen von SENS und Swico Recyclern werden einer weiteren Verarbeitung zugeführt. SENS und Swico Recycler haben für die weitere Verarbeitung Stoffflussnachweise zu erbringen, welche die weitere Verarbeitung dieser Fraktionen beschreiben. Eisenmetalle werden grundsätzlich in schweizerischen Schmelzwerken und Nichteisenmetalle in europäischen Schmelzwerken endgültig verarbeitet. Kunststoff-Metall-Gemische werden weiter aufgetrennt: Je nach Trennungverfahren und Zusammensetzung werden hierbei die Metalle und teilweise auch die Kunststoffe zurückgewonnen. Gewisse gemischte Fraktionen gelangen weiterhin direkt in die energetische Verwertung, wobei dieser Anteil in den letzten Jahren dank neuen Verarbeitungsmöglichkeiten, wie beispielsweise für Tonerkartuschen, sowie Sortieranlagen für Kunststoff-Metall-Gemische stark abgenommen hat. Auch Glasfraktionen (Bildschirmglas, Flachglas und Recyclingglas aus Leuchtmitteln) sowie Kabel, Leiterplatten und Batterien werden speziellen Verwertungsverfahren, oft im Ausland, zugeführt.

**Schadstoffentfrachtung**

Der Anteil an erzeugten Schadstofffraktionen macht rund 1 % der Gesamtmenge aus (Abbildung 2). Die Schadstoffentfrachtung gehört, neben der Rückführung von Wertstoffen in den Materialkreislauf, zur Hauptaufgabe der Schweizer Recycler. Die Schadstoffe werden zu einem Grossteil in Zerlegebetrieben händisch entfernt. So werden zum Beispiel Kondensatoren aus Haushaltsgrossgeräten herausgenommen, Batterien aus Elektronikgeräten entfernt oder die quecksilberhaltigen Hintergrundbeleuchtungen von Flachbildschirmen, Scannern und Kopiergeräten ausgebaut. Die Schadstoffentfrachtung und der Umgang mit den Schadstoffen muss dabei den veränderten Technologien und neusten Erkenntnissen angepasst werden. Die Betriebe müssen aber auch weiterhin in der Lage sein, die Schadstoffe aus älteren Gerätegenerationen sachgerecht zu entnehmen und zu entsorgen. Dies stellt hohe Anforderungen an die Arbeit der Recyclingbetriebe und setzt hochstehende Qualitätssicherungssysteme voraus.

**Rücknahme und Zusammensetzung von Elektronikgeräten**

Swico Recycling untersucht in regelmässigen Abständen die Rücknahmemengen und die Zusammensetzung von Elektronikgeräten. Dazu führt Swico Recycling Warenkorbanalysen und Verarbeitungsversuche von Produktgruppen durch (Tabelle 2). Im Jahr 2020 hat Swico Recycling 46 800 Tonnen<sup>1</sup> Elektronikgeräte zurückgenommen, das sind gleich viel wie im Vorjahr. Die zurückgenommenen Massen und Stückzahlen von CRT-Monitoren und -Fernsehern sinken weiter und setzen so den langfristigen Trend fort. Bei den Flachbildschirmmonitoren und -fernsehern steigt die zurückgenommene Anzahl Geräte weiter an, ebenso wie das Durchschnittsgewicht. Auch bei den Mobiltelefonen steigt die Stückzahl weiter, die Gesamtmenge nimmt aber aufgrund des weiter sinkenden Durchschnittsgewichts nur wenig zu. Ein ähnlicher, aber weniger ausgeprägter Trend, ist auch in der Kategorie Unterhaltungselektronik gemischt zu beobachten, wobei jedoch das Durchschnittsgewicht je nach Jahr stark variieren kann.

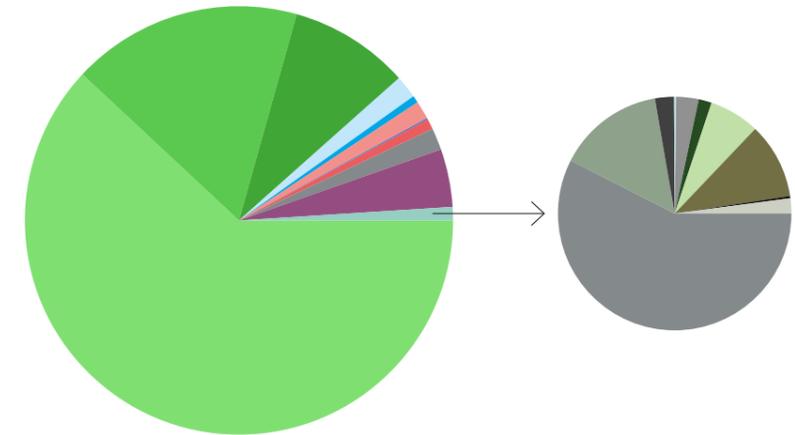
Die Zusammensetzung der einzelnen Gerätekategorien wird durch Verarbeitungsversuche ermittelt, die bei den Swico Recyclern durchgeführt und von der Empa begleitet werden. Dabei wird eine zuvor festgelegte Menge an Geräten gesammelt und die entstehenden Fraktionen werden dokumentiert.

Die detaillierten Rücknahmemengen an Elektronikgeräten und ihre Zusammensetzung sind in Tabelle 2 aufgeführt.

<sup>1</sup> Diese Zahl ist grösser als die 40 600 Tonnen Elektronikgeräte in Tabelle 1, da darin auch Geräte enthalten sind, welche A-Unterzeichner über Direktverträge entsorgt haben.

**Wertstoffe**

- 62 % Metalle
- 17 % Kunststoff-Metall-Gemisch
- 9 % Kunststoffe
- 2 % Kabel
- 1 % Tonerkartuschen
- 1,4 % Leiterplatten
- 0 % LCD
- 0,8 % Bildröhren
- 2 % Glas
- 4 % Übrige Stoffe
- 1 % Schadstoffe



**Schadstoffe**

- 0,580 % Batterien
- 0,149 % Kondensatoren
- 0,026 % Quecksilberhaltige Komponenten
- 0,003 % Glasbruch
- 0,031 % Leuchtstoff
- 0,000 % Getterpillen
- 0,000 % Fotoleitertrommel mit Se-Schicht
- 0,018 % Asbesthaltige Geräteteile
- 0,070 % FCKW
- 0,106 % Öl
- 0,003 % Ammoniak (NH3)
- Andere schadstoffhaltige Rückstände

Abbildung 2: Zusammensetzung der erzeugten Fraktionen in % im Jahr 2020. Das Kuchendiagramm rechts entspricht der Aufteilung der Schadstoffe, die rund 1% der gesamten Zusammensetzung ausmachen

Gerätetyp	Anzahl <sup>4</sup>		Metalle		Kunststoffe		Metall-Kunststoff-Gemische		Kabel		Glas und/oder LCD-Module		Leiterplatten		Schadstoffe		Weiteres <sup>5</sup>		Total		Zu-/Abnahme gegenüber 2019
	In Tausend	In kg	In Tonnen	In Tonnen	In Tonnen	In Tonnen	In Tonnen	In Tonnen	In Tonnen	In Tonnen	In Tonnen	In Tonnen	In Tonnen	In Tonnen	In Tonnen	In Tonnen	In Tonnen	In Tonnen			
PC-Monitor CRT	12	17,7	31	42	20	5	93	19	0	1	212	-65 % <sup>7</sup>									
PC-Monitor FPD <sup>1</sup>	580	7,4	1682	1357	82	53	669	303	39	106	4292	6 %									
PC/Server	360	11,9	3524	248	11	131	357	13	4284	-9 %											
Laptop	480	2,5	353	349	123	6	106	174	83	5	1200	-3 %									
Drucker	460	11,5	1874	2846	326	29	36	92	2	86	5290	2 %									
Grosskopierer/Grossgeräte	48	128,8	3365	231	2210	112	4	50	53	158	6182	-2 %									
IT gemischt <sup>2</sup>	820	3,1	1383	91	915	46	1	19	22	64	2542	14 %									
CRT-Fernseher	51	27,7	139	289	47	5	913	17	1	1	1413	-50 % <sup>7</sup>									
LCD-Fernseher	331	25,2	4031	1500	879	115	732	701	93	291	8341	38 %									
UE gemischt <sup>3</sup>	3525	3,0	5632	380	3791	191	5	82	91	265	10 434	-5 %									
Telefon mobil	904		23	48	-	-	7	30	27	-	136	10 %									
Telefon Rest	1303		1205	79	797	40	1	17	19	55	2215	-9 %									
Foto/Video	219		90	6	58	3	0	1	1	4	164	-2 %									
Dental											61	-3 %									
<b>Total in Tonnen</b>			<b>23 333</b>	<b>7468</b>	<b>9259</b>	<b>734</b>	<b>2568</b>	<b>1864</b>	<b>445</b>	<b>1037</b>	<b>46 766<sup>6</sup></b>	<b>2,4 %</b>									
<b>Total in Prozent</b>			<b>50 %</b>	<b>16 %</b>	<b>20 %</b>	<b>2 %</b>	<b>5 %</b>	<b>4 %</b>	<b>1 %</b>	<b>2 %</b>	<b>100 %</b>										

<sup>1</sup> FPD: Flachbildschirme, verschiedene Technologien (LCD, Plasma, OLED ...)  
<sup>2</sup> IT-Geräte, gemischt, ohne Monitore, PC/Server, Laptops, Drucker, Grosskopierer/Grossgeräte  
<sup>3</sup> Unterhaltungselektronik, gemischt, ohne TV-Geräte  
<sup>4</sup> Hochrechnung  
<sup>5</sup> Verpackungs- und andere Abfälle, Tonerkartuschen  
<sup>6</sup> Diese Zahl ist grösser als die 41 000 Tonnen Elektronikgeräte in Tabelle 1, da darin auch Geräte enthalten sind, welche die A-Unterzeichner über Direktverträge entsorgt haben.  
<sup>7</sup> Einmalige Korrektur CRT-Monitore und -Fernseher

Tabelle 2: Gesammelte Swico Mengen und Zusammensetzung nach Gerätetyp (2020), Quelle: Michael Gasser, Empa, auf der Basis von Verarbeitungs- und Warenkorbanalysen Swico (2020)

# Wichtiger Beitrag zum Klimaschutz dank hochentwickelter Verfahren zur Kälte- und Treibmittelrückgewinnung

Geri Hug und Niklaus Renner

Das Recycling ausgedienter Wärmeüberträgergeräte, sprich Kompressorgeräte wie Kühlschränke und Tiefkühltruhen aus Haushalt und Gewerbe, ist für den Schutz von Klima und Ozonschicht von grosser Bedeutung. So wird mit jedem zurückgewonnenen und kontrolliert unschädlich gemachten Kilogramm Kälte- und Treibmittel der Atmosphäre eine 1- bis 2-stellige CO<sub>2</sub>-Tonnage erspart! Skeptiker der aufwändigen Verfahren könnten zwar anmerken, dass die Klimarelevanz des Kühlgeräterecyclings von Jahr zu Jahr ein wenig abnehme, da die Anteile der mit klimafreundlichen Agenzien produzierten Geräte beständig steigen würden. Bis jedoch das letzte Gerät mit R-11, R-12 oder R-134a (subsummiert unter dem in der Norm SN EN 50625-2-3 definierten Begriff «VFC»<sup>1</sup>) in die Rückproduktion gelangt, reicht ein Zeithorizont bis 2030 kaum und ist die State-of-the-Art-Verarbeitung zusammen mit neueren Geräten ohne klimaschädigende Substanzen der einzig ökologisch vertretbare Weg. Den Entsorgungsweg über Kühlgeräterecyclinganlagen empfiehlt SENS auch für die Isolationsschäume aus Boilern.

## Anteil klimafreundlicher VHC<sup>2</sup>-Geräte praktisch unverändert

Der seit langem andauernde Trend zu immer höheren Anteilen an klimafreundlichen, VHC-betriebenen Kompressoren bleibt stabil: So waren 2020, praktisch unverändert im Vergleich zum Vorjahr, 66 % der auf Stufe 1 verarbeiteten Geräte solche vom Typ mit VHC-Kompressor (dunkelgrüne Linie in Abb. 1). Noch 32 % der Geräte besaßen einen mit VFC gefüllten Kompressor. Ammoniak-haltige Absorbersysteme machten, ebenfalls unverändert, 2 % aller behandelten Geräte aus.

Bei den auf Stufe 2 behandelten Isolationsschäumen zeigen die Daten weiterhin eine analoge Tendenz. Diese machte sich hier allerdings schon früher bemerkbar, da die Substitution des VFC

R-11 durchs VHC Cyclopentan auf direktem Weg vonstattenging (ohne Zwischenstation HFKW wie im Fall der Kältemittel). Im aktuellen Erhebungsjahr bestand bereits bei 75 % aller ins Recycling gelangenden Kühlgeräte die Isolation aus Cyclopentan-geschäumtem Polyurethan (PU), womit die Zunahme im Vergleich zum Vorjahr moderat ausfiel (+ 2 %).

Insgesamt nahm die Stückzahl der bei den Firmen Kühlteg AG, Immark Schattdorf AG (ehemalige Ruag Environment AG) und Oeko-Service Schweiz AG auf beiden Behandlungsstufen verarbeiteten Geräte um 5 % ab (von 390 000 Geräten resp. 19 900 Tonnen auf aktuell rund 370 000 Geräte oder 18 900 Tonnen). Vgl. Abb. 1.

<sup>1</sup> VFC: volatile fluorocarbons (z. B. R-11, R-12, R-134a, R-22 u. a.)  
<sup>2</sup> VHC: volatile hydrocarbons (z. B. R-600a oder Cyclopentan)

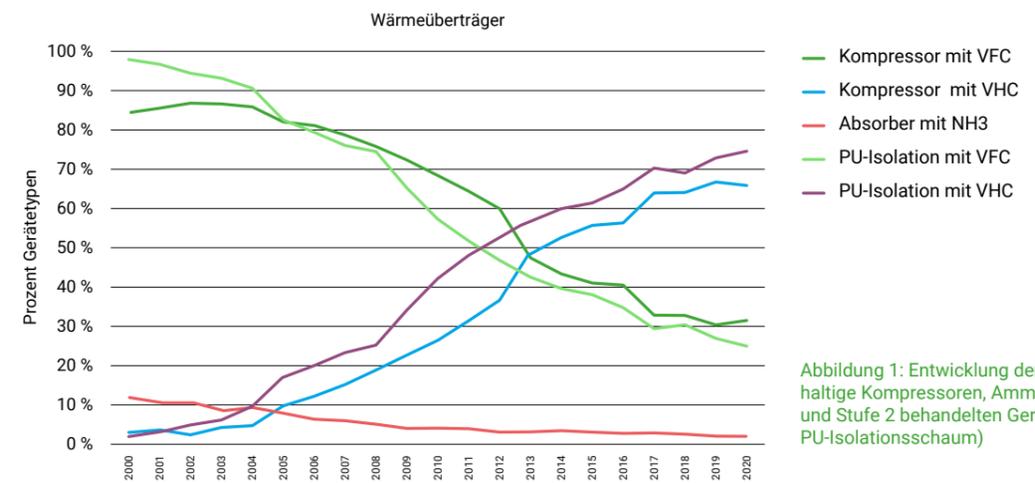


Abbildung 1: Entwicklung der auf Stufe 1 (VFC- resp. VHC-haltige Kompressoren, Ammoniak-haltige Absorbersysteme) und Stufe 2 behandelten Gerätetypen (VFC- resp. VHC-haltiger PU-Isolationsschaum)

## Rückgewinnungsmengen geringfügig höher als erwartet

Am langjährigen Trend hat sich in Bezug auf die Rückgewinnungsmengen nicht viel geändert: Die Massen an zurückgewonnenen Kälte- und Treibmittelgemischen sinken umso mehr, als sich das Verhältnis der verarbeiteten Geräte zugunsten der VHC-Typen verschiebt, da sich deren Kompressorfüllmengen wie auch die Konzentration im PU-Schaum weit unter den Werten von VFC-Geräten bewegen. Die Datenlage bezüglich der Annahmewerte für VFC- und VHC-Einfüllmengen bei den beide Behandlungsstufen durchlaufenden Haushalt- und Gewerbekühlgeräten ist breit erhoben und entsprechend verlässlich. Im Fall jener Geräte, die nur auf der 1. Stufe verarbeitet werden (z. B. Wäschetrockner, mobile Klimageräte, Entfeuchter), existieren solche Annahmen nur

in ungenauem Mass, weshalb sich die rückgewonnenen Mengen nur mit einer gewissen Unschärfe auf die 2 Gruppen verarbeiteter Geräte aufteilen lassen. Einerseits mit solchen auswertungsmethodischen Unsicherheiten und andererseits auch mit gewissen rapportierungstechnischen Herausforderungen beim Wareneingang im Zusammenhang stehend ist wahrscheinlich die im Vergleich zum Vorjahr leicht gestiegene Rückgewinnung an Kälte- und Treibmitteln zu interpretieren: 63 g pro Gerät resp. 37 g pro Kilogramm PU-Schaum (im Vorjahr waren es 61 g/Kompressor resp. 34 g/kg PU<sup>3</sup>). Mit der Anlagenleistung an und für sich hat das kaum etwas zu tun: Anlässlich von Performancetests, durchgeführt ausschliesslich mit Haushaltskühlgeräten, werden denn auch über die Jahre konstante Rückgewinnungsquoten festgestellt. Vgl. Abb. 2.

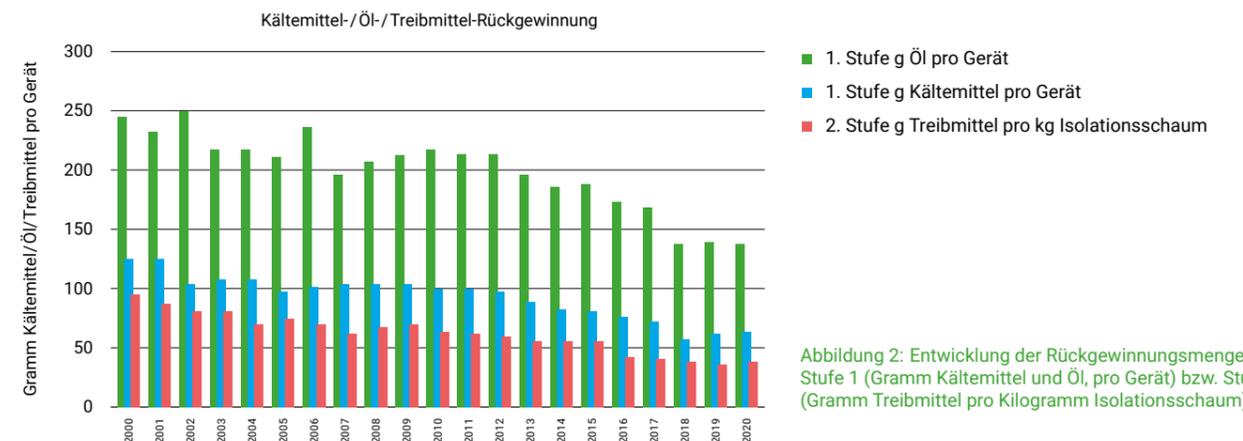


Abbildung 2: Entwicklung der Rückgewinnungsmengen auf Stufe 1 (Gramm Kältemittel und Öl, pro Gerät) bzw. Stufe 2 (Gramm Treibmittel pro Kilogramm Isolationsschaum)

<sup>3</sup> Dieser Wert wurde im letztjährigen Fachbericht fälschlicherweise mit 54 g/Kompressor angegeben.

**CO<sub>2</sub>-Einsparung im Ausmass von mehreren Tausend Gaslagertanks!**

Das anlagentechnisch anspruchsvolle Ziel der im CENELEC-Standard geforderten 90-prozentigen Rückgewinnung der Kälte- und Treibmittel ist in puncto Umweltschutz doppelt relevant: Einerseits gilt es, die in älteren Kompressoren und PU-Isolationsschäumen enthaltenen FCKW aus Gründen ihres ozonschichtabbauenden Potenzials (ODP, Ozone Depletion Potential) aus dem Altgerätestrom zu entfernen. Gleichzeitig verfügen diese Substanzen über ein Treibhauspotenzial (GWP, Global Warming Potential), welches jenes von CO<sub>2</sub> um das 1000- bis 10 000-fache übersteigt (vgl. Tabelle 1). Aus diesen Gründen ist deren Rückgewinnung und anschliessende kontrollierte Aufspaltung in weit weniger klimawirksames Kohlendioxid sowie in Wasser und Säuren resp. Salze ein bedeutender Beitrag zum Umweltschutz.

Im aktuellen Erhebungsjahr betrug die Masse der durch kontrollierte Rückgewinnung der klimawirksamen Gase vermiedenen Emissionen rund 280 000 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Diese riesige Menge Kohlendioxid lässt sich mit dem (bei 6 bar komprimierten) Inhalt von 5600 (!) typischen Kugelgasbehältern mit Durchmesser von 20 Metern veranschaulichen, wie wir sie von Erdgaslagern her kennen (Abb. 3).

**Blick über den Tellerrand: Isolations-schäume aus Boilern**

Nicht nur Kühlgeräte enthalten klimaschädigende Gase, sondern auch Boiler und Warmwasserspeicher in ihren Schaumisolationen. Obwohl es sich bei dieser Kategorie nicht um innerhalb des SENS-Systems zurückzunehmende Geräte handelt, ist sie mit Blick auf ihre Klima- und Entsorgungsrelevanz an dieser Stelle einen Exkurs wert.

Substanz	Ozonschichtabbauendes Potenzial (ODP) R11-Äquivalente	Treibhauspotenzial (GWP) mit Zeithorizont 100 Jahre CO <sub>2</sub> -Äquivalente
<b>Kältemittel (1. Stufe)</b>		
FCKW-12 (R12)	1	10 200
HFKW-134a (R134a)	-	1300
Isobutan (R600a)	-	3
<b>Treibmittel (2. Stufe)</b>		
FCKW-11 (R11)	1	4660
Cyclopentan (CP)	-	< 25

Tabelle 1: Ozonschichtabbauendes Potenzial (ODP) und Treibhauspotenzial (GWP) der in Kühlgeräten verwendeten Kälte- und Treibmittel (Quellen: BAFU [2013], EPA [2016], IPCC [2014])



Abbildung 3: Typische Kugelgastanks für die Erdgaslagerung (Quelle: Adobe Stock)

Explorative SENS-Untersuchungen wie auch eine Studie des Öko-Instituts Darmstadt im Auftrag der RAL-Gütegemeinschaft Rückproduktion von Kühlgeräten (2020) zeigten, dass in Isolations-schäumen aus Boilern auch nach der Nutzungsphase VFC/VHC noch in vergleichbaren Konzentrationen wie bei Kühlgeräten vorkommen. Boiler mit Baujahr bis Mitte der 1990er-Jahre sind grundsätzlich als FCKW-haltig zu betrachten.

Fazit aus den erwähnten Untersuchungen ist, dass der aus ökologischer Perspektive einzig korrekte Entsorgungsweg von (zumindest FCKW-haltigen) Isolations-schäumen aus Boilern –

oder z. B. auch Dämmplatten aus Sandwich-Elementen – jener über die Stufe 2 in Kühlgeräte-recyclinganlagen ist. Dies ist bei Abgebern, Rückbauunternehmen, Entsorgungsfirmen und bei kantonalen Ämtern oft zu wenig bekannt. Die Firmen Kühlteg AG und Oeko-Service Schweiz AG lassen schon seit vielen Jahren die PU-Schäumung aus angelieferten Boilern in ihren Stufe-2-Anlagen aufbereiten. Dabei werden die Isolationen händisch abgeschält und in der Folge zusammen mit den Kühlgerätekarkassen verarbeitet. Wir hoffen, dass diese vorbildliche Entsorgungspraxis verbreitet Schule macht!



Abbildung 4: Boiler zur manuellen Abschälung und Verarbeitung der PU-Schäume in Kühlgeräterecyclinganlagen (Bildabdruck mit freundlicher Genehmigung der RAL-Gütegemeinschaft Rückproduktion von Kühlgeräten e.V., 2020)



# Recycling von Leuchtstoffröhren: Chancen und Herausforderungen

Flora Conte

**In der Schweiz werden jährlich rund 800 Tonnen Leuchtstoffröhren verarbeitet. Dabei muss die Einhaltung der Quecksilbergrenzwerte streng überwacht werden, denn der Schutz von Menschen und Umwelt hat erste Priorität. Dank gewissenhafter Arbeit und leistungsfähiger Recyclingprozesse werden trotz der Herausforderung des flüchtigen und giftigen Schwermetalls Recyclingquoten von über 90 % erreicht.**

Mit dem Recycling von Elektro- und Elektronikaltgeräten (EAG) fördern SENS, SLRS und Swico die Kreislaufwirtschaft. Voraussetzung dafür ist, dass Menschen und Umwelt vor Schadstoffen geschützt werden. In der Schweiz haben sich mehrere Recyclingbetriebe auf die Verwertung von Leuchtstoffröhren spezialisiert, insbesondere von stabförmigen Gasentladungslampen, auch Leuchtstoffröhren genannt. Rund 800 Tonnen Leuchtstoffröhren werden jährlich aufbereitet. Im Gegensatz zu den meisten EAG-Kategorien können Schadstoffe in Leuchtstofflampen nicht vor der mechanischen Verarbeitung entfernt werden. Beim Recycling ist das Quecksilber (Hg) problematisch, das auf den Bestandteilen haftet. Für die Gesundheit entsteht ein Risiko, sobald Leuchtstoffmittel durch falsche Handhabung während des Recyclingprozesses beschädigt werden. Bereits bei Raumtemperatur entweichen und entstehen dabei giftige Hg-Dämpfe. Es gilt also, Quecksilber technisch so abzuscheiden, dass die Grenz- und Richtwerte immer eingehalten werden, wobei Hg-Werte streng überwacht werden müssen.

Beim Recycling von Leuchtstoffröhren entstehen 4 Fraktionen: Glas, Aluminiumendkappen, magnetische Metalle und Leuchtstoffpulver. Obwohl die Vermeidung der Hg-Kontamination die höchste Priorität hat, wird in den Recyclinganlagen die angestrebte Recyclingquote von 90 % problemlos erreicht. Die Hg-Massenanteile der magnetischen Metalle und des Leuchtstoffpulvers liegen über den Grenzwerten, sodass diese nicht oder kaum verwertet werden. Das Leuchtstoffpulver wird in einer Untertage deponie in der EU entsorgt.

Bei den Glas- und Alufractionen werden die Grenzwerte von 5 resp. 10 ppm Hg meistens problemlos eingehalten. Aus der Aluminiumfraktion kann so wieder Aluminium hergestellt werden. Die hohe Recyclingquote ist jedoch in erster Linie dem Glas zu verdanken: Die Glasfraktion, die dem Grossteil der Outputmasse entspricht, kann zu fast 100 % stofflich verwertet werden. Das Glas wurde in der Vergangenheit für die Herstellung neuer Leuchtstoffröhren eingesetzt. Mit dem Übergang zu LED-Lampen sinkt die Nachfrage für diese Anwendung. So wird das Glas heute z. B. in der Produktion von Glaswolle benutzt.



Die Glasfraktion, die dem Grossteil der Outputmasse entspricht, kann zu fast 100 % stofflich verwertet werden.

Beim Recycling von Leuchtstoffröhren kann man festhalten: Der verwertbare Materialanteil ist sehr hoch, doch die Handhabung muss mit viel Vorsicht geschehen. Diese beginnt schon bei der Abgabe von Privatpersonen an der Sammelstelle.

# Batch-Tests: Welche Indikatoren sind relevant?

Anahide Bondolfi und Andreas Bill

**Einer der wichtigsten Indikatoren, der von der Normenreihe EN 50625 zur Beurteilung der Leistung eines EAG-Recyclers verwendet wird, ist die Recyclingquote. Da die Recyclingquote jedoch von der Zusammensetzung des verarbeiteten Materials beeinflusst wird und zudem den ökologischen Wert der zurückgewonnenen oder verlorenen Materialien nicht berücksichtigt, ist dieser Indikator aus heutiger Sicht nicht mehr befriedigend. Mit den neuen «ergänzenden technischen Vorschriften von SENS und Swico zur SN EN 50625 Serie» haben SENS und Swico den Prozess zur Überarbeitung der Indikatoren für die Recyclingleistung gestartet. Im Jahr 2020 wurden Batch-Tests als Pilotversuche durchgeführt, um neue Ansätze zu testen, wie z. B. die Berücksichtigung möglicher Verluste an Basismetallen und verwertbaren Kunststoffen.**

## Schwachstellen des Indikators Recyclingquote

Swico und SENS überwachen die Einhaltung von Gesetzen und Umweltauflagen und bewerten die Leistung der Recycler durch verschiedene Methoden – wie Betriebsaudits, Materialflusskontrollen sowie Testchargenverarbeitungen (Batch-Tests). Der Batch-Test dient unter anderem dazu, die Recyclingquote, d. h. die stoffliche Verwertungsquote, für jeden Recycler einheitlich und nach Behandlungsstrom zu ermitteln. Dieser Indikator weist jedoch 2 grosse Schwachstellen auf:

- Die erreichbare Recyclingquote hängt von der Zusammensetzung des Materials ab, welches beim Batchversuch verarbeitet wird. Diese ist variabel und hängt nicht von der Recyclingleistung ab.
- Die Recyclingquote gibt Auskunft über die Verwertungsquote der massenmässig wichtigsten Materialien wie Eisen, Aluminium, Kupfer und Kunststoffe, berücksichtigt aber nicht deren ökologischen Wert. Dieser kann insbesondere bei technischen Metallen auch bei kleineren Massenanteilen bereits sehr hoch sein.

## Recyclingquote: Richtwert statt Grenzwert

Aufgrund dieser Erkenntnisse hat die Technische Kommission (TK) von Swico/SENS in den seit dem 1. Januar 2020 für Schweizer Recycler gültigen «ergänzenden technischen Vorschriften von Sens und Swico zur SN EN 50625 Serie» die Vorgaben für Batchversuche und deren Beurteilung angepasst. Die Recyclingquoten pro Geräte-kategorie werden nicht mehr als Grenzwert, sondern als Richtwert festgelegt. Dies ermöglicht mehr Flexibilität bei der Auslegung der Resultate eines Batchversuches, insbesondere durch Einbezug der Qualität des Inputmaterials, und berücksichtigt die ständige Weiterentwicklung der Technologie. Für Kleingeräte ohne Bildschirme und Wärmetauscher wurden die Richtwerte für die zu erreichende Recyclingquote zudem mit dem Anhang V der europäischen Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE-Richtlinie) harmonisiert. Dort wurden die Ziele für europäische Recycler zuletzt am 15. August 2018 angepasst. Für Kleingeräte von Swico wurde die zu erreichende Recyclingquote dadurch von 65 % auf 55 % reduziert, während sie für SENS-Kleingeräte von 50 % auf 55 % anstieg.

**Richtwerte für Haushaltsgrossgeräte**

Für Haushaltsgrossgeräte wurde der Richtwert in der Schweiz angepasst, nachdem beobachtet wurde, dass mehrere Recycler Schwierigkeiten hatten, die Vorgaben der europäischen Richtlinie zu erreichen. Anstelle des bisher gültigen Richtwertes von 75 % für alle Haushaltsgrossgeräte wurde eine Quote für jeden der 4 wichtigsten Gerätetypen dieser Kategorie eingeführt. Die Recyclingquoten pro Gerätetyp wurden anhand spezifischer Batchversuche berechnet, welche bei 4 Schweizer Recyclern zwischen 2018 und 2020 durchgeführt wurden. Dabei wurde die Zusammensetzung jeder Ausgangsfraction durch weitere Trennschritte oder Analysen abgeschätzt und der Metallanteil bestimmt, um die potenziell erreichbare Recyclingquote zu berechnen. Diese wurde daraufhin als neuer Richtwert für den jeweiligen Gerätetyp eingeführt. Der Richtwert für Backöfen, welche einen hohen Anteil an Metallen enthalten, wurde auf 86 % erhöht. Bei Waschmaschinen (69 %), Geschirrspülern (68 %) und Wäschetrocknern (73 %, nach Abzug etwaiger Kompressoren) wurden jedoch tiefere Richtwerte festgelegt, da diese Geräte immer mehr Kunststoffe enthalten. Obwohl die Technologien der Recycler tendenziell immer effizienter werden und damit eine bessere Rückgewinnung der Wertstoffe ermöglichen, steigen die Zielvorgaben für die Recyclingquote daher nicht unbedingt an, da sich die Zusammensetzung der Geräte nicht immer zugunsten des Recyclings entwickelt.

**Unsicherheiten bei inputbasierten Recyclingquoten**

Die neuen Richtwerte für Haushaltsgrossgeräte, welche basierend auf dem verarbeiteten Gerätemix festgelegt werden, sind realistischer – dennoch gibt es immer noch erhebliche Unsicherheiten. Der Metallanteil, welcher bei den speziellen Batchversuchen zur Bestimmung des Recyclingpotenzials der 4 Gerätetypen berechnet wurde, variierte zwischen den einzelnen Batchversuchen mit einer durchschnittlichen Standardabweichung von 6 %. Bei Waschmaschinen betrug die Standardabweichung sogar 10 %, bei Backöfen dagegen nur 3 %. Dies zeigt, dass die Zusammensetzung der Geräte auch innerhalb desselben Gerätetyps stark variieren kann. Eine 2019 durchgeführte Studie zum Materialstrom Swico Mix<sup>1</sup> führte zu ähnlichen Erkenntnissen. Die Ermittlung des Recyclingpotenzials durch eine umfangreiche Charakterisierung der Zusammensetzung des Batchinputmaterials ist nicht ausreichend robust (Unsicherheitsgrad der Zielstoffbilanzen > 50 %) und der Aufwand für diese Art von Untersuchung ist für eine regelmässige Durchführung unverhältnismässig hoch.

**Neuer Indikator: Metall- und Kunststoffverluste**

Zusätzlich zu den Anpassungen der Richtwerte für die Recyclingquoten wurde mit den ergänzenden technischen Vorschriften 2020 ein neuer Indikator zur Bewertung der Recyclingleistung eingeführt, nämlich die Menge des nicht verwerteten Metalls (Eisenmetalle, Kupfer und Aluminium) sowie der verwertbaren Kunststoffe, d. h. Verluste in der Prozesskette. Diese Verluste entstehen in der Regel in Schredderleichtfraktionen oder in gemischten Metallfraktionen, die in eine Endbehandlung gelangen, wo nur 1 Metall zurückgewonnen wird. Beispiele für solche Verluste sind Kupferanteile in einer Eisenschrottfraction, welche im Stahlwerk verwertet wird, oder Eisenmetalle in Motoren, die in einer Kupferhütte verwertet werden. Diese Verluste werden in Kilogramm pro Tonne gesamthaft verarbeiteten Material und nicht nach dem relativen Metallanteil pro Fraktion geschätzt, um die Gesamt-

<sup>1</sup> Swico Mix umfasst Swico Kleingeräte ohne Bildschirmgeräte und Bildschirme > 100 cm<sup>2</sup>, d. h. auch entfernbare Bildschirme von z. B. Notebooks werden aus dem Behandlungsstrom abgezweigt.

masse der verlorenen Ressourcen zu berücksichtigen. Für den neuen Indikator wurden im Dokument zur Durchführung von Batchversuchen Zielwerte vorgeschlagen, jedoch wurden diese noch nicht verbindlich festgelegt.

**Pilotphase 2020 und 2021**

Die Analyse von Wertstoffverlusten scheint vielversprechender zu sein als angepasste Recyclingquoten basierend auf der jeweiligen Inputzusammensetzung, aber es fehlt noch an Erfahrung. Aus diesem Grund arbeitet eine Arbeitsgruppe der TK Swico/SENS kontinuierlich an der Weiterentwicklung dieser Indikatoren. Während einer Pilotphase im Jahr 2020 wurden bei den Batchversuchen zusätzliche Analysen durchgeführt, um Metallverluste in verschiedenen Fraktionen aus der mechanischen Verarbeitung zu bestimmen. Dafür wurden Fraktionen ausgewählt, in denen das Vorhandensein eines bestimmten Metalls erwartet wird, aber dieses nicht in einem nachfolgenden Prozess zurückgewonnen wird. Neben den Basismetallen (Fe, Al und Cu) wurden in diesen Fraktionen zum Teil auch Gold, Silber und Palladium analysiert, da ein Verlust dieser Edelmetalle auch einem hohen

Verlust an ökologischem Wert entspricht. Die Ergebnisse dieser Pilotphase zeigten, dass die Metallanteile in den feinsten nichtmetallischen mechanischen Behandlungsfractionen, zu denen die Schredderleichtfraktion (SLF), Stäube und Siebfractionen gehören, zwischen den Recyclern stark variieren und teilweise sehr hoch sein können.

**Weiterführende Informationen**

Verwandte Artikel in früheren Fachberichten:

- [Fachbericht 2019, S. 43–44, Recyclingquote von Haushaltsgrossgeräten, Geri Hug und Anahide Bondolfi](#)
- [Fachbericht 2020, S. 32–33, Recyclingquote von Haushaltsgrossgeräten – Aktualisierung, Geri Hug und Anahide Bondolfi](#)
- [Fachbericht 2020, S. 24–29, Eignen sich erweiterte Batchversuche zur Festlegung des Recyclingpotenzials?, Roger Gnos, Rolf Widmer und Lorena Toledo Reyes](#)
- [Fachbericht 2020, S. 40–41, Kreislaufwirtschaft beim Recycling von EAG: Sind wir auf dem richtigen Weg?, Heinz Böni und Rolf Widmer](#)

**Richtwerte für Recyclingquoten gültig in der Schweiz im Jahr 2021**

Für Grossgeräte umfassen diese Quoten nur das Recyclingziel für Metalle.

Behandlungsstrom	Richtwert für die Recyclingquote
Wärmeübertrager	80 %
Bildschirmgeräte	65 %
Stabförmige Gasentladungslampen	90 %
Grossgeräte SENS: Waschmaschinen	69 %
Grossgeräte SENS: Geschirrspüler	68 %
Grossgeräte SENS: Wäschetrockner	73 %
Grossgeräte SENS: Kochherde/Backöfen	86 %
Grossgeräte Swico	75 %
Kleingeräte SENS	55 %
Kleingeräte Swico (Swico-Mix)	55 %

# Elektronik in Fahrzeugen: eine unerschlossene Goldmine?

Charles Marmy

**Während der letzten Jahrzehnte hat der Anteil der elektronischen Komponenten in unseren Autos immer stärker zugenommen und der Boom der Elektromobilität heizt diese Dynamik weiter an. Genau wie Smartphones, Laptops, Bildschirme u. ä. enthalten diese Komponenten seltene und edle Metalle. Doch im Gegensatz zur Heimelektronik werden sie im Allgemeinen nicht gesondert recycelt.**

Sind Sie heute schon Auto gefahren? Wenn dies der Fall ist, haben Ihnen unzählige elektronische Komponenten gute Dienste geleistet: die Verbindung des Smartphones mit dem Multimedia-Display, das Navigationssystem, der Regler für die Innenraumtemperatur, automatisch eingeschaltete Scheinwerfer, elektrische Fensterheber, Tempomat, Rückfahrkameras, Hinderniserkennung – die Liste ist lang.

In den letzten Jahren hat die Zahl dieser Komponenten rapide zugenommen. Genau wie Heimelektronikgeräte (Computer, Telefon, Drucker, Bildschirme usw.) enthalten sie eine Reihe seltener oder edler Metalle, die unverzichtbar für die neuen Technologien sind, zum Beispiel Gold, Neodym, Kupfer und Kobalt. Alles in allem sind beträchtliche Mengen solcher Metalle im Fahrzeugbestand enthalten (siehe Abb. 1). In der Schweiz entsprechen diese Mengen etwa jenen in den Heimelektronikgeräten. Doch im Gegensatz zu Letzteren wird der Grossteil der Autoelektronik nicht gesondert getrennt und recycelt, wenn das Auto am Ende seines Lebenszyklus angelangt ist. Die Prozesse, die für das Recycling von Autowracks gebräuchlich sind, zielen hauptsächlich auf die Rückgewinnung von Industriemetallen wie Eisen, Kupfer oder Aluminium ab. Seltene und edle Metalle, die vor allem in den Elektronikkomponenten vorzufinden sind, gehen somit verloren.

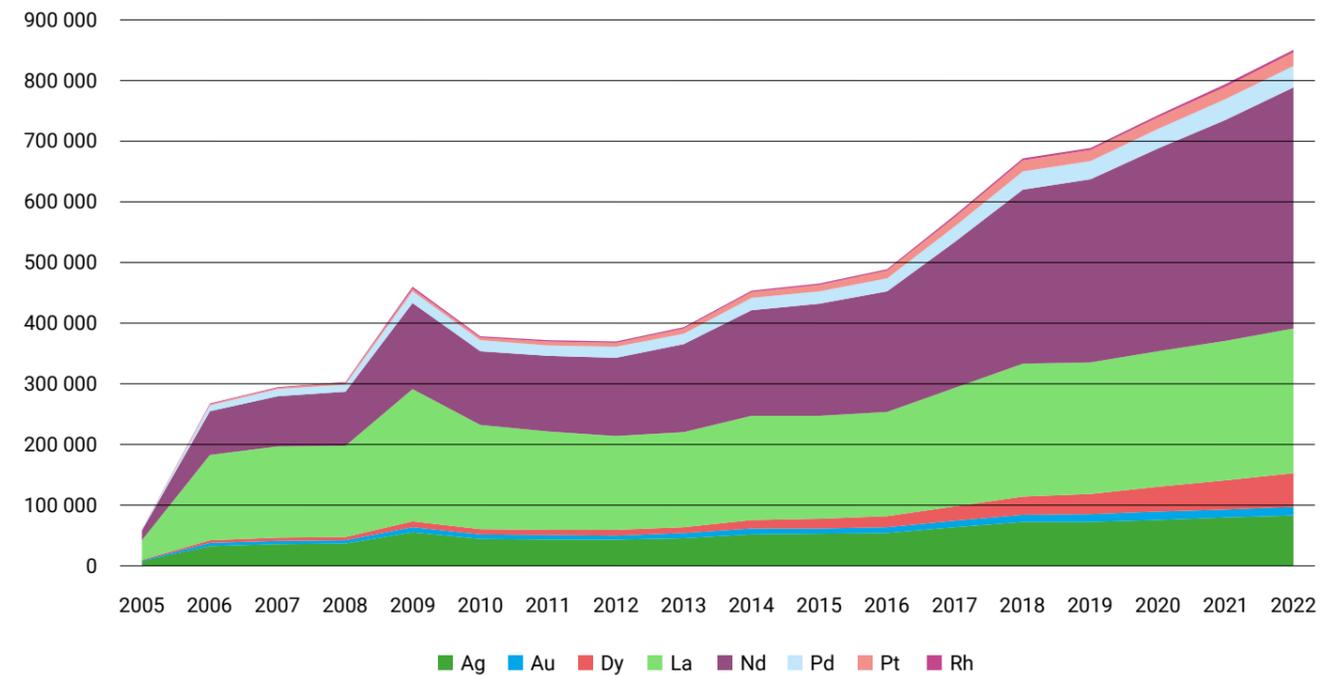


Abbildung 1: Gesamtgehalt seltener und edler Metalle in Autos, die jährlich in den EU-Ländern sowie in England, Norwegen und der Schweiz recycelt werden, inkl. Prognose bis 2022 (vorläufige Ergebnisse, Projekt RMIS, JRC)

Darüber hinaus erlebt die Automobilbranche seit einigen Jahren einen tiefgreifenden Wandel. Der Marktanteil der Elektrofahrzeuge explodiert geradezu. Im Jahr 2020 war 1 von 4 in der Schweiz verkauften Fahrzeugen zumindest teilweise elektrisch angetrieben (d. h. Hybrid, Plug-in-Hybrid oder rein elektrisch) und etwa 1 Fahrzeug von 10 vollelektrisch. Diese Antriebstoppen erreichten 2020 einen Anteil von 3,8 %

am gesamten Schweizer Fahrzeugbestand, und diese Quote dürfte in den nächsten Jahren weiter rapide ansteigen. In 10 bis 20 Jahren werden die ganz oder teilweise elektrisch angetriebenen Autos einen signifikanten Teil der Altfahrzeuge ausmachen, die zu recyceln sind.

Diese Entwicklung hat Folgen für die Zusammensetzung der Fahrzeuge und die im Fahrzeugbestand enthaltenen Materialien. Die Elektrofahrzeuge enthalten nämlich elektronische Komponenten, die es bei Verbrennerfahrzeugen gar nicht gibt, etwa Lithium-Ionen-Akkus, Elektromotoren oder ein Batteriemanagementsystem (BMS). Ihr Gewicht ist durchaus beträchtlich. Die Batterie eines reinen Elektroautos bringt ein Gewicht in der Grössenordnung von 500 Kilogramm auf die Waage, während der Motor etwa 40 bis 50 Kilogramm wiegt. Ausserdem enthalten diese Komponenten Rohstoffe, die in den Elektronikteilen konventioneller Fahrzeuge gar nicht oder kaum enthalten sind. In den meisten Lithium-Ionen-Batterien findet sich Kobalt; für die Herstellung leistungsstarker Dauermagneten, wie sie in den meisten Elektromotoren verbaut werden, braucht es Neodym und Dysprosium, und für die Herstellung ihrer Magnetspulen kommen grosse Mengen Kupfer zum Einsatz (siehe Abb. 2 und Abb. 3).

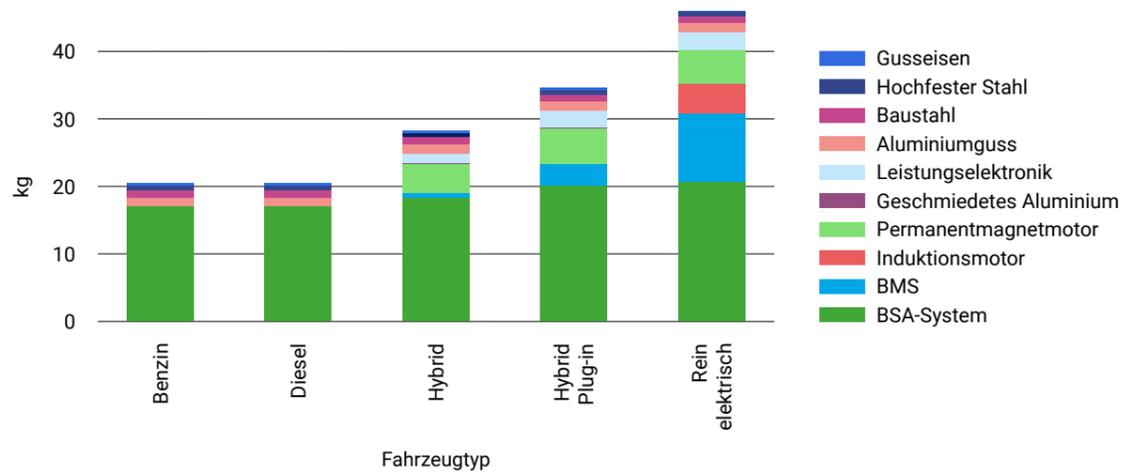


Abbildung 2: Durchschnittliche Menge Kupfer pro Komponente und Fahrzeugtyp 2020 (vorläufige Ergebnisse, Projekt RMIS, JRC)

Nd in Alt- und Unfallfahrzeugen

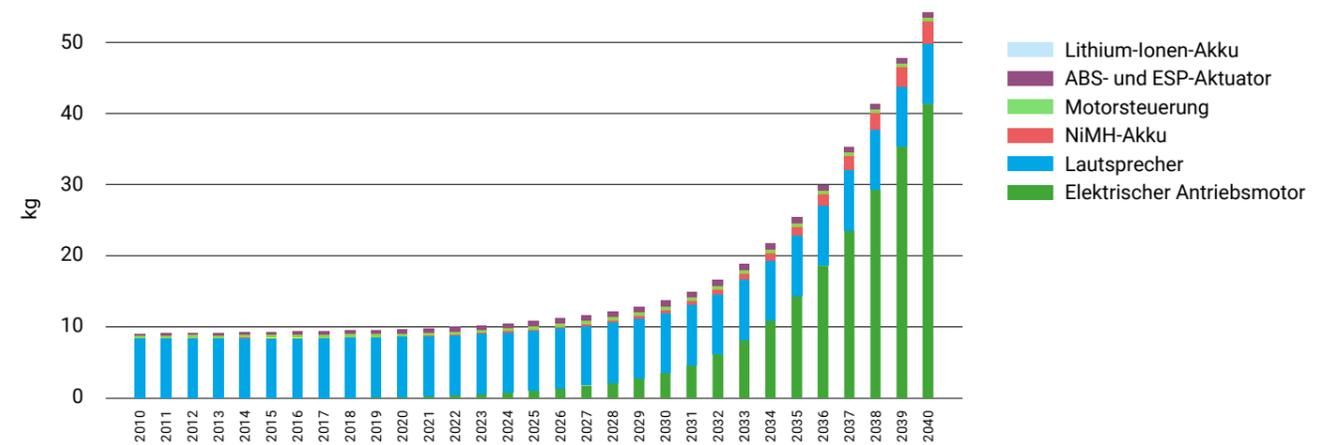


Abbildung 3: Menge an Neodym, das in Alt- und Unfallfahrzeugen in der Schweiz enthalten ist (vorläufige Ergebnisse, Projekt EVA II, Empa)

Mehrere wissenschaftliche Studien, darunter die schweizweit von der Empa durchgeführte Studie EVA II sowie auf europäischer Ebene die Studie RMIS des JRC, beziehen diese Entwicklung mit ein, um Schätzungen und Prognosen über die Menge der in den aktuellen und zukünftigen Altfahrzeugen verfügbaren Rohstoffe anzustellen. Beide Studien wollen aufzeigen, dass ein Interesse am Recycling dieser bisher vernachlässigten elektronischen Komponenten besteht; sie wollen zur Entwicklung industrieller Recyclingprojekte anregen und politische Massnahmen unterstützen. Heute ist die Gesellschaft mehr denn je auf die neuen elektronischen Technologien angewiesen, sei es aus Gründen des Komforts oder der Sicherheit. Das gilt auch für diverse Produktions- und Speichertechnologien im Bereich der erneuerbaren Energie, die für eine schnelle und effiziente Energiewende entscheidend sind. Neben ihrem beträchtlichen wirtschaftlichen Wert sind diese für die heutigen Technologien wesentlichen Rohstoffe von strategischer Bedeutung. Diesen Verwertungskreislauf zu schliessen, muss erste Priorität haben, insbesondere durch ein effizientes und gezieltes Recycling. Die Schweiz leistet auf diesem Gebiet bereits vorbildliche Arbeit, vor allem dank Organisationen wie Swico, SENS und BATREC. Elektronische Komponenten aus der Automobilbranche fallen jedoch nach wie vor durch die Maschen dieses Systems.

Weiterführende Informationen

- [Project Raw Material Information System \(RMIS\), Joint Research Center of the EU Science Hub \(JRC\)](#)
- [Project Recycling of electric components from passenger vehicles \(EVA\), Empa](#)

# Swico fördert Innovationen im e-Recycling

Roger Gnos

**Der Swico Innovationsfonds wurde 2019 lanciert und hat bis Ende 2020 CHF 384 000 in innovative Projekte investiert. Gefördert wurden der Bau einer Tonerrecyclinganlage, Versuche zur verbesserten Rückgewinnung von Kobalt und Neodym sowie ein Projekt mit dem Ziel «Wiederverwenden vor Verwerten». Weitere Projekte sind in der Pipeline.**

Der Swico Innovationsfonds wurde von Swico Recycling lanciert und fördert Projekte, die dem Ökosystem von Swico Recycling Innovations-schub verleihen. Diese können in der gesamten Recyclingkette anfallen, angefangen bei der Sammlung der EAG bis zur Entnahme von Schadstoffen und Wertstoffen. Die Vertragspartner von Swico können dabei auch Kooperationen mit Start-ups oder Forschungsstätten eingehen, um Projekte ausserhalb der üblichen Leitplanken zu ermöglichen.

Anträge für Förderprojekte können von Recyclingunternehmen, Herstellern und anderen Teilnehmenden am Swico Ökosystem, die mit Swico in einem Vertragsverhältnis stehen, gestellt werden.

Die eingereichten Projekte müssen innovativ sein, relevanten Nutzen für das Swico Ökosystem erbringen, hohe Erfolgchancen bei der Umsetzbarkeit bieten und von Antragssteller\*innen getragen werden, welche über die nötigen Qualifikationen verfügen.

Das erste geförderte Projekt hat in Fachkreisen grosse Beachtung gefunden: Mit CHF 240 000 hat Swico den Bau einer Tonerrecyclinganlage unterstützt. Denn schweizweit fallen jährlich über 1700 Tonnen Toner-kassetten und Refill-behälter an, die aktuell ins Ausland exportiert werden, was sich durch den Transport negativ auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz auswirkt.

### Toner-Recycling in der Schweiz – vom Projekt zum Vollbetrieb

Eingereicht wurde das Projekt von der Firma Solenthaler Recycling AG in Gossau. Das ursprüngliche Ziel, bis Anfang 2021 eine Anlage in Betrieb zu nehmen, welche Tonerstaub sicher evakuieren und stabilisieren kann, um eine umweltschonende und nachhaltige Verarbeitung zu sichern, konnte wegen der coronabedingten Verzögerungen in Bewilligungsablauf, Bau und Testbetrieb zwar nicht ganz erfüllt werden. Im Dezember konnte die Anlage dann im Testbetrieb durch die Empa überprüft werden – mit erfreulichen Resultaten: Die Anlage läuft kontinuierlich und sicher und die Outputprodukte sind sauber und sortierbar.



Die Mitglieder des Beirates des Innovationsfonds vor der neuen Toneranlage; v. l. n. r.: Heinz Böni, Empa; Marius Schlegel, Swisscom; Roger Gnos, Swico, Vorsitzender des Beirates

Seit April 2021 kann die Anlage im Einschichtbetrieb rund 1500 Tonnen pro Jahr verarbeiten. Das entspricht dem 1,5-fachen der ursprünglichen Planung, was ein Volumen von 4 ½ Olympiaschwimmbecken bedeutet und ca. 150 Tonnen

CO<sub>2</sub> pro Jahr spart. Durch dieses innovative Projekt können Swico Konventionsunterzeichner, Händler und Endkonsumenten darauf vertrauen, dass ihre tonerhaltigen Bestandteile nachhaltig und effizient in der Schweiz entsorgt werden.



Tonerkassetten und Refillbehälter können neu in der Schweiz recycelt werden.

Sicher gebunden, kann der Tonerstaub unbedenklich verarbeitet werden.



### Förderung der Rückgewinnung von Neodym und Kobalt

Zwei weitere Projekte, die vom Swico Innovationsfonds gefördert werden, haben mit der zunehmenden Miniaturisierung von Lithiumbatterien und deren Folgen fürs Recycling zu tun: Im Vordergrund stehen sicherheitstechnische Aspekte, da viele dieser Batterien defekt oder mit den umgebenden Materialien verklebt sind. Ein weiteres Augenmerk liegt aber auf der Rückgewinnung von Kobalt. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie zeigte sich, dass diese Rückgewinnung grundsätzlich machbar ist. Erfreulicherweise zeigte sich dabei zusätzlich, dass im dabei entstehenden Mahlgut neodymhaltige Magnete zugänglich werden: Neodym gehört zu den Seltenen Erden, deren Rückgewinnung gemäss einer BAFU-Studie von 2011 erste Priorität genießt. Um vertieft abzuklären, ob und wie die Rückgewinnung beider Rohstoffe wirtschaftlich und ökologisch vertretbar möglich ist, hat der Swico Innovationsfonds deswegen im Herbst 2020 einen zusätzlichen Unterstützungsbeitrag von CHF 24 000 gesprochen. Anfang 2021 wurden erste Resultate bekannt:



Neodymmagnete

Wie der Projektleiter der SOREC, Markus Stengele, ausführt, hat der gewählte Versuchsaufbau erfreuliche Resultate gezeigt und SOREC ermuntert, die Umsetzung im Rahmen des Lithiumbatterieprojektes zu beantragen.

### Wiederverwenden vor Verwerten

Das beste Recycling ist eines, das möglichst spät erfolgt: Mit CHF 75 000 unterstützte der Swico Innovationsfonds deswegen 2020 ein Projekt der Firma leBird Sàrl: In einer Studie wird das Potenzial zur Wiederverwendung von Laptops, Flat-TVs, Handys und gegebenenfalls weiterer Geräte evaluiert, wobei in einem ersten Schritt Bedürfnisse der Branche sowie Chancen und Risiken erfasst werden sollten.

Hintergrund ist eine Studie der Empa, welche bei elektronischen Geräten, bei denen der grösste Teil der Umweltbelastung in der Produktion erfolgt, die Wiederverwendung als ökologisch sinnvoll beurteilt hatte. Nur: Die ökonomische Sinnhaftigkeit, d. h., die Bereitschaft eines Käufers ein Secondhandgerät zu erwerben, hängt stark von dessen Qualität und vom Verkaufspreis ab – und über die weiss man bis anhin noch zu wenig.

### Die Resultate machen Mut

Auf Grund der ersten Prüfung von leBird Sàrl wird jetzt abgeklärt, wie in einem 2. Schritt in einem Zerlegebetrieb stichprobenmässig zur Wiederverwendung geeignete Geräte erfasst, kategorisiert und dokumentiert werden könnten. Das Augenmerk liegt dann auf den Aspekten Funktionstüchtigkeit, Datensicherheit und der Entwicklung eines Secondhand-Onlineshops mit entsprechendem Pflichtenheft. Geräte werden in dieser Abklärungs- und Testphase keine verkauft, da dazu aktuell die nötigen Richtlinien fehlen und die Verträge mit Swico Recycling einen Wiederverkauf ausschliessen. Das Projekt wird von 2 Experten der Empa begleitet.

### Fazit nach 18 Monaten Swico Innovationsfonds

Wir sind sehr zufrieden mit den bis jetzt eingereichten Projekten. Sie beweisen, dass die Recyclingbranche der Schweiz innovativ und initiativ unterwegs ist. Das Bewusstsein für mehr Nachhaltigkeit und eine bessere Kreislaufwirtschaft ist gross – und auch die Bereitschaft, hier in Vorleistung zu gehen. Der Fonds ist dazu gedacht, Grenzen zu überschreiten, um Visionen zu ermöglichen.

Swico ermutigt alle Recyclingunternehmen, Hersteller und anderen Teilnehmer am Recycling-Ökosystem, die mit Swico in einem Vertragsverhältnis stehen, innovative Projekte beim Swico Innovationsfonds einzureichen. Alle Informationen zu den Einreichfristen und zum Vorgehen finden Sie auf [www.swico.ch/innovationsfonds](http://www.swico.ch/innovationsfonds)

«Der Swico Umwelt-Innovationsfonds fördert zukunftssträchtige Recyclingprojekte mit bis zu CHF 300 000. Recycling wird dabei im umfassenden Sinn der Kreislaufwirtschaft verstanden: Auch Logistik, Kontrolle oder die Verlängerung der Lebensdauer von Geräten gehören dazu. Gefördert werden beispielsweise Projekte aus der angewandten Forschung und Entwicklung oder Pilotversuche. Bewerben können sich Teilnehmende am Ökosystem, die in einem Vertragsverhältnis mit Swico stehen. Dabei werden Kooperationen und Allianzen mit Dritten, namentlich Start-ups, begrüsst. Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung bis zum 15.2. oder 15.8. jedes Jahres.»

Judith Bellaiche, Swico Geschäftsführerin



# Mengen- und Technologieentwicklung und Recyclinganforderungen bei Flachbildschirmen

Heinz Böni und Andreas Bill

**Flachbildschirme sind aus dem heutigen Alltag nicht mehr wegzudenken. Die Technologie dieser Geräte hat sich in den letzten 10 Jahren stark weiterentwickelt. Der Trend geht zunehmend Richtung OLED, nachdem die Preise stark gesunken sind. Die Technologieentwicklung bei den Geräten beeinflusst auch die Anforderungen an ein umweltgerechtes Recycling.**

Im Jahre 2019 wurden in der Schweiz insgesamt rund 1,4 Mio. Bildschirmgeräte, d. h. PC-Monitore, TV Geräte und Laptops mit einem Gesamtgewicht von 13 900 Tonnen entsorgt. Dies entspricht 30 % der gesamthaft von Swico in diesem Jahr gesammelten und behandelten Menge an Geräten. Pro Arbeitstag wurden 5830 und pro Stunde rund 650 Geräte verarbeitet. Nachdem die Anzahl von 2006 bis 2009 von rund 900 000 Geräten auf 1,5 Mio. stark angestiegen ist, schwankt diese seit 2010 erstaunlich wenig: Von 2010 bis 2019 betrug das Mittel rund 1,5 Mio. Geräte. Mit anderen Worten: Die Anzahl Geräte, welche in privaten Haushalten

und Betrieben im Gebrauch sind, ist weitgehend konstant, und es erfolgt keine Mengenausweitung mehr – ein typisches Bild eines gesättigten Marktes (vgl. Abb. 1).

Die Menge der Röhrengeräte hat sich vom Maximum von rund 22 000 Tonnen (2011/12) auf rund 3500 Tonnen (2019) reduziert, während im gleichen Zeitraum die Menge an Flachbildschirmen von 4000 auf rund 10 000 Tonnen angestiegen ist (vgl. Abb. 2). Der Bildschirmanteil an der Gesamtmenge der von Swico rezyklierten Geräte hat sich dabei von 44 % auf 30 % reduziert.

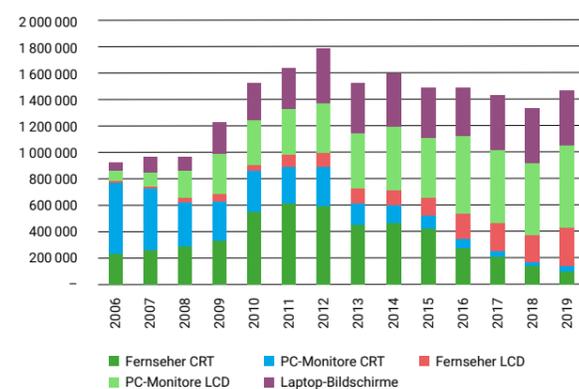


Abbildung 1: Entwicklung der Anzahl zurückgenommener Bildschirmgeräte 2006–2019. Seit 2013 hat sich die jährliche Anzahl bei rund 1,4–1,5 Mio. eingependelt.

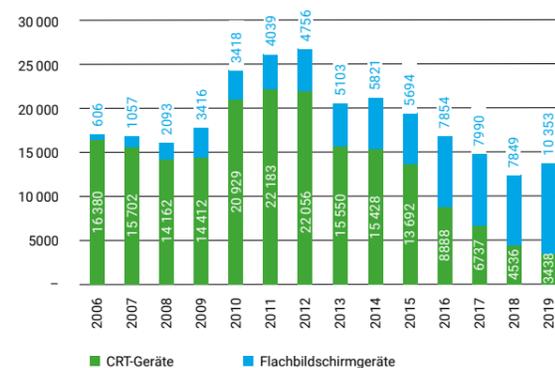


Abbildung 2: Entwicklung der Gewichtsanteile der Flach- und Röhrenbildschirme 2006–2019 in Tonnen. Aktuell liegen die Mengen bei ca. 14 000 Tonnen resp. knapp 30 % der gesamthaft rezyklierten Menge an Elektronikgeräten von Swico.

Von der in die Entsorgung gelangten Anzahl Geräte waren 2019 noch rund 9 % Röhren(CRT)-Geräte (vgl. Abb. 3). Aufgrund der unterschiedlichen Einzelgewichte betrug der Anteil der CRT-Geräte aber immer noch 25 % der gesamthaft zurückgenommenen Menge an Bildschirmgeräten.

Bei den zurückgenommenen Flachbildschirmen ist der Anteil der Geräte mit quecksilberhaltigen Hintergrundbeleuchtungen abnehmend. In einer nicht repräsentativen Stichprobe wurde 2018 ermittelt, dass 30 % der TV-Geräte, 15 % der PC-Monitore und 30 % der Laptops bereits LED-Hintergrundbeleuchtungen hatten. Die 2018 zurückgenommene Menge an Flachbildschirmgeräten mit quecksilberhaltigen Hintergrundbeleuchtungen kann anhand dieser Zahlen auf insgesamt rund 890 000 Stück oder knapp 6000 Tonnen geschätzt werden. Mit anderen Worten: An 250 Arbeitstagen müssten täglich bei rund 3500 Flachbildschirmgeräten die quecksilberhaltigen Hintergrundbeleuchtungen entfernt und einer gesonderten Entsorgung zugeführt werden.

Aufgrund des Gewichtsanteils der Hintergrundbeleuchtungen von 0,076 % bei TV-Geräten und 0,248 % bei PC-Monitoren<sup>1</sup> kann die gesamthaft Menge an 2018 zu entfernenden Hintergrundbeleuchtungen auf rund 10 Tonnen geschätzt werden, wobei darin die Metallfassungen der Hintergrundbeleuchtungen aus PC-Monitoren teilweise enthalten sind.

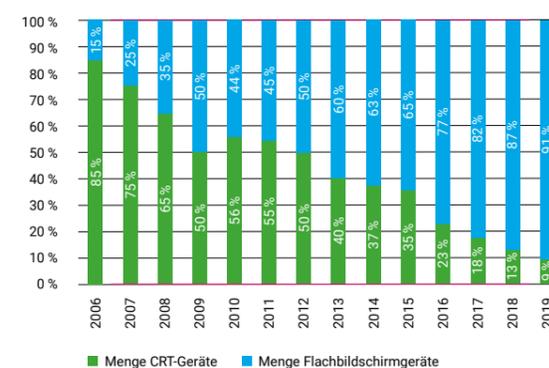


Abbildung 3: Aufteilung der Anzahl Geräte auf Flach- und Röhrenbildschirme 2006–2019. Mehr als 90 % sind Flachbildschirme.

LCD Fernseher mit quecksilberhaltigen Hintergrundbeleuchtungen enthalten 16–50 CCFL-Röhren. Unter der Annahme von durchschnittlich 4 Milligramm Quecksilber pro CCFL-Röhre variieren die Quecksilbergehalte bei Fernsehgeräten zwischen 64 und 200 Milligramm Hg. PC-Monitore enthalten 2–4 und Laptops 1–2 CCFL-Röhren und somit 8–16 resp. 4–8 Milligramm Hg<sup>2</sup>. Die Quecksilbermenge, welche durch die manuelle Entnahme der quecksilberhaltigen Hintergrundbeleuchtungen aus LCD-Bildschirmen im Jahr 2018 abgeschieden und korrekt behandelt wurde, lässt sich mit diesen (groben) Angaben auf 14–38 Kilogramm abschätzen. Dies erscheint auf den ersten Blick bescheiden, entspricht jedoch einem durchaus sehr relevanten Umweltnutzen: Pro Gramm Quecksilber, das in die Umwelt entweicht, werden 210 000 Umweltbelastungspunkte (UBP)<sup>3</sup> angerechnet. Zum Vergleich: Für die Ressourcenentnahme eines Grammes Gold werden 26 000 UBP angerechnet, bei Kupfer sind es 1,1 UBP/Gramm und bei Eisen sogar nur 0,0084 UBP/Gramm<sup>4</sup>. Der Umweltbeitrag einer Schadstoffausschleusung von 14–38 Kilogramm Quecksilber ist daher gleichzusetzen mit 113–307 Kilogramm zurückgewonnenem Gold, bzw. 2670–7250 Tonnen Kupfer oder 350 000–950 000 Tonnen Eisen.

<sup>1</sup> Über einen Batchversuch mit 80 TV-Geräten und 150 PC-Monitoren bestimmt

<sup>2</sup> Quelle: Umweltbundesamt: Behandlung von EAG unter Ressourcen- und Schadstoffaspekten (Texte 31/2018), S. 122

<sup>3</sup> «Umweltbelastungspunkte» werden als Kennzahl verwendet, um die Umweltbelastungen einer Schadstoffemission resp. Ressourcenentnahme zu quantifizieren und miteinander zu vergleichen.

<sup>4</sup> Quelle: Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit, Bundesamt für Umwelt BAFU, Öbu – Netzwerk für nachhaltiges Wirtschaften

## 9 Flachbildschirme

Abbildung 4 zeigt die Zusammensetzung der Flachbildschirme. Sowohl LCD-Fernseher als auch PC-Monitore bestehen je zu ca. 40 % aus Eisen, ca. 45–50 % aus Kunststoffen (inkl. PMMA-Scheibe) und ca. 5–6 % aus Aluminium. Der Leiterplattenanteil beträgt 6 % bei PC-Monitoren und 9 % bei TV-Flachbildschirmen.

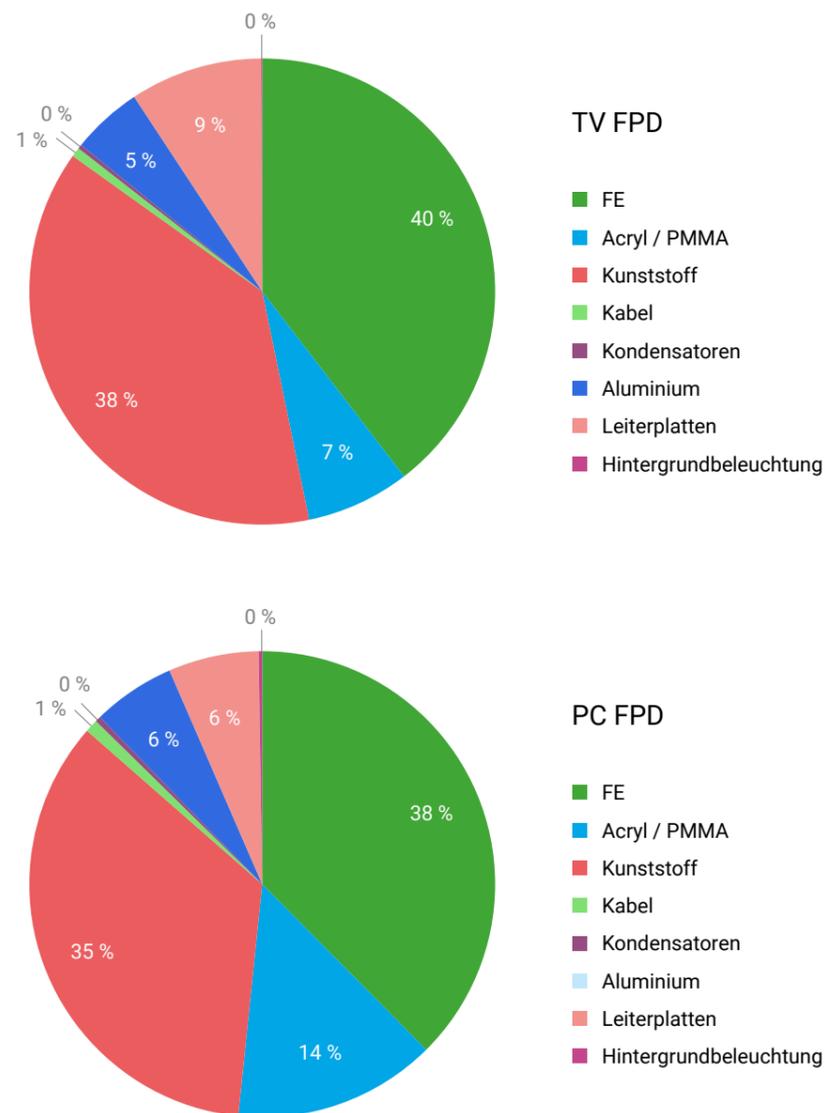


Abbildung 4: Zusammensetzung von Flachbildschirm-Fernsehgeräten und PC-Monitoren. Resultate eines Batchversuches 2020.

Im Fachbericht 2019 wurde aufgezeigt, dass mit geschulten Mitarbeitenden eine weitgehend beschädigungsfreie Entnahme der Hintergrundbeleuchtungen möglich ist. Quecksilbermessungen am Arbeitsplatz bestätigten, dass die MAK-Werte um den Faktor 20 bis 30 unterschritten werden können.

Bei der alternativen, vollmechanischen Verarbeitung von quecksilberhaltigen Flachbildschirmen werden die Bildschirme inklusive Hintergrundbeleuchtung unter Unterdruck geschreddert. Dabei wird die gesamte Raumluft abgesaugt und über ein Filtersystem gereinigt. Der allergrösste Anteil des Quecksilbers wird über den Luftstrom abgeschieden und im Aktivkohlefilter und Staub aufkonzentriert. Die aus dem Prozess resultierenden Mischfraktionen werden gemäss des technischen Standards SN EN 50625 als schadstoffentfrachtet betrachtet. Das heisst, es dürfen keine relevanten Quecksilbermengen in diese Fraktionen verschleppt und dort verdünnt werden. Der Standard geht davon aus, dass dasjenige Quecksilber, welches nicht über den Luftstrom abgeschieden wird, hauptsächlich in der schadstoffentfrachteten, feinsten, geschredderten Mischfraktion zu finden ist. Diese wird daher gemäss Standard als Referenzfraktion zur Überprüfung einer genügenden Schadstoffentfrachtungsleistung festgelegt und muss beprobt werden. Der maximal zulässige Quecksilbermassenanteil beträgt dabei 0,5 mg/kg. Diese sehr strengen Anforderung stellt für die mechanische Verarbeitung von Flachbildschirmen ohne vorherige Entnahme der quecksilberhaltigen Hintergrundbeleuchtung eine hohe Hürde dar.

# Brandrisiko durch Lithiumbatterien – Fragen und Antworten

Flora Conte und Rolf Widmer

**Für alle Sammelstellen, Zerlege- und Recyclingbetriebe stellen defekte Lithiumbatterien (LiB) ein allgegenwärtiges Brandrisiko dar. Die Gefahrensituationen sind sehr verschieden und der Brandschutz entsprechend eine grosse Herausforderung. Sind alle LiB gleich gefährlich? Was haben Wetter, Umgang und Lagerung für einen Einfluss auf das Brandrisiko? Welche Schutzmassnahmen existieren?**

In den letzten Jahren ist die Sensibilisierung gegenüber dem Thema Brandrisiken im Umgang mit Lithiumbatterien (LiB) bei allen Betroffenen gestiegen. Gleichzeitig steigt der LiB-Anteil im Batteriemix kontinuierlich an, ebenso wie die Verbreitung von LiB in diversen Elektro- und Elektronikgeräten (EAG). Die durch LiB verursachten Brände in Sammelstellen, Zerlege- und Recyclingbetrieben sowohl in der Schweiz wie global zeigen auf, dass laufend angepasste Massnahmen notwendig sind. Schutz bieten die Anwendung von Wissen und technische Lösungen. Dieser Artikel gibt mittels Fragen und Antworten einen Überblick über das Thema Brandrisiko und LiB. Er ersetzt nicht die Beratung durch Sicherheitsexpert\*innen.

**Frage 1: Gibt es verschiedene Lithiumbatterien?**  
Technisch werden Lithium-Ionen-Batterien (LiB) von Lithium-Metall-Batterien unterschieden, die zusammengefasst Lithiumbatterien (LiB) genannt werden. Heute sind LiB ausschliesslich wieder-aufladbar (Sekundärbatterien). Li-Metall-Batterien hingegen sind ausschliesslich Einwegbatterien (Primärbatterien) – häufig Knopfzellen, selten aber auch grosse Zellen mit hoher Energiedichte.



Das in Li-Metall-Batterien (Beispiele in dieser Abbildung) enthaltene Lithium ist hochreaktiv. (Foto: INOBAT)

**Frage 2: Wieso besteht im Umgang mit Alt-LiB eine erhöhte Brandgefahr?**

Die Brandgefahr im Rücklauf von Alt-LiB rührt daher, dass sie einerseits oft eine beträchtliche Restladung (also Zündenergie), und andererseits einen leicht entzündlichen flüssigen Elektrolyten

oder brennbares metallisches Li enthalten. Diese Kombination aus Zündenergie und Brennbarkeit kann bei unsachgemässer Behandlung zu einer Selbstentzündung führen, aber auch schon die u. U. austretenden Flüssigkeiten sind nicht ungefährlich. Das in Li-Metall-Batterien enthaltene Lithium ist hochreaktiv. Dessen Kontakt mit Wasser führt u. a. zur Bildung von Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und kann so Knallgasexplosionen auslösen<sup>1</sup>.

**Frage 3: Welche Hauptrisikofaktoren müssen beim Umgang mit Alt-LiB beachtet werden?**

- **Eigenschaften der LiB:** Das Brandrisiko hängt bei LiB vom Zustand (intakt, defekt), vom Schutz (lose, eingebaut), von der Kapazität (in Wattstunden) und vom Li-Metall-Gehalt (in Gramm) ab. Siehe auch Frage 4.
- **Mechanische Einwirkung:** LiB sind druckempfindlich. LiB und LiB-haltige EAG sollten deshalb nicht als Schüttgut gelagert und transportiert oder mit Greifarmen (Baggern etc.) umgewälzt werden. Denn beim Schüttvorgang können die LiB-Zellen freigelegt werden. So sind diese ungeschützt vor Verletzungen und Kurzschlüssen und dabei meistens umgeben von brennbaren Materialien. Geeigneter sind die von SENS und Swico empfohlenen Kleingebinde. Bei der Zerlegung werden insbesondere die dünnhäutigen Pouch-Zellen (z. B. in Mobiltelefonen) schnell beschädigt.
- **Witterung:** Hitze, z. B. durch Sonneneinstrahlung, kann Temperaturen über 60 °C bewirken, was bei LiB zum Austreten brennbarer Gase zu Zellenbrand bis zu einem «thermischen Durchgehen» führen kann. Li-Metall-Batterien reagieren zudem beim Kontakt mit Wasser. Aus diesen Gründen ist der Witterungsschutz von LiB sehr wichtig.
- **Kurzschlüsse:** Bei einer Lagerung in Stahlfässern vermeiden die Plastik-Inliner Kurzschlüsse mit dem Fass. Kurzschlüsse müssen auch zwischen den LiB vermieden werden (s. Frage 8). Achtung: Auch Puffer- und Stützbatterien, die vom ADR freigestellt sind, können sich, wenn man sie ausgebaut zusammenschüttet, mit ihren Metallgehäusen kurzschliessen.

**Frage 4: Wie erkennt man brandverdächtige LiB?**

LiB sind besonders brandgefährlich, wenn sie defekt sind. Defekte LiB erkennt man: an der Verformung des Gehäuses («aufgeblähte» LiB), am Austritt von Flüssigkeit, (Lösungsmittel-Gasgeruch), an Temperaturerhöhung, s. Abbildung.



Besonders bei defekten LiB ist die Brandgefahr erhöht. (Foto: INOBAT)

LiB sind zudem immer als gefährlich einzustufen, wenn sie eine hohe Masse oder viel Energie speichern. Zur Orientierung: ADR-Freigrenzen bei LiB gelten für LiB < 500 g oder mit < 2 g Li, oder mit < 100 Wh Energieinhalt.

**Frage 5: Was tun, wenn verdächtige Alt-LiB vorkommen?**

Verdächtige LiB sollten in geeigneten, geschlossenen Gebinden isoliert werden (s. Frage 8). Isolierte LiB müssen witterungsgeschützt, möglichst entfernt von brennbaren Stoffen und Notausgängen gelagert werden. Im Idealfall sollten verdächtige LiB vor Ort vollständig entladen werden. Zumindest für eine Teilentladung können LiB mehrere Tage in Leitungswasser oder Salzwasser baden. Die Entladung funktioniert nur, wenn kein Batteriemanagementsystem vorhanden ist (z. B. bei Veloakkus). Wasser darf nicht bei Li-Metall-Batterien verwendet werden.

➤ [Inobat](#) bietet bei verdächtigen defekten LiB eine Notfallnummer an und holt bei Bedarf gefährliche LiB ab.

<sup>1</sup> ➤ [https://www.riskexperts.at/fileadmin/downloads/Publikationen/Lithiumbatterien\\_SicherheitsratgeberMaehliiss\\_2016.pdf](https://www.riskexperts.at/fileadmin/downloads/Publikationen/Lithiumbatterien_SicherheitsratgeberMaehliiss_2016.pdf)

### Frage 6: Wie kann man sich gesamthaft vor LiB-Bränden schützen?

Betrieben, die mit potenziell defekten LiB oder LiB-haltigen EAG häufig in Kontakt sind, wird empfohlen, mit Expert\*innen ein Lager-, Sicherheits- und Notfallkonzept zu entwickeln und umzusetzen. Dabei sollte u. a. geprüft werden, ob die notwendige Einrichtung für das Löschen eines Brandes vorhanden und funktionsfähig ist. Für die richtige Erkennung von verdächtigen LiB sowie den korrekten Umgang mit LiB während der Lagerung, Sortierung, Zerlegung und beim Transport ist unabdingbar, dass Mitarbeitende sensibilisiert und geschult sind. Wiederholte Schulungen und Brandschutzübungen sind dabei sehr hilfreich. Insbesondere in Zerlegebetrieben ist die Qualitätssicherung wesentlich. Zudem helfen Technologien wie Brandmelder oder Wärmebildkameras.

### Frage 7: Falls es brennt – worauf achten, bis die Feuerwehr da ist?

Im Brandfall ist die korrekte Umsetzung des Notfallkonzepts relevant. Falls darin so vorgesehen, sollten brennende LiB oder LiB-haltige EAG freigestellt und isoliert werden. Zu beachten ist, dass LiB mit beträchtlicher Zeitverzögerung und beträchtlichen Pausen brennen können. Gründe: Der Aufbau mit mehreren Zellen, ihre thermische Trägheit und die ungewisse Entwicklung der Kurzschlüsse im Zellinnern. Nebst dem Rauch im Brandfall ist auch der verdunstende oder verdampfende Elektrolyt (weisser Dampf) aus überhitzten, nicht brennenden LiB gefährlich. Es ist grosse Vorsicht geboten, da dieser Stoffe enthält, die für Mensch und Umwelt giftig sind, u. a. kann sich Flusssäure bilden.

### Frage 8: Worin lagert man LiB?

Für die Lagerung von LiB empfiehlt die Inobat, Inobat-Stahlfässer mit mitgeliefertem Plastik-Inliner und Vermiculit zu verwenden (s. Abbildung). Das Vermiculit ermöglicht Brandschutz, Wärmedämmung, Abstand zwischen den LiB (vermeidet Kurzschlüsse) und mehr Stabilität beim Transport. Wenn möglich, vor der Lagerung die Pole der LiB abkleben oder schützen. Der Deckel des Fasses sollte immer mit dem Spanning geschlossen sein. Die Fässer sollten nicht gestapelt werden, da allfällig abgeblasener Überdruck gestaut wird und darüber liegende Fässer überhitzen können.



INOBAT-Fässer zur sicheren Lagerung und Entsorgung  
(Foto: INOBAT)

# Wie sollen PCB-freie Kondensatoren in Zukunft behandelt werden?

Daniel Savi

**Wie bereits im Fachbericht 2019 zu lesen war, enthalten auch PCB-freie Kondensatoren Flüssigkeiten, welche für die Umwelt oder die Gesundheit schädlich sein können. Insgesamt wurden darin 18 bedenkliche Stoffe gefunden und deren Eigenschaften in der Folge vertieft abgeklärt. Diese Recherchen führten einerseits zu einer Einschätzung der geeigneten Entsorgungswege für diese Stoffe, andererseits zu einer Liste von bedenklichen Stoffen, die als Leitsubstanzen für die Beprobung dienen könnten.**

## 5 Stoffe und eine Stoffgruppe wurden als mögliche Leitsubstanzen identifiziert

Unter den bedenklichen Stoffen wurden 5 Stoffe und eine Stoffgruppe identifiziert, die für die Umwelt als kritischer eingestuft wurden als die anderen. Diese könnten für eine Beprobung und chemische Analyse von Fraktionen nach der mechanischen Verarbeitung verwendet werden. Es sind dies die Folgenden:

- N-Methylpyrrolidon: ist vollständig mischbar in Wasser und gleichzeitig unter den bedenklichen Stoffen in Kondensatoren.
- Phenol: ist für Ratten unter allen bedenklichen Stoffen am giftigsten. Das Abbauprodukt Catechol ist krebserregend.
- 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl: Es gibt Hinweise auf eine Bioakkumulierbarkeit des Stoffes. Der Anteil am Flüssigkeitsgemisch in Mikrowellenkondensatoren kann hoch sein, in der Laboranalyse wurde er zu 80 % bestimmt. Die Bestimmungsgüte war jedoch nur mässig. Es ist darum nicht völlig klar, ob die Substanz richtig bestimmt wurde. Zudem sind kaum Stoffeigenschaften bekannt, was eine weitere Einschätzung des Umweltverhaltens verunmöglicht.

- 2,6-Diisopropylnaphthalin: Auch für diese Substanz gibt es Hinweise auf eine Bioakkumulierbarkeit. Zur Substanz sind sehr wenige Stoffeigenschaften bekannt. 2,6-Diisopropylnaphthalin ist ein Bestandteil des Isomerengemischs der Diisopropylnaphthaline (DIPN).
- Benzyltoluole: dieses Gemisch aus p-, m- und o-Benzyltoluol, ist sehr giftig für Wasserorganismen und baut sich nur sehr langsam in der Umwelt ab.
- Vier Stoffe gehören zur Gruppe der Naphthaline (siehe Tabelle rechts). Diese sind sehr toxisch für Fische und gemäss Modellschätzung nicht rasch biologisch abbaubar. Naphthalin (CAS-Nr. 91-20-3) ist zudem vermutlich krebserregend.

Stoffbezeichnung	CAS-Nummer	Vorkommen Kondensatortyp
Benzyltoluole	27776-01-8	ungepolte zylindrische Mikrowellen
Naphthaline		ungepolte zylindrische
Naphthalin	91-20-3	
1-Chlornaphthalin	90-13-1	
1-Methylnaphthalin	90-12-0	
2-Methylnaphthalin	91-57-6	
2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl	3075-84-1	Mikrowellen
2,6-Diisopropylnaphthalin	24157-81-1	Mikrowellen
N-Methylpyrrolidon	872-50-4	Elko
Phenol	108-95-2	Elko

In der Tabelle sind die bedenklichen Stoffe mit besonders auffälligen Eigenschaften bezüglich Ökotoxizität aufgeführt. Für eine Probestrategie im Recycling könnten sie als Leitsubstanzen verwendet werden.

## Bedenkliche Stoffe können in einer KVA zerstört werden, wenn sie genügend aufgeschlossen vorliegen

Neben der Frage zur Wirkung der bedenklichen Stoffe in der Umwelt wurde auch ihre Zerstörbarkeit in Entsorgungsprozessen genauer untersucht. Zum einen wurden dafür relevante Stoffeigenschaften wie Zündtemperatur, Siedepunkt oder Dampfdruck recherchiert. Zum anderen wurden die Betreiber der KEZO Hinwil gebeten, die Zerstörbarkeit der Stoffe in der KVA zu beurteilen. Beispielsweise haben 2 der bereits oben erwähnten Stoffe Eigenschaften, die für eine eher gute Zerstörbarkeit in einer Verbrennung sprechen: N-Methylpyrrolidon hat eine Zündtemperatur von 265 °C, Phenol wird schon bei 182 °C gasförmig und bereits ab 80 °C bildet sich ein zündfähiges Gasgemisch über dem reinen Stoff. Die Flammpunkte aller bedenklichen Stoffe lagen zwischen 58 und 263 °C und damit unter der Brenntemperatur in einer KVA. Es muss jedoch erwähnt werden, dass die Stoffeigenschaften jeweils nicht für alle bedenklichen Stoffe eruiert werden konnten. Einige Stoffe sind sehr schlecht dokumentiert. Die hier gezogenen Schlussfolgerungen geben nur den aktuellen Stand unseres beschränkten Wissens über die Umweltwirkungen der bedenklichen Stoffe wider. Dies gilt allerdings immer, wenn es um das Verhalten von Stoffen in der Umwelt geht.

Die Einschätzung der angefragten KVA stimmte mit den Ergebnissen der Literaturrecherche überein: Wenn die Stoffe in einer aufgeschlossenen, gut brennbaren Form vorliegen und zudem in geringen Konzentrationen auf einer brennbaren Fraktion vorkommen, dann sollten sie in einer KVA gut zerstört werden können.

Bezüglich dem Kunststoffrecycling ergibt sich ein Verschleppungspotenzial für bedenkliche Stoffe aus Kondensatoren. Es ist dabei zu bedenken, dass auch Kunststoffe zahlreiche Additive enthalten. Einige der bedenklichen Stoffe werden als Weichmacher in Kunststoffen eingesetzt, andere als Lösemittel in der Kunststoffherstellung. Es ergeben sich also eine ganze Reihe von Fragen zur Wirkung von bedenklichen Stoffen aus Kondensatoren auf das Kunststoffrecycling. Welche bedenklichen Stoffe werden auch in Kunststoffen eingesetzt? Welche bedenklichen Stoffe werden im Kunststoffrecycling ohnehin ausgeschleust? Welche bedenklichen Stoffe werden im Kunststoffrecycling zerstört? Dieser Verwertungsweg sollte darum weiter untersucht werden.

**Kritisch sind vor allem PCB-haltige und Mikrowellenkondensatoren**

Aus den mehrjährigen Untersuchungen zu den Flüssigkeiten in Kondensatoren lässt sich eine Reihe von Schlussfolgerungen ziehen: Es werden nach wie vor PCB-haltige Kondensatoren gefunden, insbesondere in Leuchten und Haushalt-grossgeräten (↗ siehe Fachbericht 2020). Diese müssen vor einer mechanischen Verarbeitung aus den Geräten entfernt werden. Von den PCB-freien Kondensatoren enthalten die Mikrowellenkondensatoren mit Abstand die grösste Menge an bedenklichen Stoffen. Diese verlieren ihre Flüssigkeit rasch und vollständig, wenn sie verletzt werden. Mikrowellenkondensatoren müssen ebenfalls vor einer mechanischen Verarbeitung aus den Geräten entfernt werden. Für PCB-freie ungepolte zylindrische Kondensatoren und Elektrolytkondensatoren ist eine Abtrennung in der mechanischen Verarbeitung mit nachfolgender Aussortierung denkbar, wenn die Kondensatoren dabei nicht zu stark und zu häufig verletzt werden. Wie hoch die Bruchrate in der Verarbeitung sein darf, wurde anhand von Modellrechnungen für SENS-Kleingeräte abzuschätzen versucht. Da jedoch noch Daten zum Anteil der Kondensatoren in den Geräten fehlen, sind die Ergebnisse sehr unsicher. Es kann jedoch schon festgehalten werden, dass Bruchraten im sehr tiefen 2-stelligen Prozentbereich tolerierbar sein sollten.

Die Tabelle auf der rechten Seite führt die 18 bedenklichen Stoffe auf, die in PCB-freien Kondensatoren gefunden wurden. Die Kondensator-typen folgen der Einteilung, wie sie im Recycling heute üblich ist. «Ungepolte zylindrische» sind grosse Kondensatoren über 2,5 cm Grösse, wie sie z. B. in Waschmaschinen häufig anzutreffen sind. «Mikrowellen»-Kondensatoren sind grosse, ungepolte Kondensatoren mit runden Schmal-seiten, wie sie für Mikrowellen typisch sind. «Elkos» sind zylindrische Elektrolytkondensa-toren, die z. B. auf Platinen und in Netzteilen verwendet werden.



Wie die Zerlegung zeigt, handelt es sich beim Mikrowellen-Kondensator um einen stark imprägnierten Kondensator.

Chemische Bezeichnung	CAS-Nummer	Vorkommen Kondensatortyp
1-Chlornaphthalin (chlorierte Naphthaline)	90-13-1	ungepolte zylindrische
1-Methylnaphthalin	90-12-0	ungepolte zylindrische
1-Methoxy-2-nitrobenzol / 2-Nitroanisol	91-23-6	Elko
2-Methylnaphthalin	91-57-6	ungepolte zylindrische
2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl	3075-84-1	Mikrowellen
2,6-Diisopropyl-naphthalin	24157-81-1	Mikrowellen
Benzyltoluole	27776-01-8	ungepolte zylindrische, Mikrowellen
Borsäure	11113-50-1	Elko
Butylhydroxyanisol	25013-16-5	ungepolte zylindrische
Di-p-tolyl-methan	4957-14-6	Mikrowellen
Dibutylphthalat	84-74-2	ungepolte zylindrische
Diethylhexylphthalat	117-81-7	ungepolte zylindrische
Diisobutylphthalat	84-69-5	ungepolte zylindrische
Dimethylacetamid	127-19-5	Elko
Dimethylformamid	68-12-2	Elko
N-Methylpyrrolidon	872-50-4	Elko
Naphthalin	91-20-3	ungepolte zylindrische
Phenol	108-95-2	Elko

**Literatur**

- Daniel Savi, Ueli Kasser, Rolf Widmer (2020), Flüssigkeiten in Kondensatoren, Bestimmung von Flüssigkeiten in elektrischen Kondensatoren, Definition bedenklicher Stoffe, Verhalten im Recycling-prozess, Schlussbericht, Stiftung SENS, Swico Recycling, Zürich

# PCB aus Elektrogeräten bleiben unter Beobachtung

Stefanie Conrad

**PCB bleiben ein wichtiger Fokus der TK SENS/Swico. Bereits geringe Mengen PCB in der Umwelt können sich in der Nahrungskette anreichern sowie erhebliche gesundheitliche Schäden und Umweltauswirkungen verursachen.**

PCB-Massenanteile und PCB-Frachten sind ein allgegenwärtiges Thema der TK SENS/Swico und in den Audits. In diesem Artikel wollen wir die Eigenschaften, Anwendungen und Auswirkungen von PCB nochmals in Erinnerung rufen, welche aufzeigen, wie wichtig auch heute die korrekte Entfrachtung von PCB-haltigen Elektroaltgeräten (EAG) ist.

Polychlorierte Biphenyle (PCB) bilden eine Gruppe von verschiedenen chlorierten Kohlenwasserstoffen, die eine hohe thermische, chemische und biologische Stabilität aufweisen, schwer entflammbar und elektrisch nicht leitend sind. Weil PCB persistent sind, leicht verdampfen, und bereits in sehr geringen Mengen toxisch sind, sind sie auch heute im EAG-Recycling eine Herausforderung.

Obwohl PCB seit 1986 in der Schweiz verboten sind, werden PCB-Gehalte in Fraktionen aus dem EAG-Recycling weiterhin gemessen, weil immer noch PCB-haltige Kleinkondensatoren in Vorschaltgeräten von Leuchtstoffröhren und in langlebigen Haushaltgrossgeräten vorkommen. Nebst dem Einsatz von PCB als isolierende Flüssigkeit und als Kühl- oder dielektrische Flüssigkeit in Transformatoren und in elektrischen Kondensatoren, wurden PCB auch als Weichmacher in Dichtungsmassen, Farben und Lacken oder als Korrosions- und Dichtungsschutz angewendet.

Durch unsachgemässe Entsorgung von PCB aus alten Anwendungen, Leckagen in Deponien oder Verdampfung gelangen PCB heute weiterhin in die Umwelt. Dort verbleiben diese daraufhin über Jahre hinweg und reichern sich in der Nahrungskette an. Menschen nehmen PCB hauptsächlich über die Nahrung auf, wobei bereits sehr tiefe Mengen schädliche chronische Effekte auslösen können. PCB verursachen Leber-, Milz- und Nierenschäden und schwächen das Immunsystem. Sie stehen in Verdacht, krebserregend zu sein, den Hormonhaushalt zu beeinträchtigen und Fehlbildungen bei Neugeborenen zu verursachen.

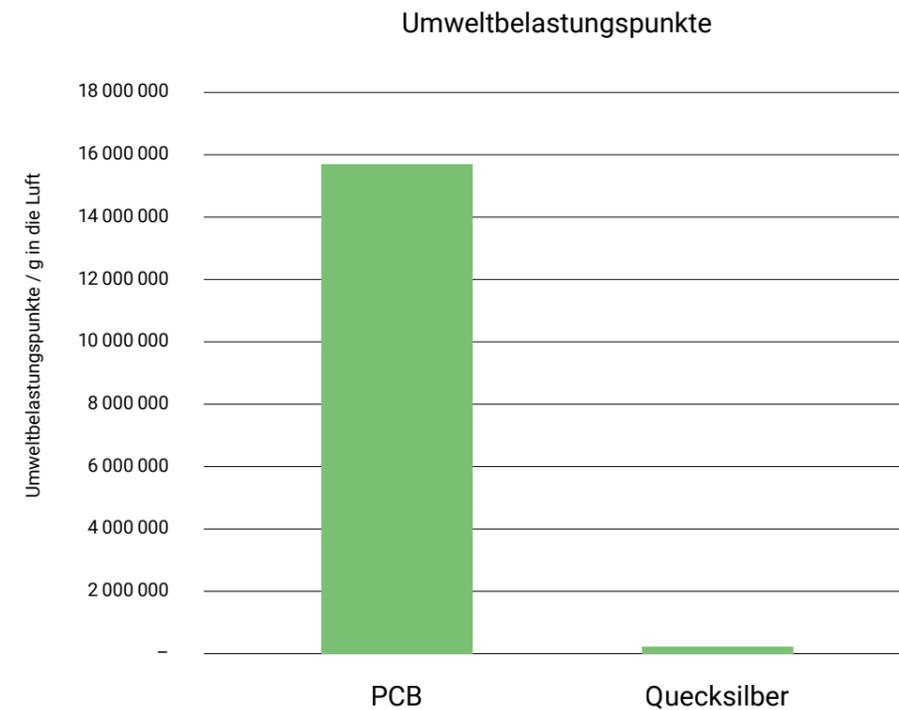


Abbildung 1: Umweltwirkungen von 1 g PCB und 1 g Hg in UBP/g, das in die Luft geht

Um die Umweltauswirkungen von PCB zu verdeutlichen, wurden mit der Methode der ökologischen Knappheit<sup>1</sup> die Umweltbelastungspunkte von 1 g PCB und 1 g Quecksilber (Hg), das in die Umwelt gelangt, berechnet.

Abbildung 1 zeigt den Umweltfussabdruck von 1 g PCB, der etwa 75-mal grösser ist als der Umweltfussabdruck von 1 g Hg.

Unter der Annahme, dass ein Kondensator etwa 10 g reines PCB enthält, würde allein ein Kondensator, der bei der Entfrachtung übersehen wird, einen Umweltfussabdruck von über 150 Mio. UBP haben. Dies entspricht etwa einer Autofahrt (mit durchschnittlicher Auslast) von fast 500 000 km, also fast 12-mal um die Erde. Diese Zahlen machen die Auswirkungen von PCB deutlich und zeigen, dass bereits geringe Mengen von PCB einen erheblichen Einfluss auf Mensch und Umwelt haben.

<sup>1</sup> Die Methode der ökologischen Knappheit bewertet zahlreiche Umweltwirkungen und fasst diese durch Vollaggregation in einer Kennzahl, den Umweltbelastungspunkten (UBP), zusammen.

# Neue internationale Regelungen zu Kunststoffen

Andreas Bill und Heinz Böni

**Elektroaltgeräte (EAG) enthalten 30–40 % technische Kunststoffe wie ABS, HIPS, PC/ABS, PP und PS. Aus den Recyclingprozessen entstehen Kunststoffgemische, welche bei ausländischen Folgeabnehmern in einzelne Polymere aufgetrennt werden. Besonders schadstoffhaltige Kunststoffe werden ausgesondert und thermisch verwertet, während die übrigen Kunststoffe als Kunststoffgranulat wieder in neuen Produkten eingesetzt werden. Im letzten Jahr wurden einige Bestimmungen zum Schadstoffgehalt und zum internationalen Transport verschärft, welche auch die schweizerischen Recyclingbetriebe betreffen.**

## EU POP Regulation Recast

Die Umsetzung des Stockholmer Übereinkommens über persistente organische Schadstoffe, auch Stockholm-Konvention oder POP-Konvention, wird innerhalb der EU durch die POP-Verordnung vom 24. April 2004 sichergestellt. Diese legt die Regeln für das Herstellen, Inverkehrbringen und Verwenden von den in der Stockholmer Konvention gelisteten Stoffen fest. Am 15. Juli 2019 trat eine Neufassung der POP-Verordnung in Kraft, welche eine für die EAG-Recycling-Branche wichtige Neuerung brachte: Für das Rezyklieren von Abfällen, welche polybromierte Diphenylether (PBDEs) enthalten, d. h. bromhaltige Chemikalien, die insbesondere als Flammschutzmittel in Kunststoffen eingesetzt wurden, gilt neu ein Summengrenzwert von 1000 mg/kg. Dies bedeutet, dass Kunststofffraktionen aus dem EAG-Recycling nur dann stofflich verwertet werden dürfen, wenn sichergestellt werden kann, dass der Massenanteil an PBDEs unter 1000 mg/kg liegt. Zuvor waren individuelle Grenzwerte von jeweils 1000 mg/kg für Tetra-, Penta-, Hexa- sowie Hepta-BDE in Kraft, während für das häufiger verwendete Deca-BDE keine Einschränkungen galten. Bis zum 16. Juli 2021 muss gemäss Artikel 15 der neuen POP-Verordnung zudem entschieden werden, ob der Summengrenzwert von 1000 mg/kg für PBDEs bestehen bleibt oder eventuell auf 500 mg/kg weiter reduziert wird.

## Neue Regeln der Basler Konvention

Bis 2018 wurden Kunststoffabfälle aus Europa und Amerika zu einem grossen Teil nach China exportiert. Als China jedoch den Import solcher Kunststoffabfälle im März 2018 verbot, entstanden grosse Kapazitätsengpässe, welche vor allem durch Entwicklungs- und Schwellenländer in Südostasien abgefangen wurden. Um zu verhindern, dass schwer rezyklierbare oder kontaminierte Kunststoffabfälle in diese Kanäle gelangen, wurden daraufhin innerhalb der Basler Konvention auf Initiative von Norwegen neue Regelungen für den grenzüberschreitenden Verkehr mit Kunststoffabfällen geschaffen, welche am 1. Januar 2021 in Kraft traten. Gemäss diesen neuen Regelungen dürfen nur noch Kunststofffraktionen, welche aus nur einem, nichthalogenierten Polymer bestehen und keine relevanten Fremdstoffe enthalten, ohne zusätzliche Kontrollen exportiert werden. Zudem ist auch der Export von Mischungen aus PE, PP und PET, welche keine Fremd- oder Schadstoffe enthalten, weiterhin erlaubt. Der geforderte Reinheitsgrad für solche Fraktionen ist noch in Diskussion. Von der EU wird 2 % Fremdstoffgehalt als Toleranzgrenze vorgeschlagen.

Für den Export von anderen gemischten oder kontaminierten Kunststofffraktionen gilt neu das «Prior Informed Consent (PIC)»-Verfahren. Dies bedeutet, dass eine Verbringung solcher Kunststofffraktionen zwischen 2 Nationen, welche

die Basler Konvention ratifiziert haben, bei den Behörden des Destinationslandes angemeldet werden muss und das Exportland erst verlassen darf, wenn die entsprechende Erlaubnis erteilt wurde. Für Länder, welche zudem auch das BAN Amendment ratifiziert haben (darunter befinden sich auch die Schweiz und die EU), gilt zudem, dass Exporte von solchen Kunststofffraktionen aus OECD-Staaten in Staaten, die nicht der OECD angehören, verboten sind.

## Was ändert sich für das EAG-Recycling in der Schweiz

Die neuen Regeln in der POP-Verordnung und der Basler Konvention haben auch Implikationen für die Verwertung von Kunststofffraktionen bei Schweizer EAG-Recyclern. Ein relevanter Anteil der Kunststofffraktionen aus der EAG-Behandlung in der Schweiz werden im nahen Ausland von auf EAG-Kunststoffe spezialisierten Recyclern stofflich verwertet. Diese verfügen über die nötigen Verfahren zur Abtrennung von bromierten Kunststoffen und können den aktuellen Grenzwert von 1000 mg/kg PBDEs generell problemlos einhalten. Die Auswirkungen einer möglichen weiteren Reduktion dieses Grenzwertes auf 500 mg/kg

im Juli dieses Jahres sind jedoch unklar. Durch die neuen Regeln der Basler Konvention unterliegen Kunststoffe, welche im Ausland verwertet werden, zudem dem PIC-Verfahren. Die stoffliche Verwertung von Kunststofffraktionen aus der EAG-Behandlung wird damit zwar nicht verhindert, führt jedoch zu einem administrativen Mehraufwand, welcher das aufgrund der tiefen Preise für primäre Kunststoffe ohnehin wenig lukrative Kunststoffrecycling weiter erschwert.

## Swico & SENS diskutieren mit

Swico und SENS sind Mitglieder des WEEE-Forums<sup>1</sup> welches diese Internationalen Entwicklungen innerhalb einer Arbeitsgruppe zum Thema Kunststoffe aktiv mitverfolgt. Vertreter der TK-Swico/SENS nehmen regelmässig an den virtuellen Treffen dieser Arbeitsgruppe teil und unterstützen das WEEE-Forum insbesondere bei technischen Fragen durch Knowhow und einen grossen Datenpool, welcher in vergangenen Studien zu bromierten Flammschutzmitteln und deren Überwachung erarbeitet wurde. Somit können Swico und SENS aktiv an den Stellungnahmen des WEEE-Forums zu diesen Internationalen Entwicklungen mitwirken.



➤ **Basler Konvention:** Das Basler Übereinkommen über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung wurde am 22. März 1989 von der Bevollmächtigtenkonferenz in Basel, Schweiz, als Reaktion auf einen öffentlichen Aufschrei verabschiedet, nachdem in den 1980er-Jahren in Afrika und anderen Teilen der Dritten Welt Lagerstätten mit aus dem Ausland importierten Giftabfällen entdeckt worden waren. Aktuell haben 188 Nationen die Basler Konvention ratifiziert.



➤ **Stockholmer Konvention:** Das Stockholmer Übereinkommen über persistente organische Schadstoffe ist ein globaler Vertrag zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt vor Chemikalien, die über lange Zeiträume in der Umwelt verbleiben, sich geografisch weit verteilen, sich im Fettgewebe von Menschen und Wildtieren anreichern und schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit oder die Umwelt haben. Die Konvention wurde von der Bevollmächtigtenkonferenz am 22. Mai 2001 in Stockholm, Schweden, angenommen und ist am 17. Mai 2004 in Kraft getreten. Aktuell haben 184 Nationen die Stockholmer Konvention ratifiziert.

<sup>1</sup> Das WEEE-Forum ist der Internationale Verband der EAG Rücknahmesysteme.



# Der Kühlgeräterecycling-Papst zieht sich zurück

Roman Eppenberger

**Per Ende 2020 hat Dr. Erhard Hug, bekannt als Geri Hug, sein langjähriges Mandat als Fachlicher Berater der Technischen Kontrollstelle von SENS und Swico abgegeben. Mit Geri Hug verlässt eine Persönlichkeit das SENS TK-Team, die seit der ersten Stunde die Entwicklung des Kühlgeräterecyclings geprägt hat. SENS und Swico bedanken sich an dieser Stelle bei Geri Hug für die erfolgreiche Zusammenarbeit.**

Geri Hug ist der Kühlgeräterecycling-Papst der Schweiz und eine der wenigen Koryphäen des Kühlgeräterecyclings weltweit. Er war nicht nur in der Schweiz, sondern auch in Europa und weltweit unterwegs. Begonnen hat das Ganze mit der Anfrage des damaligen Geschäftsführers von SENS, Dr. Robert Hediger (†), ein Modell zum Recycling von Kühlgeräten aufzubauen. Mit dem aufkommenden Thema des weltweiten Ozonabbaus wurde ein kontrolliertes Entsorgen von FCKW-haltigen Kühlgeräten relevant. Als promovierter Chemiker war Geri die richtige Person für dieses Thema. Voller Elan stürzte er sich in medias res und entwickelte ein Modell zur Erhebung der Qualität im Kühlgeräterecycling. Dieses angesammelte Knowhow ist heute in der EN50625-x integriert und lebt als Industriestandard weiter.

## Weiterentwickeln statt nur zu kontrollieren

Geri Hug war es immer ein Anliegen, die Recycler zu unterstützen in ihrem Anliegen, nicht nur Konformität zu erreichen, sondern sich stetig zu verbessern. Das «Kontinuierliche Verbessern (KVP)» liegt ihm als SGS-Auditor für ISO 14001 sozusagen im Blut. In hartnäckigen Diskussionen verfolgte er zielstrebig seine Werte, war aber auch zu Konzessionen bereit, wenn diese in die richtige Richtung weiterhalfen. Zusammen mit Christoph Becker (RAL-Gütesiegel) wurden viele Diskussionen geführt und beide schieben einander die Krone des Kühlgeräterecycling-Papstes zu. So hat es sich wohl auch im Mittelalter zugezogen, als in Konstantinopel und in Rom je ein Papst regierte. Es ist uns zu Ohren gekommen,

dass die beiden sich am Schluss richtig lieb gewonnen haben.

Nachfolgend ein Auszug aus der langen Geschichte des Kühlgeräterecyclings, welche er so sehr geprägt hat:

## Die Geschichte zur Sicherstellung eines umweltgerechten Recyclings von FCKW-haltigen Kühl- und Gefriergeräten

Ende 1991 suchte SENS nach Experten für die Entwicklung von Anforderungen für ein umweltgerechtes Recycling von Kühl- und Gefriergeräten. Da waren zum einen der Maschineningenieur Patrick Hofstetter (Büro für Analyse & Ökologie, heute WWF Schweiz), welcher im Rahmen seiner Masterarbeit eine Ökobilanz zur Rückgewinnung von Wert- und Schadstoffen, insbesondere FCKW aus Kühlgeräten, erarbeitete; zum anderen der Chemiker Erhard Hug (Roos+Partner AG, heute IPSO ECO AG), welcher im Auftrag eines Kühlgeräterecyclers und Stiftungsmitglieds der SENS weitere Wiederverwertungsmöglichkeiten von Polyurethanschaum aus Kühlgeräteeisolationen evaluierte. Die vom damaligen Geschäftsführer Dr. Robert Hediger (†) mandatierte ARGE Hofstetter/Hug hatte den Auftrag, ein Prüfkonzept zur Ermittlung der FCKW-Mengen aus den Kältemittelkreisläufen mit einem Gemisch aus Öl und FCKW (R12) einerseits und den Polyurethan-Isolationsschäumen (PU-Schäume) mit dem Treibmittel FCKW (R11) andererseits zu erarbeiten. Die Kombination der Kenntnisse über die Zusammensetzung der vom Markt zurück-



Geri Hug  
TK SENS, IPSO ECO AG

genommenen Kühl- und Gefriergeräte aus Haushalten, insbesondere über die Komplexität der enthaltenen PU-Schäume, war von Anfang an zielführend. Bei der praktischen Umsetzung des Konzeptes zeigte sich, dass die Entleerung der Kältemittelkreisläufe mit den sich bereits in Betrieb befindlichen Anlagen kaum Probleme machte, während einige Anlagen zur Behandlung der PU-Schäume an der Komplexität der gealterten PU-Struktur kläglich scheiterten. Bei SENS standen damals 5 Recyclingbetriebe unter Vertrag, 3 davon betrieben Anlagen des gescheiterten Typs, welche ersetzt werden mussten. In der Folge hatte die ARGE ein Routine-Prüfverfahren für die Ermittlung der Leistungsfähigkeit bezüglich FCKW-Rückgewinnung entwickelt und umgesetzt und so stets weitere Kenntnisse und Erfahrungen gesammelt.

1995 begann sich das deutsche Umweltbundesamt (UBA) für die Prüfmethode von SENS zu interessieren und publizierte schliesslich 1998 den rechtsverbindlichen «Leitfaden zur Entsorgung von Kühlgeräten», welcher sich stark am SENS-Standard orientierte.

Fast zur gleichen Zeit publizierte die RAL-Gütegemeinschaft Rückproduktion von FCKW-haltigen Kühlgeräten e.V. ihren entsprechenden Standard (in Kraft seit 1997), welcher ebenfalls auf den SENS-Grundlagen basierte. Er war den RAL-

«Über 30 Jahre hatten wir das lehrreiche Vergnügen, mit dir beruflich zusammenzuarbeiten. In dieser Zeit haben wir dich als strengen, aber fairen Auditor kennen und schätzen gelernt. Die Kühlgeräteeentsorgung in der Schweiz, in Europa und teilweise weltweit wurde durch deine konstruktiven und produktionsnahen Lösungsansätze geprägt und weiterentwickelt. In ewiger Erinnerung wird der gemeinsame Besuch bei einem Entsorger in Italien bleiben, welcher uns, mit grossem Stolz, seinen selbstoptimierten «Hugomat» präsentierte. Eine Anlage, die jederzeit deinen Ansprüchen an die Kühlgeräteeentsorgung gerecht sein soll. Ich könnte mir kein treffenderes Lob vorstellen als jenes eines Entsorgers, der seine Anlage nach dir benannte. Wir wünschen dir zum wohlverdienten Ruhestand alles Gute und viel Spass und Zufriedenheit in der neu gewonnenen Freizeit.»

Patrik Ganz, Kühlteg AG

Mitgliedern vorbehalten und fand deswegen keine allgemein verbreitete Akzeptanz, wurde aber in Österreich ins dortige Abfallgesetz übernommen.

2002 wurde das WEEE-Forum gegründet. Erhard Hug wurde als Repräsentant von SENS in die technischen Arbeitsgruppen für die Bearbeitung der E+E-Geräte delegiert. Aufgrund der Komplexität des Kühlgeräterecyclings hat sich eine kleinere Arbeitsgruppe mit Erhard Hug als Fachexperten zu diesem Thema abgekoppelt. Der SENS Standard für die Endbehandlung von FCKW-Geräten (neu VFC-Geräte, volatile fluorocarbons) wurde damit in über mehrere Jahre stattfindenden Sitzungen allen teilnehmenden Mitgliedsorganisationen bekannt gemacht.

Daneben konnte Erhard Hug für diverse europäische Auftraggeber bis 2006 bei insgesamt 14 Anlagen in 7 europäischen Ländern die Praktikabilität der Standardanforderungen unter Beweis stellen. Bis zu diesem Zeitpunkt mussten jeweils nur VFC-haltige Geräte für die Leistungstests bereitgestellt werden, was durch die zunehmende Durchmischung mit VHC-geschäumten Geräten (volatile hydrocarbons) erschwert wurde. Um ein Sortieren der Geräte zu vermeiden, wurde die ursprüngliche Methodik von SENS von Erhard Hug und Niklaus Renner (beide IPSO ECO AG) mit VFC- und VHC-Rückgewinnungswerten erweitert. Damit konnte die Leistung von Systemen

mit gemischten VFC- und VHC-Geräten im Normalbetrieb bewertet werden.

Dagegen entwickelte sich rasch grosser Widerstand, war man doch der Meinung, dass VHC-Geräte keine Kälte- und Treibmittel mit hohem Ozonabbaupotenzial enthalten und damit nicht mehr über die gekapselten Anlagen verarbeitet werden müssten. Dieser Standpunkt sollte von der gesamten Branche in Europa (EERA, WEEE-Forum und CECED) in einem gemeinsamen Standard ausschliesslich für VHC-Geräte 2006 manifestiert werden, was in europäischen Gremien als Erfolg bezeichnet wurde. Ende 2007 folgte als Ergänzung die Publikation eines entsprechenden Standards für VFC-Geräte.

Das von SENS mitinitiierte WEEELABEX-Projekt innerhalb des WEEE-Forums hat vor allem den deutschen Herstellern gezeigt, dass sie als Land ohne Rücknahmesysteme abseits der Entwicklungen stehen. Flugs wurde von Bosch Haushaltgeräte eine Arbeitsgruppe ins Leben gerufen, um einen europäischen CENELEC-Standard für das Recyceln von Kühl- und Gefriergeräten zu entwickeln. Erste Vorgespräche fanden in einer kleinen Arbeitsgruppe in München statt, mit Jan Bellenberg (B/S/H), Christoph Becker (RAL) und Erhard Hug (SENS). Im Januar 2009 startete offiziell die Arbeit vom CENELEC Technical Committee 111X WG 4. Dies sollte für Hug und Becker die Gelegenheit werden, die gesamte Branche, insbesondere die Hersteller von Kühl- und Gefriergeräten, zu überzeugen, dass eine Triagierung von VFC- und VHC-Geräten in unterschiedliche Kanäle die erreichte Qualität der bestehenden VFC-Kanäle zunichtemachen würde, was im Widerspruch zur gesetzlich verankerten Herstellerverantwortung stand.

Im Rahmen dieser Arbeiten konnten Erhard Hug und Niklaus Renner aus den für SENS entwickelten Excel-Auswerte- und -Berechnungsformeln mathematische Beschreibungen der gesamten Prüf- und Auswerteverfahren für Tests in Stufe 1 und Stufe 2 niederschreiben. Während dieser Zeit leitete Erhard Hug 2010 das erste Auditoren Training in Isernia, Italien für angehende WEEELABEX-Auditoren aus ganz Europa.

Das Resultat der WG 4 vom TC 111X wurde 2012 im CENELEC-Standard EN 50574 publiziert.

Die darin formulierten Anforderungen waren so streng, dass die Vorhaben für eine Triagierung von VFC- und VHC-Geräten damit bald vom Tisch waren.

Im Rahmen eines EU-Mandates an CENELEC wurde dieser Standard erweitert und an die Systematik der EN 50625-x Serie 2017 angepasst.

Erhard Hug betreute während seiner gesamten Mitwirkungszeit von 1991 bis zu seiner Pensionierung 2019 nicht nur exklusiv die Kühl- und Gefriergeräte recycler, sondern auch die Mehrzahl der jeweiligen Leuchtmittel- und Haushaltgrossgeräte recycler in der deutschen Schweiz.

In der Schweiz hatte Erhard Hug den Ruf eines strengen, aber fairen Auditors, der auch bereit war, den Recyclern die notwendige Zeit zu gewähren, um Reparaturen, Anpassungen und Erweiterungen durchzuführen. Diesbezüglich wurden nicht nur die Recycler, sondern auch deren Anlagenlieferanten immer wieder herausgefordert, entsprechend wirksame technische Lösungen zu präsentieren.

Er wurde auch oft von Recyclern beauftragt, sie während der Beschaffung von Neuanlagen zu begleiten, mit dem Ziel, dass die Anbieter von Anfang an die strengen Anforderungen kannten. Damit konnte verhindert werden, dass – wie damals 1990 – Anlagen beschafft wurden, welche die Anforderungen offensichtlich nicht erfüllen konnten.

**SENS und Swico danken Geri Hug an dieser Stelle für die geleistete wertvolle Arbeit und wünschen ihm viele genussreiche Erlebnisse im kommenden Lebensabschnitt.**



**Anahide Bondolfi**  
TK SENS, Abeco GmbH

Anahide Bondolfi schloss ihren Bachelor in Biologie sowie einen Master in Umweltnaturwissenschaften an der Universität Lausanne ab. Ihre Tätigkeit im Bereich Elektronikschrott begann sie 2006 während ihrer Masterarbeit in Südafrika, in Zusammenarbeit mit der Empa. Danach arbeitete sie fast 10 Jahre lang als Umweltberaterin und Projektmanagerin in 2 Schweizer Umweltberatungsfirmen, zuerst bei LeBird in Prilly und dann bei Sofies in Genf. Im Januar 2017 gründete sie die Abeco Sàrl. Seit 2015 ist sie Mitglied der Technischen Kommission von Swico/SENS. Sie führt beinahe die Hälfte aller Audits der Zerlegebetriebe von Swico und SENS durch. Seit 2016 auditiert Anahide Bondolfi auch mehrere SENS Recycler und Sammelstellen.



**Heinz Böni**  
Leiter Swico Konformitätsbewertungsstelle SN EN 50625, Empa

Nach der Ausbildung zum dipl. Kulturingenieur an der ETH Zürich sowie einem Nachdiplomstudium in Siedlungswasserbau und Gewässerschutz (NDS/EAWAG) arbeitete Heinz Böni als wissenschaftlicher Mitarbeiter bei der Eawag Dübendorf. Nachdem er Projektleiter am ORL-Institut der ETH Zürich und bei der UNICEF in Nepal gewesen war, übernahm Heinz Böni die Geschäftsführung des Büros der Kies und Abfall AG in St. Gallen. Danach war er mehrere Jahre Mitinhaber und Geschäftsführer der Ecopartner GmbH in St. Gallen. Seit 2001 ist er an der Empa und leitet dort die Gruppe CARE (Critical Materials and Resource Efficiency). Seit 2007 ist er Kontrollexperte von Swico und seit 2009 Leiter der Technischen Kontrollstelle von Swico Recycling.



**Stefanie Conrad**  
TK SENS, Carbotech AG

Stefanie Conrad schloss ihren Master in Umweltnaturwissenschaften an der ETH Zürich mit Schwerpunkt Biogeochemie und Schadstoffdynamik ab. Danach arbeitete sie an Umweltprojekten mit Schwerpunkt auf Altlastensanierung und Dekontamination, Gebäudeschadstoffe und Umwelt-Due-Diligence. Seit 2020 arbeitet sie in der Abteilung Umweltberatung der Firma Carbotech AG im Bereich Ökobilanzen und Audits und seit Januar 2021 ist sie Mitglied der TK SENS/Swico und Auditorin für Zerlegebetriebe und Sammelstellen von SENS und Swico.



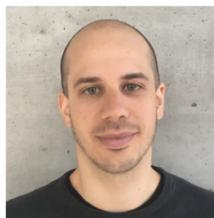
**Flora Conte**  
TK SENS, Carbotech AG

Flora Conte schloss ihren Master in Umweltnaturwissenschaften an der ETH Zürich mit Schwerpunkt Biogeochemie und Schadstoffdynamik ab. Seit 2013 arbeitet sie in der Abteilung Umweltberatung der Firma Carbotech AG. Sie leitet verschiedene Projekte auf nationaler und internationaler Ebene in den Bereichen erneuerbare Energien, Recycling oder Entrepreneurship. Seit 2015 ist sie Mitglied der TK SENS/Swico und Auditorin für Zerlegebetriebe und Sammelstellen von SENS und Swico. Seit 2016 auditiert Flora Conte SENS Recycler. Sie ist nicht nur als Umweltberaterin tätig, sondern engagiert sich auch in einer Non-Profit-Organisation für den Zugang zu Solarenergie in Entwicklungsländern.



**Roman Eppenberger**  
Leiter Technische Kontrolle SENS, Leiter Technologie und Qualität bei SENS

Roman Eppenberger schloss sein Studium als Dipl. El.-Ing. an der ETH Zürich ab. Berufsbegleitend absolvierte er das Nachdiplomstudium Executive MBA an der Fachhochschule Ostschweiz. Die ersten Industrieerfahrungen machte er als Ingenieur und Projektleiter in der Branche Robotik für Medizin und Pharmazie. Als Produktmanager wechselte er in den Contactless-Bereich der Firma Legic (Kaba), wo er für den weltweiten Einkauf der Halbleiterprodukte verantwortlich war. Seit 2012 ist Roman Eppenberger bei der Stiftung SENS als Geschäftsleitungsmitglied angestellt und verantwortet den Bereich Technologie und Qualität. In dieser Funktion koordiniert er zusammen mit Heinz Böni die TK SENS/Swico.



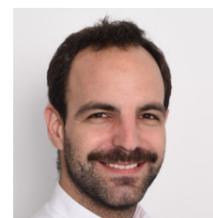
**Michael Gasser**  
TK Swico, Michael Gasser Consulting

Michael Gasser schloss seinen Master in Umweltnaturwissenschaften an der ETH Zürich ab. Er begann seine Tätigkeit zu Elektroschrott 2014 für ein Empa-Projekt in Indien, wo er später auch für die TK Swico als Auditor tätig war und verschiedene Projekte im Bereich Recycling unterstützte und leitete. Seine Expertise umfasst insbesondere den Aufbau und die Überwachung von Recyclingsystemen in der Schweiz und in Entwicklungs- und Schwellenländern sowie die Verwertung von Kunststoffen. Seit 2021 führt Michael Gasser die jährlichen Stoffflusskontrollen als selbstständiger Berater weiter.



**Roger Gnos**  
Technische Kontrolle, Gefahrgutbeauftragter Swico und TK-Mitglied

Roger Gnos ist seit 1991 im Recycling verwurzelt und erlebte und gestaltete die Entwicklung im Elektroaltgeräte recycling tatkräftig mit. Fast 20 Jahre war er als Betriebsleiter in einem E-Waste-verarbeitenden Betrieb tätig, seit 10 Jahren ist er bei Swico Recycling für die Beratung der Sammelstellen tätig. 2019 arbeitete er an der Lancierung des Swico Innovationsfonds mit und amtiert seither als Vorsitzender des Beirates. Ihn fasziniert die Technik, aber auch die Menschen, welche hinter dem Recycling stehen.



**Charles Marmy**  
Swico Konformitätsbewertungsstelle SN EN 50625, Empa

Nach seinem Studium der Umweltingenieurwissenschaften an der ETH Lausanne begann Charles Marmy 2016 seinen beruflichen Werdegang in einem Beratungsingenieurbüro in der Westschweiz. Dort war er zunächst als Mitarbeiter, später als Projektleiter von verschiedenen Projekten im Umweltbereich tätig. Sein besonderes Augenmerk galt dem Abfallmanagement und der Problematik der Endlagerung sowie den institutionellen und finanziellen Aspekten der Abfallwirtschaft in der Schweiz und im Ausland. Seit 2020 arbeitet er im Departement Technologie und Gesellschaft der Empa, wo er an Projekten im Bereich angewandter Forschung beteiligt ist bzw. sie durchführt. Auch hier bleibt das Abfallmanagement sein Fachgebiet, jetzt unter dem Aspekt der Kreislaufwirtschaft und dem Recycling seltener Metalle, die aus Batterien und Elektroschrott wiedergewonnen werden. Er ist Mitglied der TK SENS/Swico und führt seit 2021 Audits der Swico Recycler durch.



**Niklaus Renner**  
TK SENS, IPSO ECO AG

Nach Abschluss seines Studiums an der Musikhochschule Luzern studierte Niklaus Renner Umweltnaturwissenschaften an der ETH Zürich. Seit 2007 ist er bei der IPSO ECO AG in Rothenburg (ehemals Roos + Partner AG, Luzern) tätig. Er befasst sich mit den Themenfeldern Altlasten, Bodenschutz sowie der Umweltverträglichkeit verschiedener verwertungstechnischer Verfahren und berät Unternehmen in Fragen ihrer Umweltrechtskonformität. Zusammen mit Dr. Erhard Hug entwickelte er das mathematische Bewertungsmodell für den europäischen Kühlgeräterecyclingstandard CENELEC EN 50625-2-3. Seit 2017 ist Niklaus Renner Mitglied der Technischen Kommission von SENS und Auditor für Recyclingbetriebe. Zu seinem Spezialgebiet gehören Audits und Anlagenleistungstests bei Kühlgeräterecyclingfirmen.



**Daniel Savi**  
TK SENS, Büro für Umweltchemie

Sein Diplom als Umweltnaturwissenschaftler erhielt Daniel Savi an der ETH Zürich. Nach dem Studium war er bei SENS als Leiter des Bereichs Sammelstellen und darauf als Leiter Qualitätssicherung tätig. Nach 7 Jahren wechselte er als wissenschaftlicher Mitarbeiter zum Büro für Umweltchemie. Seit 2015 ist er Mitinhaber und Geschäftsleiter des Büros für Umweltchemie GmbH. Er beschäftigt sich mit den Gesundheitsgefahren und den Auswirkungen der Bautätigkeit und der Abfallverwertung auf die Umwelt.



**Rolf Widmer**  
Swico Konformitätsbewertungsstelle SN EN 50625, Empa

Rolf Widmer schloss sein Studium als Dipl. El.-Ing. (MSc ETH EE) sowie sein Nachdiplomstudium NADEL (MAS) an der ETH in Zürich ab. Er forschte dort mehrere Jahre am Institut für Quantenelektronik an neuen Herstellungsprozessen für Halbleiterbauelemente. Heute arbeitet er am Technology & Society Lab der Empa, des Materialforschungsinstituts des ETH Bereichs. Zurzeit leitet Rolf Widmer etliche Projekte im Bereich des Elektroschrottmanagements und forscht in diesem Zusammenhang an geschlossenen Materialkreisläufen, z. B. für seltene Metalle oder problematische Kunststoffe und Gläser. Dabei umfasst E-Schrott zunehmend auch eingebettete E-Geräte für die Elektromobilität, Energiesysteme und Bauten. Er ist langjähriges Mitglied der TK Swico.



**Andreas Bill**  
Swico Konformitätsbewertungsstelle SN EN 50625, Empa

Andreas Bill schloss seinen Master in Energiemanagement und Nachhaltigkeit an der ETH Lausanne ab und sammelte anschliessend als Zivildienstleistender an der Empa erste Erfahrungen im Bereich Elektroschrott. Seit 2019 arbeitet er dort als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Technologie und Gesellschaft. Seine Kernaufgabe ist die Unterstützung von Projekten zum Aufbau von Elektroschrottrecyclingsystemen in Entwicklungs- und Schwellenländern. Er ist Mitglied der TK Swico und auditiert seit 2020 Swico Recycler.

## Internationale Links

➤ [www.weee-forum.org](http://www.weee-forum.org)

Das WEEE-Forum (Forum for Waste Electrical and Electronic Equipment) ist der europäische Verband von 36 Systemen zur Sammlung und zum Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten.

➤ [www.step-initiative.org](http://www.step-initiative.org)

Solving the E-waste Problem (StEP) ist eine internationale Initiative, der nicht nur wichtige Akteure aus den Bereichen Herstellung, Wiederverwendung und Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten angehören, sondern auch Regierungs- und internationale Organisationen. Drei UN-Organisationen sind Mitglied der Initiative.

➤ [www.basel.int](http://www.basel.int)

Das Basler Übereinkommen über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung (Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal) vom 22. März 1989 ist auch als Basler Konvention bekannt.

➤ [www.weee-europe.com](http://www.weee-europe.com)

Die WEEE Europe AG ist ein Zusammenschluss aus 19 europäischen Rücknahmesystemen und ermöglicht seit Januar 2015 Herstellern und anderen Marktteilnehmern die Erfüllung ihrer unterschiedlichen nationalen Pflichten aus einer Hand.

## Nationale Links

➤ [www.eRecycling.ch](http://www.eRecycling.ch)

➤ [www.swicorecycling.ch](http://www.swicorecycling.ch)

➤ [www.slrs.ch](http://www.slrs.ch)

➤ [www.swissrecycling.ch](http://www.swissrecycling.ch)

Swiss Recycling fördert als Dachorganisation die Interessen aller in der Separatsammlung tätigen Recycling-Organisationen in der Schweiz.

➤ [www.empa.ch/care](http://www.empa.ch/care)

Die Forschungsstelle des ETH-Bereichs für Materialwissenschaften und Technologie, Empa, ist seit Beginn der Recyclingaktivitäten von Swico im Jahre 1994 mit der Auditierung der Recyclingpartner beauftragt – als Konformitätsbewertungsstelle der Swico Recyclingpartner. Zuständig ist die Gruppe «CARE – Kritische Materialien und Ressourceneffizienz» unter der Leitung von Heinz Böni.

➤ [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch)

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) bietet auf seiner Website unter «Abfall» eine Reihe von weiterführenden Informationen und Nachrichten zum Thema Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten.

## Kantone mit delegiertem Vollzug

➤ [www.awel.zh.ch](http://www.awel.zh.ch)

Auf der Website des Amtes für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) finden sich unter «Abfall, Rohstoffe & Altlasten» zahlreiche Informationen, die für das Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten von direkter Bedeutung sind.

➤ [www.ag.ch/bvu](http://www.ag.ch/bvu)

Die Website des Departements Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau bietet unter «Umwelt, Natur & Landschaft» weiterführende Informationen, die auch die Themen Recycling und Verwertung von Rohstoffen betreffen.

➤ [www.umwelt.tg.ch](http://www.umwelt.tg.ch)

Auf der Website des Amtes für Umwelt des Kantons Thurgau finden sich unter «Abfall» die regional relevanten Informationen zum Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten.

➤ [www.afu.sg.ch](http://www.afu.sg.ch)

Auf der Website des Amtes für Umwelt und Energie St. Gallen finden sich allgemeine Infos, Merkblätter zu einzelnen Themen und unter «UmweltInfos» und «UmweltFacts» Informationen zu aktuellen Themen.

➤ [www.ar.ch/afu](http://www.ar.ch/afu)

Auf der Website des Amtes für Umwelt Appenzell Auser rhoden finden sich allgemeine Infos und Publikationen zu einzelnen Themen rund um das Thema Umwelt.

➤ [www.interkantlab.ch](http://www.interkantlab.ch)

Die Website des interkantonalen Labors des Kantons Schaffhausen bietet unter «Informationen zu bestimmten Abfällen» weiterführende Auskünfte zum Thema Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten.

➤ [www.umwelt.bl.ch](http://www.umwelt.bl.ch)

Auf der Website des Amtes für Umweltschutz und Energie (AUE) des Kantons Basel-Landschaft finden sich unter «Abfall/Kontrollpflichtige Abfälle/Elektroschrott» Informationen zum Recycling und zur Verwertung von Rohstoffen in elektrischen und elektronischen Geräten.

➤ [www.zg.ch/afu](http://www.zg.ch/afu)

Auf der Website des Amtes für Umweltschutz des Kantons Zug findet man unter «Abfallwirtschaft» allgemeine Informationen und Merkblätter zum Thema Abfall. Detaillierte Informationen zur Sammlung der einzelnen Wertstofffraktionen findet man beim Zweckverband der Zuger Einwohnergemeinden für die Bewirtschaftung von Abfällen (ZEBA) unter [➤ www.zebazug.ch](http://www.zebazug.ch).

## Kontakte

## Swico

Lagerstrasse 33  
8004 Zürich  
Telefon +41 44 446 90 94  
✉ [info@swicorecycling.ch](mailto:info@swicorecycling.ch)  
➤ [www.swicorecycling.ch](http://www.swicorecycling.ch)

## Stiftung SENS

Obstgartenstrasse 28  
8006 Zürich  
Telefon +41 43 255 20 00  
✉ [info@eRecycling.ch](mailto:info@eRecycling.ch)  
➤ [www.eRecycling.ch](http://www.eRecycling.ch)

## Stiftung Licht Recycling Schweiz (SLRS)

Altenbergstrasse 29  
Postfach 686  
3000 Bern 8  
Telefon +41 31 313 88 12  
✉ [info@slrs.ch](mailto:info@slrs.ch)  
➤ [www.slrs.ch](http://www.slrs.ch)

## SENS Konformitätsbewertungsstelle

**EN SN 50625 Serie**  
Koordination TK SENS  
Roman Eppenberger  
Obstgartenstrasse 28  
8006 Zürich  
Telefon +41 43 255 20 09  
✉ [roman.eppenberger@sens.ch](mailto:roman.eppenberger@sens.ch)

## Swico Konformitätsbewertungsstelle

**EN SN 50625 Serie**  
**Technische Kontrollstelle Swico**  
c/o Empa  
Heinz Böni  
Abteilung Technologie und Gesellschaft  
Lerchenfeldstrasse 5  
9014 St. Gallen  
Telefon +41 58 765 78 58  
✉ [heinz.boeni@empa.ch](mailto:heinz.boeni@empa.ch)

➔ [Anfang](#)

## Impressum

## Herausgeberin

Swico,  
Stiftung SENS,  
Stiftung Licht Recycling Schweiz (SLRS)

Der Fachbericht erscheint auf Deutsch, Englisch und Französisch und ist unter [➤ www.swicorecycling.ch](http://www.swicorecycling.ch), [➤ www.eRecycling.ch](http://www.eRecycling.ch) und [➤ www.slrs.ch](http://www.slrs.ch) als Online-Publikation sowie als PDF downloadbar.

## Konzept, Grafik:

Lovey Wymann, Swico  
➤ [Tabea Guhl](#), [Thomas Schicker](#)

© 2021 Swico, SENS, SLRS

Teilen (auch auszugsweise) ausdrücklich erwünscht mit Quellenangabe und Belegexemplar an Swico, SENS, SLRS