

**SENS  
Swico  
SLRS**

# **Fach- bericht 2016**

- 4** Porträt Recyclingsysteme
- 6** Technische Kommission
- 7** Europäische E-Waste-Norm
- 10** Ökobilanz SENS
- 14** Mengen
- 17** Preisinsel Schweiz
- 20** Lithium-Ionen-Batterien
- 22** Zehn Jahre Leuchtmittelrecycling
- 25** PCB-haltige Kondensatoren
- 27** Photovoltaikmodulrecycling
- 30** Batchversuche Swico
- 32** Kühlgeräte
- 34** Bildröhrengeräte
- 36** Autoren
- 39** Links und Adressen

# Achtung, fertig, umdenken!

«Frankenschock» ist das Finanzwort des Jahres 2015. Mit der unerwarteten Aufgabe des Euromindestkurses schockte die Nationalbank die Schweizer Wirtschaft gleich zu Jahresbeginn und läutete ein Jahr voller Herausforderungen ein. Auch an unserer Branche ging dieser einschneidende Richtungswechsel nicht spurlos vorbei. Die Rohstoffpreise bewegen sich bereits seit längerer Zeit nur in eine Richtung: nach unten – und der starke Franken verstärkte 2015 diesen Effekt zusätzlich.

Nicht ein Paukenschlag, sondern vielmehr die kontinuierliche Veränderung der politischen Landschaft in der Schweiz erfordert gerade in Sachen Umweltschutz neue Denkansätze. Die Empfehlung zur Ablehnung des Umweltschutzgesetzes (USG) sowie der Initiative «Grüne Wirtschaft» sind nur zwei Beispiele für diese Tendenz. Die Auswirkungen für die drei Rücknahmesysteme waren vor allem bei der Revision der VREG überraschend. So hat das BAFU die gemeinsam erarbeitete Finanzierungslösung völlig unerwartet vertagt, am Stand der Technik hingegen wurde intensiv und basierend auf dem europäischen Standard CENELEC (weiter)gearbeitet.

Umdenken bedeutet aber auch, Gewohntes zu hinterfragen. So zeigt die Ökobilanz des Haushaltgeräte-recyclings bemerkenswerte Zusammenhänge auf. Die Verhinderung von Schadstoffemissionen wirkt sich weitaus stärker auf den Umweltnutzen aus als das Recycling von Wertstoffen. Das starke Augenmerk auf die Wertstoffe muss also hier zugunsten einer neuen Sichtweise kritisch hinterfragt werden.

In gewissem Sinn überraschen ebenfalls die Ergebnisse der von Swico, Stiftung Licht Recycling Schweiz (SLRS) und SENS initiierten Studie «Preisinsel Schweiz». Ein fairer Kostenvergleich der Entsorgungsleistungen in der Schweiz mit ausgewählten europäischen Ländern ist aufgrund der geringfügig aggregierten Länderdaten schwierig. Die Erläuterungen zu den mehrheitlich erklärten Unterschieden sowie die Hinweise auf ein gewisses Optimierungspotenzial regen hingegen zum Umdenken an.

Neue Lösungen sind schliesslich bei der Lagerung und dem Transport von sogenannten Gefahrgütern gefragt. Die Schweiz hat das internationale ADR-Abkommen unterzeichnet, was sich insbesondere auf die Handhabung vor allem von EAG mit lithiumhaltigen Batterien auswirkt. Vertreter der Technischen Kommission Swico/SENS haben in enger Zusammenarbeit mit den Behörden an der Entwicklung praktikabler Richtlinien mitgearbeitet.

So unerwartet 2015 gewisse wirtschaftliche oder politische Entscheide und Tendenzen auch waren, so klar ist hierbei unsere Richtung. SENS, Swico und SLRS wollen ihre Vorreiterrolle im Bereich Entsorgung der Elektroaltgeräte weiter ausbauen. Hierfür ist eine starke Allianz der drei Systeme genauso wichtig wie die transparente Zusammenarbeit und der konstruktive Dialog mit unseren Systempartnern.



Heidi Luck, SENS



Jean-Marc Hensch, Swico



Silvia Schaller, SLRS

# Porträt Recyclingsysteme

## Stiftung SENS, Swico und SLRS: Kompetent und nachhaltig

# 134 000 t

ausgediente elektrische und elektronische Geräte wurden  
im Jahr 2015 von SENS, Swico und SLRS entsorgt.

**Seit über 20 Jahren stellen die drei Rücknahmesysteme SENS, Swico und SLRS die ressourceneffiziente Rücknahme und Wiederverwertung sowie die fachgerechte Entsorgung von elektrischen und elektronischen Geräten sicher. Die wachsenden Rücknahmemengen zeugen vom Erfolg der Arbeit der drei Systeme.**

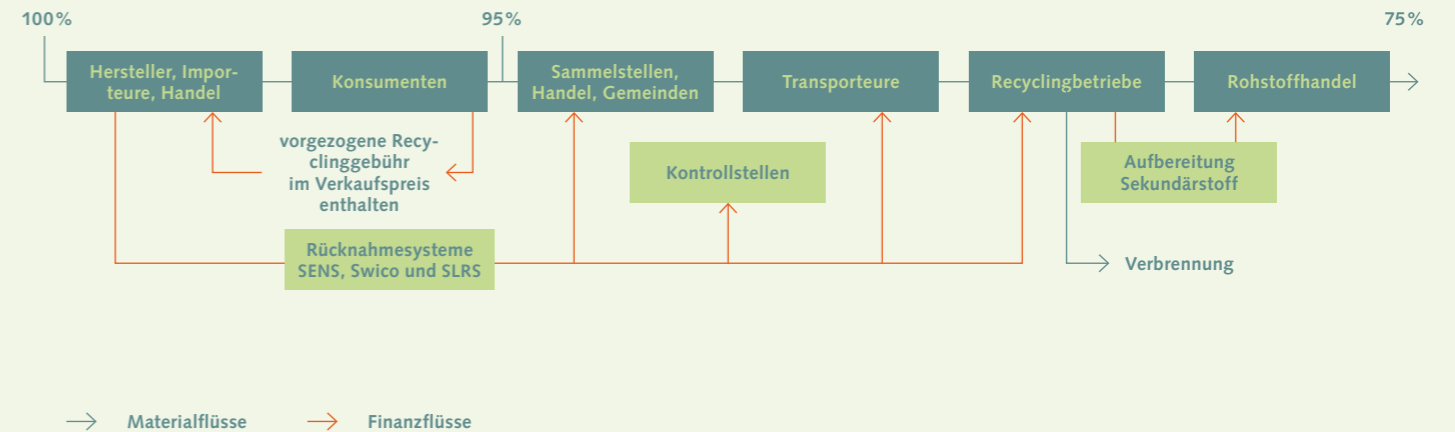
In der Schweiz existieren drei Rücknahmesysteme im Bereich Elektro- und Elektronikgeräte. Die Aufteilung auf drei Systeme hat historische Gründe, da in den Anfangsjahren des institutionalisierten Recyclings branchenspezifische Systeme aufgebaut wurden. Diese hatten zum Zweck, die Nähe zur jeweiligen 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 die Stiftung SENS, Swico oder die Stiftung Licht Recycling Schweiz (SLRS) für die Rücknahme zuständig.

Im Jahr 2015 wurden von den drei Systemen rund 134 000 Tonnen<sup>1</sup> ausgediente elektrische und elektronische Geräte entsorgt. Damit haben die Stiftung SENS, Swico und SLRS auch bedeutend dazu beigetragen, dass wertvolle Ressourcen wieder in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden konnten. Mit der internationalen Vernetzung der drei Organisationen auf europäischer Ebene – beispielsweise im Falle von SENS und Swico 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, gratis zurückzunehmen. Um ein nachhaltiges und umweltbewusstes Recycling von elektronischen und elektrischen 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 die Stiftung SENS, Swico und SLRS der fachgerechten Bearbeitung ihres jeweiligen Gerätebereichs annehmen sowie den Herausforderungen der Zukunft stellen können.

### Die Rücknahmesysteme im Überblick



#### Stiftung SENS

Die Stiftung SENS ist eine unabhängige, neutrale und nicht gewinnorientierte Stiftung und tritt gegen aussen mit der Marke SENS eRecycling auf. Ihr Fokus liegt auf der Rücknahme, der Wiederverwertung und der Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten der Bereiche Haushaltklein- und Haushaltgrossgeräte, Bau-, Garten- und Hobbygeräte sowie Spielwaren. Dazu arbeitet die Stiftung 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 Stiftung SENS dafür ein, dass das Recycling dieser Geräte im Einklang mit ökonomischen und ökologischen Grundsätzen stattfindet.

#### 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 Medizintechnik, wie beispielsweise Kopierer, Drucker, Fernsehapparate, MP3-Player, Handys, Fotokameras usw. Eine enge

Zusammenarbeit mit der 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.

#### Stiftung Licht Recycling Schweiz (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 Marktteilnehmer 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.

<sup>1</sup>Es handelt sich um die Menge gemäss den Stoffflussmeldungen der Recyclingbetriebe. Diese ist nicht gleichbedeutend mit der abgerechneten Menge gemäss den Geschäfts- bzw. Jahresberichten von SENS und Swico.

## Pilotauditierung nach CENELEC 50625

Roman Eppenberger & Heinz Böni

**Die Tätigkeit der Technischen Kommission stand 2015 klar im Zeichen der Umsetzung des CENELEC-Standards. Bald werden die letzten Dokumente der CENELEC-EN-50625-Normenserie verfügbar sein, und der CENELEC-Standard wird in Europa als Stand der Technik festgelegt werden. Ihren Ursprung hat diese Normenserie im WEEE-Labex-Standard, welcher seinerseits aus den technischen Vorschriften von SENS und Swico heraus entstanden ist. Des Weiteren konnte die Nachfolge für die Kontrolle der Zerlegebetriebe geregelt werden, und vier weitere Kantone haben sich für den delegierten Vollzug entschieden.**

Im Februar 2015 wurden alle Recyclingpartner von SENS und Swico mit einem Schreiben über wichtige Informationen zum Jahreswechsel informiert. Das Dauerthema Lithium-Ionen-Batterien bleibt auf der Agenda, und die Arbeitsgruppe ist weiterhin mit der Ausarbeitung von Anweisungen zum sorgsamem Umgang mit Lithium-Ionen-Batterie-haltigen Geräten beschäftigt. Die Swico-Batchversuche wurden erstmals mit konfektionierten und damit gleichen Inputmengen durchgeführt, um die Leistungen der beauftragten Recycler einerseits besser mit den Recycling- und Verwertungsquoten, andererseits aber auch untereinander vergleichen zu können.

Mit Baselland, Appenzell Ausserrhoden, Schaffhausen und Zug haben vier weitere Kantone die Kantonsvereinbarung über den delegierten Vollzug unterzeichnet. Damit haben sich aktuell insgesamt acht Kantone (bereits dabei waren Aargau, Zürich, St. Gallen und Thurgau) der Vereinbarung angeschlossen.



Die Pilotaudits umfassten insgesamt sieben Betriebe. Alle Kontrollexperten waren mindestens einmal Lead-Auditor,

womit die unterschiedlichen Erfahrungen zusammengebracht werden konnten. Zwei Audits wurden auch von Vertretern der kantonalen Umweltbehörden begleitet. Sie konnten aktiv an diesem Pilotversuch teilnehmen und sich vom hohen Detaillierungsgrad und dem intensiven Aufwand unserer Kontrollen überzeugen.

Die Nachfolge für die Kontrolle der Zerlegebetriebe ab März konnte sichergestellt werden. Silvan Rüttimann hat seine Aufgaben an Flora Conte von Carbotech AG, Zürich, und Anahide Bondolfi von SOFIES SA, Genf, in weibliche Hände übergeben. Beide Frauen sprechen perfekt Französisch und Deutsch, was eine zwingende Anforderung seitens der Systeme war, um die Aufgaben in der französischsprachigen Schweiz breiter abgestützt wahrzunehmen.

Vor dem Hintergrund der aktuell sehr tiefen Rohstoffpreise hat sich die Technische Kommission im Herbst an der jährlichen Weiterbildung des Themas Metall und Schrott angenommen. Der Besuch der Swiss Steel AG in Emmenbrücke (einem der zwei Stahlwerke in der Schweiz) gab einen interessanten Einblick in eine hocheffiziente Anlage auf höchstem Niveau. Im Gespräch mit dem Leiter der strategischen Beschaffung, Daniel Jung, konnten die Kontrollexperten die anstehenden Herausforderungen der Metallrecyclingbranche diskutieren.

## Die sportliche Umsetzung der EN 50625 in der Schweiz

Ueli Kasser & Heinz Böni

**Ende 2014 haben die Stiftungen SENS und Swico entschieden, die Europäische Normenserie EN 50625 zu Sammlung, Logistik und Behandlung von elektrischen und elektronischen Altgeräten auch in der Schweiz verbindlich umzusetzen. Die Leistungen der Vertragspartner sollen am europäischen Stand der Technik gemessen werden. Das bedingt gewisse, v. a. formale Anpassungen bei den Betriebskontrollen, die im vergangenen Jahr als Pilot erprobt und dieses Jahr verbessert bzw. vertieft werden. Ab 2017 soll die neue Konformitätsbeurteilung nach EN 50625 definitiv in allen Betrieben eingeführt werden.**

Dem anspruchsvollen Prinzip «gleich lange Spiesse für jeden Recycler» will die Technische Kommission Swico/SENS auch weiterhin treu bleiben. Ab 2017 werden jedoch diese Spiesse an der Europäischen Norm EN 50625 gemessen. Sie soll, wenn alles nach Plan verläuft, in allen EU-Staaten ab 2018 oder 2019 verbindlich als Stand der Technik in der überarbeiteten WEEE-Direktive vorgegeben werden.

### Mehr oder weniger abgeschlossen

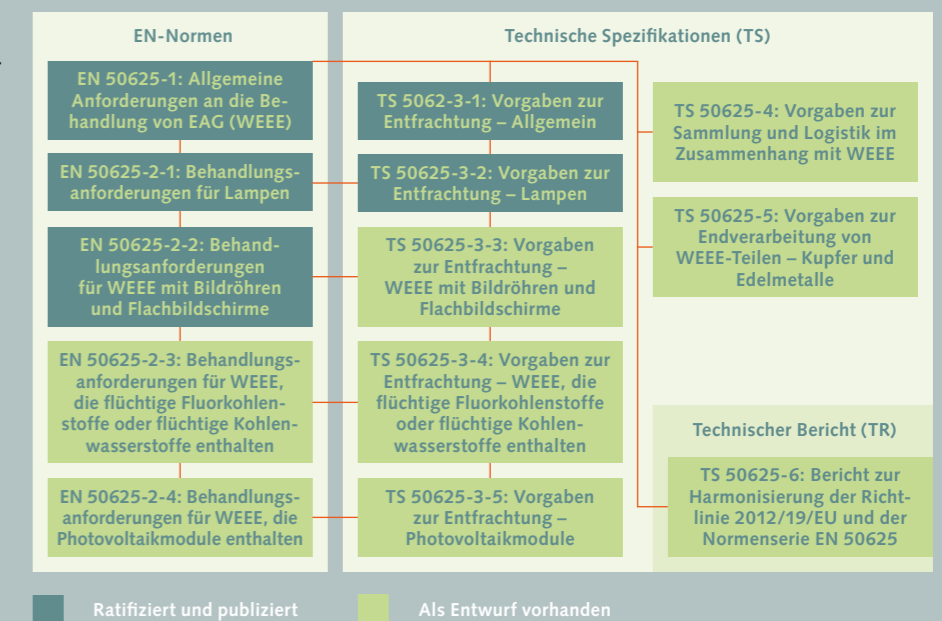
Das europäische Normenwerk ist weit fortgeschritten (Abbildung 1). Es besteht aus einer Hauptnorm, die für alle Betriebe gilt, sowie aus zusätzlichen Normen für die auf Leuchtmittel, Bildschirme, Kühlgeräte und Photovoltaikmodule spezialisierten Recyclingbetriebe. Zu den eigentlichen Normen (EN-Dokumente) gibt es sieben technische

Spezifikationen (TS-Dokumente), die die Grenzwerte enthalten und Details wie Probenahmen und Analyseverfahren festlegen. Die technischen Spezifikationen lassen sich leichter und öfter (im Dreijahresrhythmus) überarbeiten. Sie sind weniger anspruchsvoll in Bezug auf den Vernehmlassungs- und Entscheidungsprozess in der europäischen Normenkommission. Die Hauptnorm, welche für alle Recyclingbetriebe für EAG gilt, zwei Spezialnormen für Lampen und Bildschirmgeräte sowie zwei technische Spezifikationen sind bereits publiziert<sup>1</sup>. Alle anderen geplanten Teilnormen (Abbildung 2) und die noch fehlenden technischen Spezifikationen stehen in Form von fortgeschrittenen Entwürfen zur Verfügung.

### Keine grossen Veränderungen in der Schweiz

Wie bereits in den beiden letzten Fachberichten 2014 und 2015 im Detail aufgezeigt, sind die substanziellen Unterschiede zwischen den europäischen Normen und den technischen Vorschriften, wie sie SENS und Swico entwickelt haben, gering. Schliesslich stammt die Initiative für europäische Normen auch aus der Schweiz. Dies zu einem Zeitpunkt, als die meisten Rücknahmesysteme in Europa noch mit dem Aufbau der organisatorischen Strukturen beschäftigt waren. Die Hauptleistungen sind die gleichen: Ein Recycler muss nachweisen können, dass er die Schadstoffentfrachtung korrekt durchführt und seine Technologie auf die Erfüllung

Abbildung 1: EN-50625-Serie – Sammlung, Logistik und Behandlung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten (WEEE)



der – seit kurzem Kurzem – Recyclingquoten ausrichtet.<sup>2</sup> Die Leistungen müssen im Wesentlichen anhand eines Batches (in der Normensprache «Testchargenverarbeitung») regelmässig nachgewiesen werden. Dabei muss sichergestellt werden, dass die Bedingungen während der Durchführung des Batches dem «Daily Business» des ganzen Jahres entsprechen.

### Lehrreiche Pilotphase

Die Unterschiede zwischen der Schweiz und Europa sind mehr formaler Art. Dabei wurden zwischen der germanischen Gründlichkeit und der lateinischen Lockerheit oft gute Kompromisse gefunden. Das europäische Normenwerk ist konsequenter aufgebaut, systematischer gegliedert und vollständiger. Die Protokollvorlage von SENS und Swico, die seit fast zehn Jahren in der Schweiz für die Audits verwendet wurde, musste der EN-Norm angepasst werden. Ein erster Entwurf der Protokollvorlage wurde Anfang 2015 erarbeitet und im Rahmen einer Pilotphase bei sieben schweizerischen Recyclingbetrieben getestet (Tabelle 1). Die Erfahrungen waren durchaus einheitlich: Der erste Entwurf war zu umfangreich und detailliert, die Audits nach CENELEC dauerten neun bis zehn Stunden, und für die Beobachtungen und Kontrollen im Betrieb blieb zu wenig Zeit. Die

meisten Vertreter der Kantone, mit denen eine Vereinbarung für den delegierten Vollzug besteht, äusserten sich positiv, namentlich zu Umfang und Ausführlichkeit der Protokollvorlage. Es wurde jedoch auch klar, dass es nicht einfach sein würde, die Erwartungen und Anforderungen der kantonalen Umweltschutzämter mit der umfangreichen Auditierung nach CENELEC in Einklang zu bringen.

### Abspecken und Fokussieren

Die Technische Kommission Swico/SENS hat Ende September 2015 während eines ganzen Tages die Erfahrungen mit der neuen Protokollvorlage ausgewertet und folgende Änderungen beschlossen:

- Es wird in Analogie zu anderen Konformitätsbewertungssystemen alle drei Jahre zwischen Erst- und Wiederholaudit unterschieden. Dazwischen wird jedes Jahr ein Überwachungsaudit durchgeführt, welches sich auf die spezifischen Leistungen der Behandlung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten EAG und die visuellen Kontrollen im Betrieb konzentriert. Der Nachweis der Rechtskonformität und die betriebspezifische Risikoanalyse mit den entsprechenden Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen werden

während der Überwachungsaudits nur noch stichprobenweise nach Bedarf auditiert.

- ISO-14001-zertifizierte Betriebe – das ist die grosse Mehrheit der schweizerischen Recycler – werden in den Bereichen Rechtskonformität, kontinuierliche Verbesserung und interne Schulung nur noch stichprobenweise überprüft.
- Eher bürokratische Informationen wie die Liste der eingesehenen Dokumente oder der bewilligten Abfallcodes, die man unter VeVA-online.ch einsehen kann, werden aus dem Protokoll gestrichen.

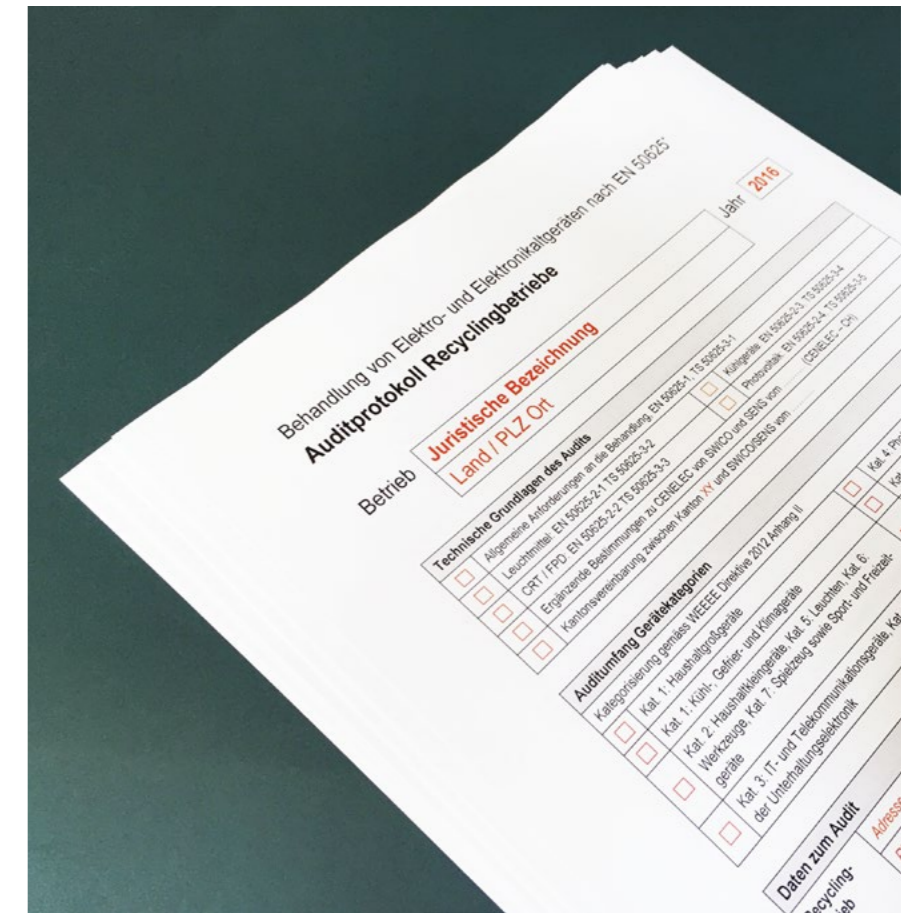
Anhand dieser Beschlüsse und zahlreicher Detailverbesserungen wurde der zweite Entwurf einer Protokollvorlage für die Konformitätsbewertung nach EN 50625 erstellt (Tabelle 1). Dieser soll in diesem Jahr nochmals getestet werden, bevor er endgültig bereinigt und ab 2017 für alle Betriebe verbindlich angewendet wird. Darüber hinaus sind verschiedene andere Anpassungen an die Vorgaben der europäischen Norm durchzuführen.

Tabelle 1: Zeitplan der Umsetzung der EN-50625-Norm in der Schweiz

Aufgaben	2015					2016					2017				
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M
Recycler-Protokollvorlage	1. Entwurf		1. Pilotphase			Auswertung		2. Entwurf			2. Pilotphase			Abschluss	
Kühlgeräte-, Leuchtmittel- und PV-Modul-Recycler-Protokollvorlagen											Entwürfe		Abschluss		
Zerlegebetriebe-Protokollvorlage						Entwurf		Pilotphase			Abschluss				
Batch-Berichtsvorlage						1. Entwurf		Pilotphase			Abschluss				
Technische Fragen / CENELEC plus						Entwurf		Pilotphase			Abschluss				
Handbuch / Wegleitungen											Entwurf		Abschluss		

### Handbuch für Recycler zugänglich

Die Protokollvorlage für die Kontrolle der Zerlegebetriebe ist in Bearbeitung und soll auch im Rahmen der diesjährigen Pilotphase getestet werden. Sie wird schlanker und mehr nach dem Prinzip der Inspektion ausgelegt sein. Auch für die Leuchtmittel-, Kühlgeräte- und PV-Modulverarbeitung sind Protokollvorlagen zu erstellen, die auf die EN-Norm ausgerichtet sind und der Logik der allgemeinen Vorlage folgen. Neu ist schliesslich auch das Reporting zu den Batchversuchen, das in der europäischen Norm strenger geregelt ist. Gegen Ende dieses Jahres muss schliesslich noch das Handbuch für die Kontrollexperten angepasst werden. Es enthält verschiedene praktische Informationen, die zur Durchführung einheitlicher Kontrollen erforderlich sind. Dazu gehören Interpretationshilfen für einzelne Bestimmungen, exemplarische Beurteilungen gewisser Situationen in Betrieben, Beispiele von Nachweisen im Bereich Rechtskonformität, Beispiele von Fragen und Kriterien im Rahmen visueller Kontrollen im Betrieb sowie Zusammenfassungen von gesetzlichen Bestimmungen, die für Recyclingbetriebe relevant sein können. Schliesslich wird auch geregelt, wie Abweichungen von der Norm bezüglich Schweregrad zu beurteilen sind. Um mehr Transparenz zwischen Kontrollexperte und kontrolliertem Betrieb zu schaffen, soll das Handbuch ab 2017 auch den Recyclingbetrieben zur Verfügung stehen.



### Einige technische Hotspots

Die Gelegenheit der Umstellung von schweizerischen auf europäische Normen ist günstig, um immer wiederkehrende Themen neu und abschliessend zu klären und um sie bei allen Betrieben auch durchzusetzen. Dazu gehören:

- Soll die gemischte Verarbeitung mit Nicht-EAG-Abfällen zugelassen werden? Eine Interpretation der EN-Bestimmungen liesse dies unter gewissen Bedingungen zu.
- Bis zu welchem Ausmass kann das Zerstören von Kondensatoren und Batterien durch den Querstromspanner oder eine andere Vorzerkleinerungstechnologie toleriert werden, d. h. in welchem Masse muss eine manuelle Schadstoffentfrachtung vor einer ersten mechanischen Behandlungsstufe gefordert werden?

– Bis zu welchem Ausmass kann die Freisetzung der Leuchtschicht beim Zerstören, Lagern und Transportieren des Bildröhrenglasses toleriert werden?

– Welche Anforderungen sind an Kunststofffraktionen zu stellen, die in eine stoffliche Verwertung gehen, bei der das Entfernen der bromhaltigen Teile nicht garantiert ist (wie z.B. in China)?

Diese Fragen in allen Betrieben durch verschiedene Kontrollexperten gleich zu bewerten, ist eine grosse Herausforderung. Wenn die Umstellung auf die europäische Norm zur Klärung dieser Fragen beitragen kann, hat sich die Einführung in der Schweiz ab 2017 bereits gelohnt.

<sup>1</sup> EN 50625-1, EN 50625-2-1, EN 50625-2-2, TS 50625-3-1 und TS 50625-3-2 können bestellt werden unter [www.electrosuisse.ch](http://www.electrosuisse.ch)

<sup>2</sup> Gemäss WEEE-Direktive, auf die sich auch die technischen Vorschriften von SENS und Swico abgestützt haben, wurden die Recycling- und Verwertungsquoten ab August 2015 um je 5 % pro Gerätekategorie (ausser Leuchtmittel) erhöht.

# Verhinderung von Schadstoffemissionen entscheidend verantwortlich für den Umweltnutzen von SENS

Emil Franov

**Nicht die Rückgewinnung von Wertstoffen wie Eisen und Kupfer aus Elektrogeräten ist für den höchsten Umweltnutzen des Systems SENS über die letzten 25 Jahre verantwortlich, sondern das Separieren und kontrollierte Entsorgen von Schadstoffen. Dabei ist besonders das Umweltgift PCB, welches wie Dioxin zu den zwölf schädlichsten Umweltgiften gehört, relevant. PCB kommt insbesondere in Kondensatoren aus Vorschaltgeräten von Leuchten und aus Haushaltsgrossgeräten vor, welche deshalb weiterhin mit grösster Sorgfalt entfernt und fachgerecht entsorgt werden müssen. Das Vermeiden von Emissionen weiterer Schadstoffe wie FCKW, BFS und Quecksilber wird anteilmässig ebenfalls immer wichtiger, weil diese Schadstoffe später als PCB verboten wurden und ihr Gehalt in den Geräten somit weit weniger schnell abnehmen wird.**

Für das 25-Jahr-Jubiläum im Jahr 2015 liess SENS eine Ökobilanz erstellen, welche den Umweltnutzen von 25 Jahren Elektrogeräte-Recycling durch SENS und ihre Partner (Konsumenten, Hersteller/Importeure, Handel, Leistungspartner (Sammelstellen, Transporteure, Recycler) und Behörden) berechnete. Ergänzend wurden auch der Klimanutzen und die Mengen der wichtigsten zurückgewonnenen Materialien ausgewiesen.

Bevor die Stiftung SENS<sup>1</sup> 1990 gegründet wurde und ihre Tätigkeit aufnahm,

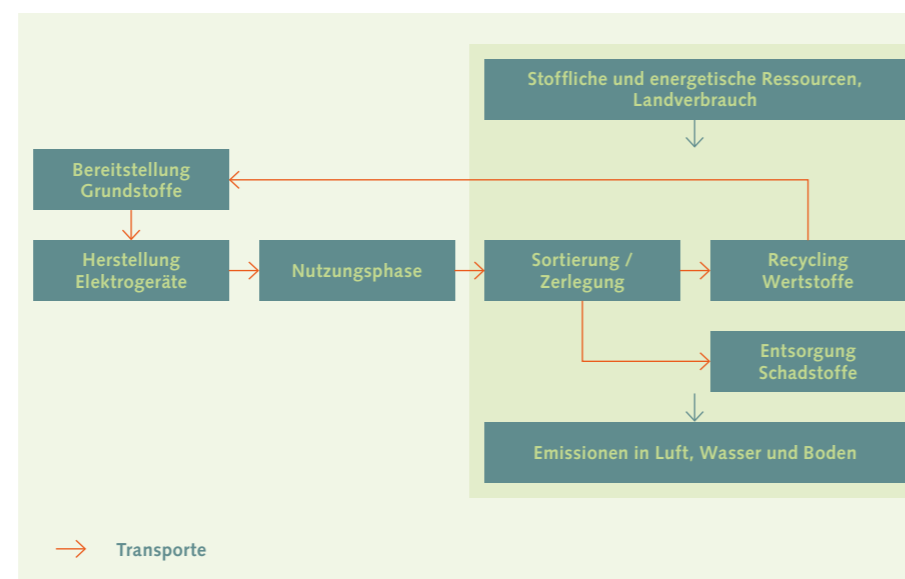
wurden kleine Elektroaltgeräte (EAG) meist mit dem Hausmüll entsorgt. Metallreiche Grossgeräte wie Waschmaschinen wurden teilweise über Betriebe entsorgt, die auf Metallrecycling spezialisiert waren. Keine Beachtung fanden jedoch die in den Geräten enthaltenen Schadstoffe. Erst internationale Einigungen wie der Beschluss über das mittelfristige Verbot ozonabbauender Stoffe (Montrealer Protokoll, 1988 in der Schweiz in Kraft gesetzt) lenkten den Fokus auf die Schadstoffe in Elektroaltgeräten. Mit dem Ziel, die in den Kühlgeräten enthaltenen ozonabbauenden Stoffe umweltgerecht zu entsorgen, richtete die SENS folglich als Erstes ein auf freiwilliger Basis beruhendes Sammel- und Entsorgungssystem ein. Mit dem Inkrafttreten der Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte (VREG) im Jahr 1998 wurde das SENS-System auf Elektroklein-

geräte (Küchen-, Garten-, Hobbygeräte, Spielwaren usw.) und Elektrogrossgeräte (Waschmaschinen, Backöfen usw.) ausgeweitet. In der Revision 2005 wurden schliesslich auch Leuchten und Leuchtmittel integriert.

Für die Entsorgung von Elektronikgeräten existiert ein separates System (von Swico<sup>2</sup>). Die VREG schreibt den Händlern/Importeuren die kostenlose Rücknahme und umweltverträgliche Entsorgung vor, wobei insbesondere die problematischen Stoffe fachgerecht entsorgt werden müssen. Die Stiftung SENS bietet diese Dienstleistung an.

## Wie wurde der Nutzen für die Umwelt berechnet?

Der Umweltnutzen ergibt sich aus der Differenz zwischen der Ökobilanz der SENS und der Ökobilanz des Basis-szenarios «ohne SENS» als Referenz. Die Umweltleistung des SENS-Systems



besteht somit aus dem über das Referenzszenario hinausgehenden Umweltnutzen. Die Systemgrenze kann der Abbildung unten links entnommen werden.

Die Datengrundlagen zu den verarbeiteten Gerätemengen, den erzeugten Wertstofffraktionen und den entfernten und fachgerecht entsorgten Schadstoffen stammen grösstenteils aus den jährlichen SENS-Statistiken. Für die Schadstoffe PCB und bromierte Flammschutzmittel (BFS) sind nur ältere, jahresspezifische Daten vorhanden (aus 2006 bzw. 2003), weshalb der Verlauf des Gehaltes dieser Schadstoffe in den Geräten für die Folgejahre extrapoliert werden musste.

Für die Bewertung der Wirkbilanz wurde die Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht und Büsser Knöpfel, 2013) verwendet. Die Bewertung mit Hilfe der Methode der ökologischen Knappheit wurde unter Mitarbeit des Bundesamts für Umwelt entwickelt und ist in der Schweiz etabliert. Diese Methode wurde einerseits gewählt, weil sie für die Bewertung sowohl die Umweltsituation wie auch die Umweltziele der Schweiz berücksichtigt und somit bezüglich Werthaltung breit abgestützt ist. Ein weiterer Grund war andererseits, dass diese Methode alle in dieser Ökobilanz enthaltenen wichtigen Umweltaspekte wie Emissionen von persistenten organischen Schadstoffen (POP) und Ressourcenverbrauch auch tatsächlich bewertet.

Als funktionelle Einheit wurde die Entsorgung der Menge von Kühl-, Gefrier-, Klima-, Elektrogross- und Elektroklein-geräten sowie Leuchtmitteln gewählt,

welche von 1990 bis 2015 über die Stiftung SENS gesammelt wurden.

## Das Referenzszenario der Schweiz ohne die SENS

Für das Szenario «ohne SENS» sind verschiedene Varianten denkbar: von «es wird gar nichts rezykliert und alles auf offenen Deponien gelagert oder verbrannt» bis «Umgang mit Elektrogeräteentsorgung unter Einhaltung bestehender Schweizer Gesetze». Für diese Studie wurde als Mittelweg ein möglichst realistisches «ohne SENS»-Szenario definiert, auch angelehnt an die Szenarien der Ecodom-Studie über den Klimanutzen des Elektrogeräte-Recyclings in Italien (ECODOM, 2008). Dabei gehen wir von folgenden Annahmen aus:

- Es werden gleich viele Geräte von den Konsumenten zum Rezyklieren zurückgegeben wie mit SENS.
- Die eine Hälfte der Elektrogeräte wird ökonomisch optimiert und ohne Beachtung von speziellen Umweltauflagen in unspezifischen Anlagen «verwertet», die andere Hälfte wird von spezialisierten Fachbetrieben verwertet, jedoch – aufgrund fehlender externer Kontrollen – mit tieferer Rückgewinnungsrate bei Schadstoffen.
- Für alle gesammelten Geräte gilt: Bei der ökonomischen Optimierung wird zur Hälfte Eisen/Stahl zurückgewonnen bei vollständiger Entweichung der Kältemittel, Treibmittel und Quecksilber. Sämtliche anderen Materialien werden entsorgt.

– Bei der anderen Hälfte werden alle Materialien zurückgewonnen wie unter SENS – 50% der Kältemittel, Treibmittel und Quecksilber entweichen in die Umwelt.

– Hinsichtlich PCB wurden folgende Annahmen getroffen, gestützt auf Messungen des PCB-Gehaltes von verschiedenen Fraktionen der Sortier- und Zerlegeprozesse (Morf und Taverna, 2004):

- 85% der PCB-Inputs befinden sich nach der Zerlegung im RESH<sup>3</sup>, welcher in einer KVA entsorgt wird. 15% befinden sich in Wertstoffen: Über kurz oder lang ist damit zu rechnen, dass dieser PCB-Anteil direkt in die Umwelt gelangt, sei dies bei der Aufbereitung zu Sekundärmaterialien oder während der Nutzungsphase. Vom PCB-Anteil, welcher in eine KVA gelangt, wurde aufgrund fehlender Daten angenommen, dass 90% vernichtet werden und 10% in die Umwelt gelangen.

- Insgesamt gelangen somit 24% des PCB-Inputs in die Umwelt.

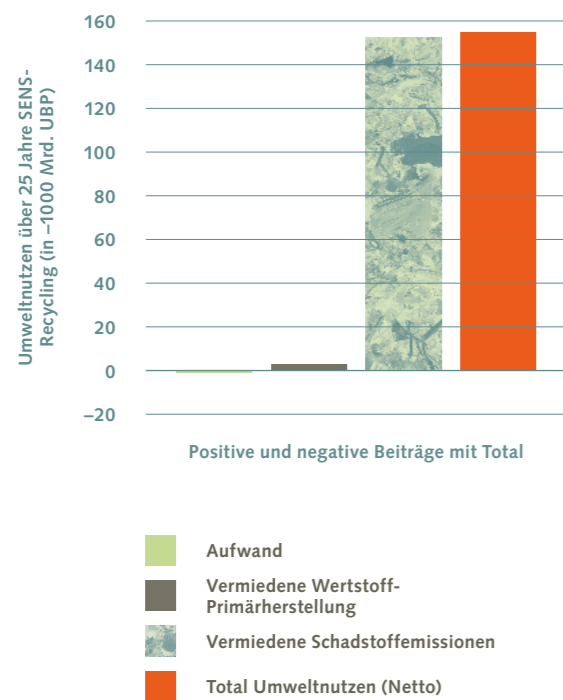
– Hinsichtlich der BFS wurden folgende Annahmen getroffen, gestützt auf Morf u. a. (2002):

- Eine Hälfte der BFS-haltigen Kunststoffe wird aufgrund der angenommenen ökonomischen Optimierung nicht rezykliert und landet direkt in der KVA, in der die BFS praktisch vollständig zerstört werden.

- Die andere Hälfte der BFS-haltigen Kunststoffe wird (im Ausland) rezykliert. Dabei wird davon ausgegangen, dass diese Kunststoffe während ihrer Nutzungsphase BFS emittieren sowie durch Abrieb BFS in die Umwelt gelangen und irgendwann einmal je zur Hälfte in einer KVA oder einer Deponie landen, in der die BFS teilweise ins Wasser ausgewaschen werden.

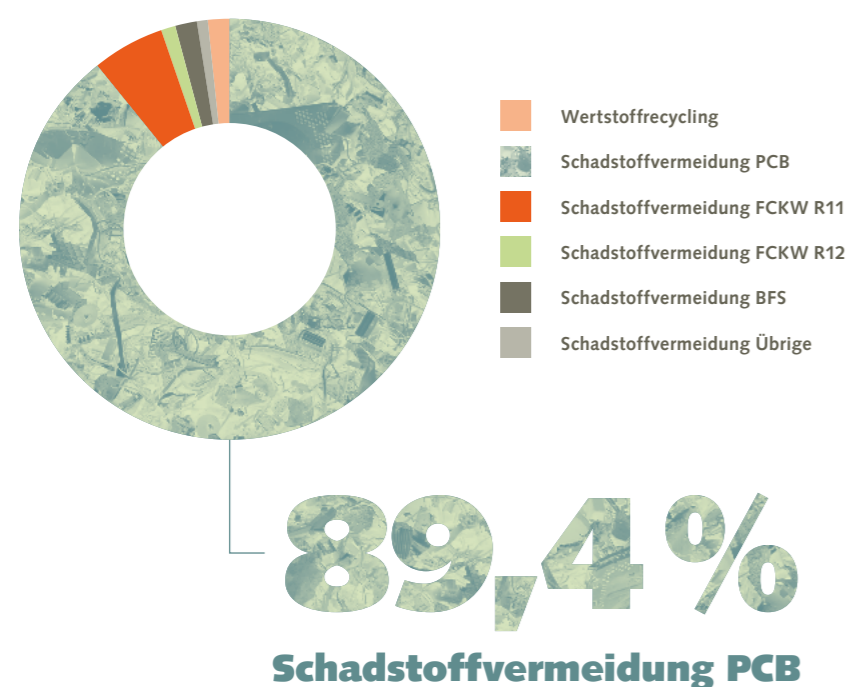
- Somit gelangen 1,02% des Octa-BDPE, 0,94% des DecaBDPE sowie 1,50% des TBBPA zusätzlich in die Umwelt, im Vergleich zur Iststandsanalyse «SENS».

# 25 Jahre Elektrogeräte-Recycling



Der Umweltnutzen des SENS-Elektrogeräte-Recyclings ergibt sich aus der Summe der positiven und negativen Beiträge

### Anteil des Wertstoffrecyclings und der Schadstoffvermeidung am Umweltnutzen des SENS-Elektrogeräte-Recyclings



**89,4%**  
Schadstoffvermeidung PCB

### Was haben 25 Jahre SENS der Umwelt gebracht?

Insgesamt beläuft sich der Umweltnutzen von 25 Jahren SENS-Elektrogeräte-Recycling auf netto 155 000 Milliarden vermiedene UBP<sup>1</sup>, wobei fast der ganze Nutzen (98,4%) durch die Verhinderung von Schadstoffemissionen generiert wird. Der Umweltnutzen der rezyklierten Wertstoffe und der ökologische Aufwand für das Recycling (Transporte, Energieverbrauch Recyclingbetriebe usw.) sind im Vergleich sehr klein. Die Höhe des gesamten Umweltnutzens von 155 000 Milliarden UBP entspricht etwa:

- dem Umweltfussabdruck der gesamten Schweizer Bevölkerung (8 Millionen Einwohnern) in 11 Monaten (was gleichbedeutend ist mit einer Senkung der jährlichen Umweltbelastung der Schweiz um durchschnittlich etwa 4%) oder
- dem Umweltnutzen, welcher durch die Verwendung von bleifreiem Benzin in der Schweiz über neun Jahre generiert wird.

Unter den verhinderten Schadstoffemissionen ist die korrekte Entsorgung von PCB-haltigen Kondensatoren der wichtigste Beitrag zum Umweltnutzen (89,4%), gefolgt von der korrekten Entsorgung von FCKW R11 (5,5%), BFS (1,7%) und FCKW R12 (1,0%).

Die neun Tonnen PCB, welche durch das SENS-System im Vergleich zum Szenario «ohne SENS» zusätzlich korrekt entsorgt und somit nicht in die Umwelt emittiert werden, dominieren das Resultat, weil PCB als wesentlich umweltschädlicher eingestuft wird als sämtliche anderen in Elektrogeräten vorkommenden Schadstoffe. Das PCB stammt hauptsächlich aus den Kondensatoren von Elektrokleingeräten (insbesondere den Vorschaltgeräten von Leuchten) und Elektrogrossgeräten.

Der Klimanutzen von 25 Jahren SENS-Elektrogeräte-Recycling beträgt 7,1 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Der grosse Teil des Nutzens stammt dabei von der korrekten Entsorgung von FCKW R11 (66,7%) und FCKW R12 (26,4%). Diese Treibhausgase sind hauptsächlich in den verschiedenen Kühlgeräten wie Kühlschränken, Gefriertruhen und Klimageräten zu finden.

Über die betrachtete Zeitspanne wurden einerseits gut 650 000 Tonnen Wertstoffe verwertet, andererseits rund 3 900 Tonnen Schadstoffe kontrolliert entsorgt. Anteilsmässig die wichtigsten Wertstoffe sind Eisen (70,0%), Stahl (10,9%) und Kunststoffe (8,5%). Wesentlich weniger relevant sind die gesammelten Mengen an Kupfer (4,2%), Aluminium (2,6%), Zink (2,5%) und Glas (1,2%). Von den restlichen Wertstoffen fallen nur sehr geringe Mengen an (weniger als 0,1%). Anteilsmässig die wichtigsten Schadstoffe sind FCKW R11 (33,8%) und Öl (32,5%). Wesentlich tiefer liegen die gesammelten Mengen an bromierten Flammschutzmitteln (14%), FCKW R12 (6,1%), Cyclopentan (6%) und R600a (5,2%). Von den restlichen Schadstoffen fallen nur geringe Mengen an (weniger als 2,1%).

Die Ökobilanzstudie hat gezeigt, dass die Stiftung SENS im Zusammenspiel mit ihren Partnern während 25 Jahren Einsatz einen sehr hohen Umweltnutzen generiert hat. Durch die umweltfreundliche Entsorgung von Elektrogeräten wurde die jährliche Umweltbelastung der Schweiz um durchschnittlich etwa 4% gesenkt, ein sehr beachtlicher Wert für eine einzelne Massnahme.

### Was heisst das für die Zukunft?

Trotz der Tatsache, dass heute immer weniger PCB-haltige Kondensatoren in den Elektroaltgeräten zu finden sind, hat dieser Schadstoff gemäss unseren Berechnungen immer noch das höchste Umweltschadenpotenzial. Insbesondere die Kondensatoren in den Vorschaltgeräten von Leuchten, aber auch solche in Haushaltsgrossgeräten müssen wei-

terhin mit grösster Sorgfalt entfernt und fachgerecht entsorgt werden. Für eine genauere Abschätzung des aktuellen Umweltnutzens wäre ein Update der Studie über PCB-Gehalte in Kondensatoren aus dem Jahr 2007 sehr hilfreich, wobei empfohlen wird, gleichzeitig auch PCB-Ersatzstoffe auf ihr Umweltbelastungspotenzial hin zu untersuchen.

Die Vermeidung von Emissionen von Schadstoffen wie FCKW, BFS und Quecksilber durch ihre kontrollierte fachgerechte Entsorgung wird anteilmässig immer wichtiger, weil diese Schadstoffe später als PCB verboten wurden und ihr Gehalt in den Geräten somit weit weniger schnell abnehmen wird.

Der Beitrag an den Umweltnutzen durch das Recycling von Wertstoffen wie Eisen, Kupfer, Aluminium usw. ist aufgrund der Dominanz der Schadstoffe noch sehr tief, steigt aber stetig an, insbesondere da immer weniger PCB in den Geräten vorhanden ist. Trotzdem ist das Recycling solcher Wertstoffe aus Umweltsicht sinnvoll, da der ökologische Nutzen (Ressourcenschonung usw.) für das Recycling meist viel grösser ist als der Aufwand für die Aufbereitung (Energieverbrauch usw.). Eine Potenzialabschätzung für das künftige Recycling von in Spuren vorhandenen Elektronikmetallen hat des Weiteren ergeben, dass der dadurch generierte Umweltnutzen marginal ist, sogar wenn angenommen wird, dass die Elektrometallgehalte in Leiterplatten von Elektrogeräten gleich hoch sind wie in Computerleiterplatten.

### Literatur

Ecodom. (2008). RAEE, IL CONTRIBUTO DEL RICICLO AGLI OBIETTIVI DI KYOTO – Bilancio energetico-ambientale del recupero di alcune tipologie di rifiuti elettrici ed elettronici. Abgerufen 24. September 2015, von [www.ecodom.it](http://www.ecodom.it)

R. Frischknecht und S. Büsser Knöpfel (2013): Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der Ökologischen Knappheit – Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz (No. 1330) (S. 256). Bern: Bundesamt für Umwelt

L. Morf und R. Taverna (2004): Metallische und nichtmetallische Stoffe im Elektronikschrott – Stoffflussanalyse. Schriftenreihe Umwelt Nr. 374. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)

L. Morf, R. Taverna, H. Daxbeck und R. Smutny (2002): Schriftenreihe Umwelt Nr. 338: Umweltgefährdende Stoffe – Ausgewählte polybromierte Flammschutzmittel – Stoffflussanalyse. Bern

<sup>1</sup>Zuerst als Stiftung Entsorgung Schweiz (S.EN.S.).

<sup>2</sup>Abkürzung für Schweizerischer Wirtschaftsverband der Informations-, Kommunikations- und Organisationstechnik.

<sup>3</sup>Reststoffeschredder (brennbare Abfälle).

<sup>4</sup>In Grafiken als negative UBP dargestellt.

# Mengen

## Zunahme der verarbeiteten Mengen

Esther Thiébaud

**Nach leicht rückläufigen Mengen in den letzten zwei Jahren sind 2015 die verarbeiteten Mengen erstmals wieder deutlich angestiegen und erreichen einen neuen Höchststand. Rund 73% der von den Schweizer Recyclern erzeugten Wertstofffraktionen gelangen in eine stoffliche Verwertung.**

Im Jahr 2015 haben die SENS- und Swico-Recycler rund 132 200 Tonnen Elektro- und Elektronikgeräte verarbeitet. Im Vergleich zum Vorjahr entspricht dies einer Zunahme von 4% und einem neuen Höchststand der verarbeiteten Mengen (Tabelle 1 und Abbildung 1). Am meisten zugenommen hat mit 14% die Menge an verarbeiteten Elektrogrossgeräten. Auch Kühlgeräte und Elektrokleingeräte weisen eine Zunahme von je 5% auf. Die Verarbeitung von Elektronikgeräten, Leuchtmitteln und Nicht-VREG-Geräten, welche nicht in den Listen der VREG aufgeführt sind,

hat sich im Vergleich zu 2014 kaum verändert. Neu dazugekommen ist die Verarbeitung von Photovoltaikaustrüstungen, wobei die Mengen mit 100 Tonnen noch klein sind.

### Wertstoffverwertung

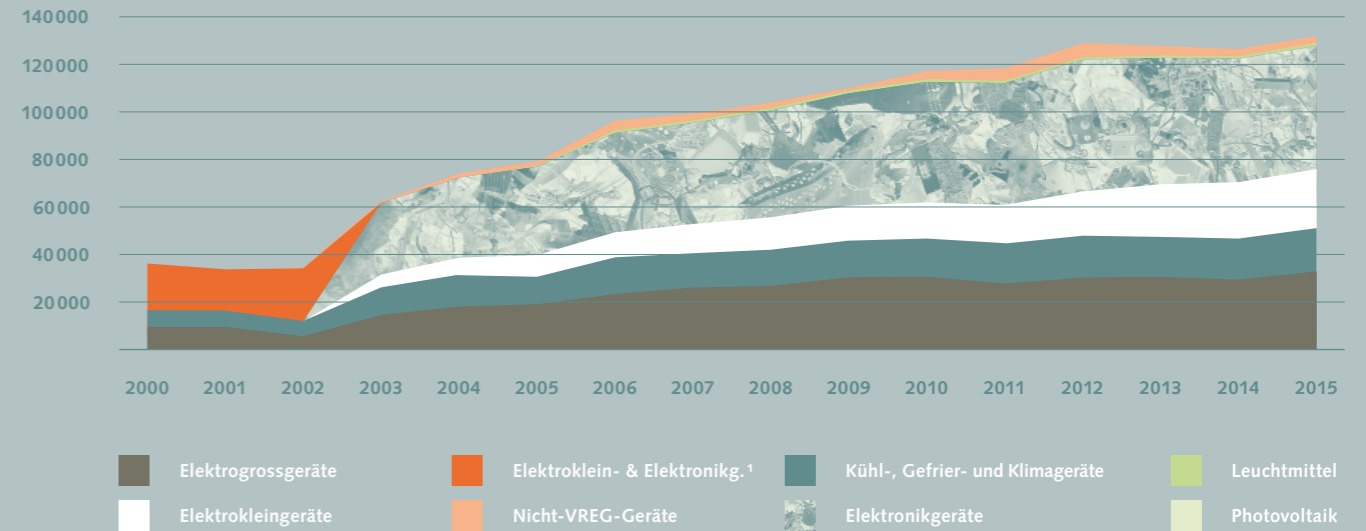
Aus den verarbeiteten Elektro- und Elektronikgeräten werden durch manuelle und maschinelle Verarbeitung Wert- und Schadstofffraktionen gewonnen (Abbildung 2). Die grösste Wertstofffraktion bilden die Metalle mit 58%. Im Vergleich zum Vorjahr hat der Anteil an Kunststoff-Metall-Gemischen von 11% auf 18% zugenommen, derjenige an reinen Kunststofffraktionen von 13% auf 8% abgenommen. Der Anteil des Glases aus der Bildröhrenverarbeitung ist auf 5% gesunken. Die wertvollen Leiterplatten machen nur 1,5% der Gesamtmenge aus. Dennoch lohnt es sich oft, die besonders wertvollen Materialien vorgängig zur mechanischen Verarbeitung manuell zu entfrachten. Die gewonnenen Wertstofffraktionen werden

nach Möglichkeiten stofflich oder thermisch verwertet. Metalle werden in grossen, meist europäischen Schmelzwerken zurückgewonnen. Kunststoff-Metall-Gemische gehen rund zur Hälfte in eine weitere Aufbereitung, bei der eine Trennung in reine Metall- und Kunststofffraktionen erfolgt. Die andere Hälfte wird in Verbrennungsanlagen thermisch verwertet. Kunststoffe wurden im Jahr 2015 zu ca. 64% einer stofflichen Verwertung zugeführt, was einer Menge von 7300 Tonnen entspricht. Im Jahr zuvor gelangten 12 700 Tonnen Kunststoffe in eine Verwertung. Diese Abnahme um rund 40% könnte mit den tiefen Rohstoffpreisen für Kunststoffe zusammenhängen. Weiterverarbeitet werden Glasfraktionen (Bildschirmglas, Flachglas und Recyclingglas aus Leuchtmitteln) sowie Kabel, Leiterplatten und Batterien. Dies führt insgesamt zu einer stofflichen Verwertungsquote von rund 73%.

**Tabelle 1: Total verarbeiteter elektrischer und elektronischer Geräte in der Schweiz in Tonnen aus der Stoffflusserhebung**

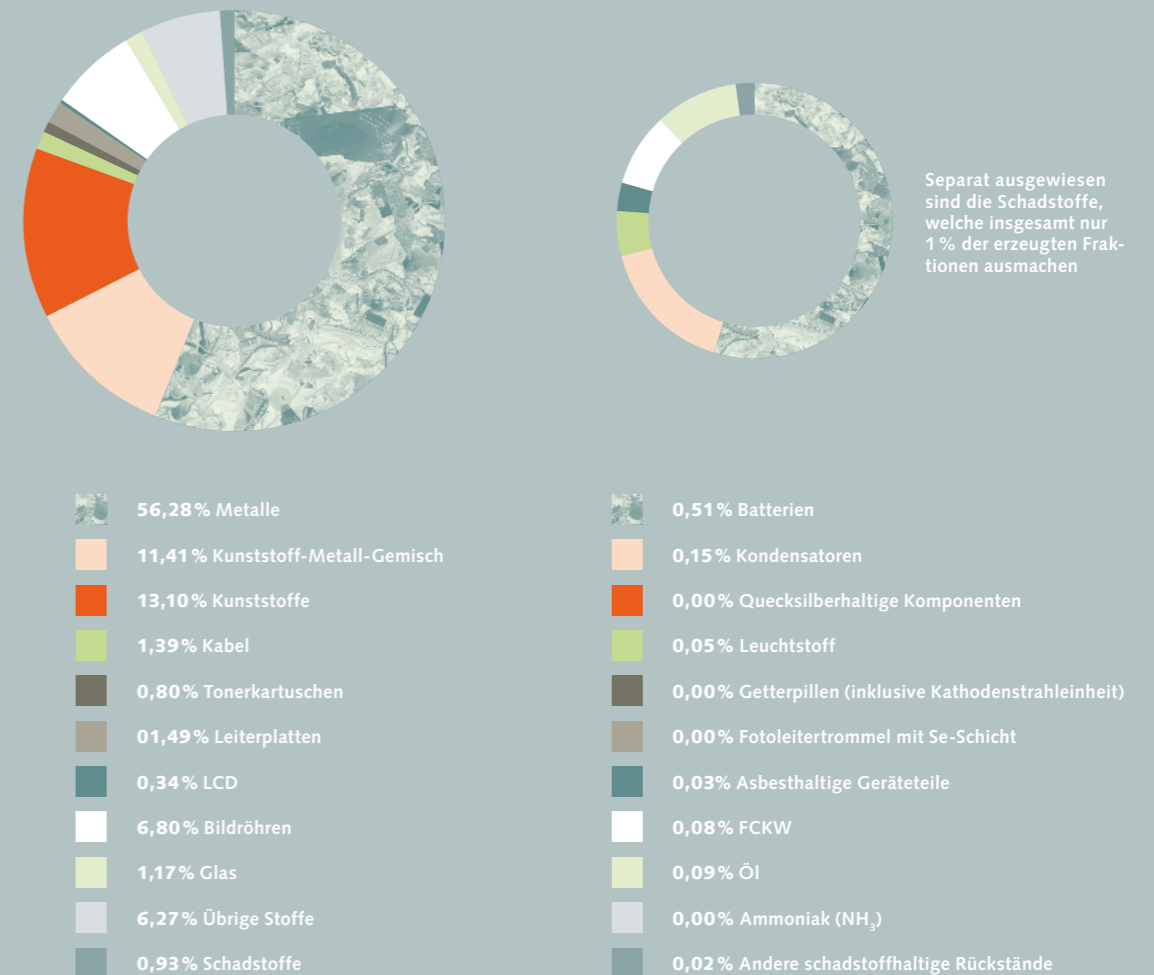
Jahr	Elektrogrossgeräte	Kühl-, Gefrier- und Klimageräte	Elektrokleingeräte	Elektronikgeräte	Leuchtmittel	Photovoltaik	Nicht-VREG-Geräte	Total Tonnen/Jahr
2009	30 400	15 300	14 900	47 300	1 100		1 200	100 200
2010	30 700	15 900	15 400	50 700	1 130		3 500	117 400
2011	27 800	16 800	16 300	51 300	1 110		5 200	118 500
2012	30 300	17 500	18 800	55 500	980		6 000	129 100
2013	30 600	16 700	22 300	53 200	1 130		4 000	127 900
2014	29 400	17 200	23 900	52 000	1 060		3 000	126 600
2015	32 900	18 100	25 000	51 900	1 090	70	3 000	132 100
<b>Veränderungen gegenüber Vorjahr</b>	<b>12%</b>	<b>5%</b>	<b>5%</b>	<b>-0,2%</b>	<b>0%</b>		<b>0%</b>	<b>4%</b>

**Abbildung 1: Entwicklung der verarbeiteten Gerätemengen in der Schweiz in Tonnen**



<sup>1</sup> Elektroklein- & Elektronikgeräte zusammen: Diese Zahl ist grösser als die 51 900 Tonnen Elektronikgeräte in Tabelle 1, da darin auch Geräte enthalten sind, welche A-Unterzeichner über Direktverträge entsorgt haben.

**Abbildung 2: Zusammensetzung der erzeugten Fraktionen in % im Jahr 2015**



Separat ausgewiesen sind die Schadstoffe, welche insgesamt nur 1% der erzeugten Fraktionen ausmachen



Tabelle 2: Gesammelte Swico-Mengen und Zusammensetzung nach Gerätetyp

	Anzahl <sup>3</sup>	Ø-Gewicht	Metalle	Kunststoffe	Kunststoff-Metall-Gemische	Kabel	Glas und/oder LCD-Module	Leiterplatten	Schadstoffe	Weiteres <sup>4</sup>	Total	Zu-/Abnahme gegenüber 2014
CRT-PC-Monitor	121 000	17 kg	302 t	409 t	195 t	53 t	899 t	188 t	0,1 t	9 t	2 056 t	-11 %
LCD-PC-Monitor	513 000	8,5 kg	1 264 t	707 t		12 t	744 t	206 t	9,6 t	14 t	2 956 t	-4,9 %
PC/Server	402 000	13 kg	4 377 t	306 t	14 t	163 t		443 t	17 t		5 320 t	0,6 %
Laptop	410 000	3 kg	369 t	343 t	124 t	6,2 t	107 t	177 t	84 t	5,1 t	1 214 t	-1,4 %
Drucker	532 000	11 kg	2 161 t	3 280 t	375 t	33 t	42 t	107 t	1,9 t	99 t	6 099 t	27 %
Grosskopierer / Grossgeräte	44 000	147 kg	3 504 t	240 t	2 301 t	116 t	4,3 t	52 t	56 t	164 t	6 439 t	-13 %
IT, gemischt <sup>1</sup>	503 000	4,1 kg	1 132 t	75 t	750 t	38 t	1,1 t	16 t	18 t	53 t	2 082 t	-47 %
CRT-Fernseher	420 000	28 kg	1 146 t	2 379 t	387 t	40 t	7 523 t	142 t	11 t	6,3 t	11 636 t	-11 %
LCD-Fernseher	161 000	15 kg	1 025 t	369 t		50 t	638 t	303 t	23 t	86 t	2 495 t	0,7 %
UE, gemischt <sup>2</sup>	2 620 000	4,3 kg	6 112 t	405 t	4 048 t	204 t	5,7 t	88 t	97 t	284 t	11 243 t	-4,2 %
Telefon, mobil	704 000	0,21 kg	24 t	54 t			7,8 t	34 t	30 t		150 t	37 %
Telefon, Rest	1 460 000	1,9 kg	1 508 t	100 t	999 t	50 t	1,4 t	22 t	24 t	70 t	2 773 t	-4,8 %
Foto/Video	324 000	0,54 kg	94 t	6,3 t	63 t	3,1 t	0,1 t	1,4 t	1,5 t	4,4 t	174 t	4,2 %
Dental											86 t	32 %
<b>Total</b>			<b>23 018 t</b> 42 %	<b>8 673 t</b> 16 %	<b>9 256 t</b> 17 %	<b>7 68 t</b> 1,4 %	<b>9 975 t</b> 18 %	<b>1 779 t</b> 3,3 %	<b>372 t</b> 0,7 %	<b>794 t</b> 1,5 %	<b>54 721 t</b> 100 %	<b>-6,6 %</b>

### Schadstoffentfrachtung

Der Anteil an erzeugten Schadstofffraktionen ist kleiner als 1% (Abbildung 2). Deren Entfrachtung gehört jedoch neben der Rückführung der Wertstofffraktionen in den Materialkreislauf zu den wichtigsten Aufgaben der Schweizer Recycler. Auch die Schadstoffentfrachtung erfolgt zum grossen Teil manuell. So werden zum Beispiel Kondensatoren aus Haushaltgrossgeräten herausgenommen, Batterien aus Elektronikgeräten entfernt oder die Hintergrundbeleuchtung von Flachbildschirmen, Scannern und Kopiergeräten ausgebaut. Die Schadstoffentfrachtung und der Umgang mit den Schadstoffen muss dabei stetig den veränderten Technologien und neuesten Erkenntnissen angepasst werden. Dennoch müssen die Betriebe in der Lage sein, Geräte aller Generationen mit den jeweiligen Schadstoffen anzunehmen, zu entfrachten und umweltgerecht zu entsorgen, was an die Arbeit der Recyclingbetriebe hohe Anforderungen stellt und hochstehende Qualitätssicherungssysteme voraussetzt.

### Rücknahme und Zusammensetzung von Elektronikgeräten

Auf der Basis von Warenkorbanalysen und gezielten Verarbeitungsversuchen bestimmter Produktgruppen macht Swico eine detaillierte Untersuchung zu Rücknahmemengen von Elektronikgeräten und ihrer Zusammensetzung (Tabelle 2). Im Jahr 2015 hat Swico 54 721 Tonnen Elektronikgeräte zurückgenommen, 6,6% weniger als im Vorjahr. Gewichtsmässig am meisten abgenommen hat die Rücknahme von gemischter IT sowie Grossgeräten. Ebenfalls zurückgegangen ist mit je 11% die Rücknahme von CRT-PC-Monitoren und CRT-Fernsehgeräten. Die Anzahl zurückgenommener LCD-PC-Monitore, CRT-Fernseher und Laptops hat im Vergleich zu 2014 leicht zugenommen. Da in der Warenkorbanalyse 2015 ein etwas kleineres Durchschnittsgewicht erhoben wurde, sind die verarbeiteten Mengen in Tonnen beinahe konstant geblieben. Die Anzahl gesammelter Mobiltelefone und Smartphones konnte um rund 3% gesteigert werden. Mit einem leicht

höheren Durchschnittsgewicht als 2014 ergibt dies jedoch eine gewichtsmässige Steigerung von 37%.

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

<sup>1</sup> IT-Geräte, gemischt, ohne Monitore, PC/Server, Laptops, Drucker und Grosskopierer / Grossgeräte.

<sup>2</sup> Unterhaltungselektronik, gemischt, ohne TV-Geräte.

<sup>3</sup> Hochrechnung.

<sup>4</sup> Verpackungs- und andere Abfälle, Tonerkartuschen.

<sup>5</sup> Diese Zahl ist grösser als die 51 900 Tonnen Elektronikgeräte in Tabelle 1, da darin auch Geräte enthalten sind, welche die A-Unterzeichner über Direktverträge entsorgt haben.

## Preisinsel Schweiz

# Unser Weg an die Spitze

Deepali Sinha Khatriwal, Hannes Zellweger & Ulrike Voett

### Feines Gleichgewicht

Die drei Schweizer Organisationen für Herstellerverantwortung (Producer Responsibility Organisations, kurz: PROs) – SENS, Swico und SLRS – bieten ein leistungsstarkes Rücknahmesystem an, das durch eine hohe Sammelrate sowie durch strenge Verwertungs- und Entsorgungsstandards überzeugt. Sie gehören damit zu den internationalen Vorreitern auf dem Gebiet des eRecyclings. Doch sie werden gleich von mehreren Seiten unter Druck gesetzt: Einerseits fordern ihre Mitgliedsunternehmen eine Senkung der vRG, andererseits verlangen die Recyclingfirmen einen Ausgleich für ihre hohen Betriebskosten. Aus diesem Grund beauftragten die PROs die SOFIES SA im Herbst 2014 mit der Begutachtung ihrer Kosteneffizienz, um mehr über allenfalls optimierbare Faktoren herauszufinden. Das Ziel war, die Gebühren für die Mitgliedsunternehmen und die Zahlungen an die Recyclingfirmen in ein besseres Gleichgewicht zu bringen.

### Methodische Vorgehensweise

Der Vergleich der Kosten der Schweizer PROs mit denen ausgewählter europäischer Länder setzt eine Struktur voraus, die eine sinnvolle Gegenüberstellung ermöglicht. Deshalb konzentrierte sich die SOFIES-Studie zunächst auf die Gesamtausgaben der Systeme und deren Verteilung auf die wichtigsten Kostenpunkte. Dann wurden die Kosten der PROs aus vier europäischen Ländern – Frankreich, Deutschland, den Niederlanden und Schweden (ausgewählt auf der Grundlage der Systemleistung oder ihrer geografischen Nähe zur Schweiz) – mit den Kosten der Schweizer PROs verglichen. SOFIES entwickelte detaillierte Fragebögen sowie ausführliche Umfragen und trug auf diese Weise detailliertes Datenmaterial von PROs, Recyclingunternehmen und Branchenfachleuten zusammen. Die Zwischenergebnisse der ursprünglichen Analyse zeigten jedoch, dass Sammelrate, Recyclingrate oder Recyclingstandards die Kosten nicht signifikant beeinflussten. Deshalb führ-

ten die Experten noch ausführlichere quantitative und qualitative Auswertungen durch, um ganz gezielt die entscheidenden Kostentreiber ausfindig zu machen und ihren Einfluss auf die PRO-Gesamtkosten besser zu verstehen.

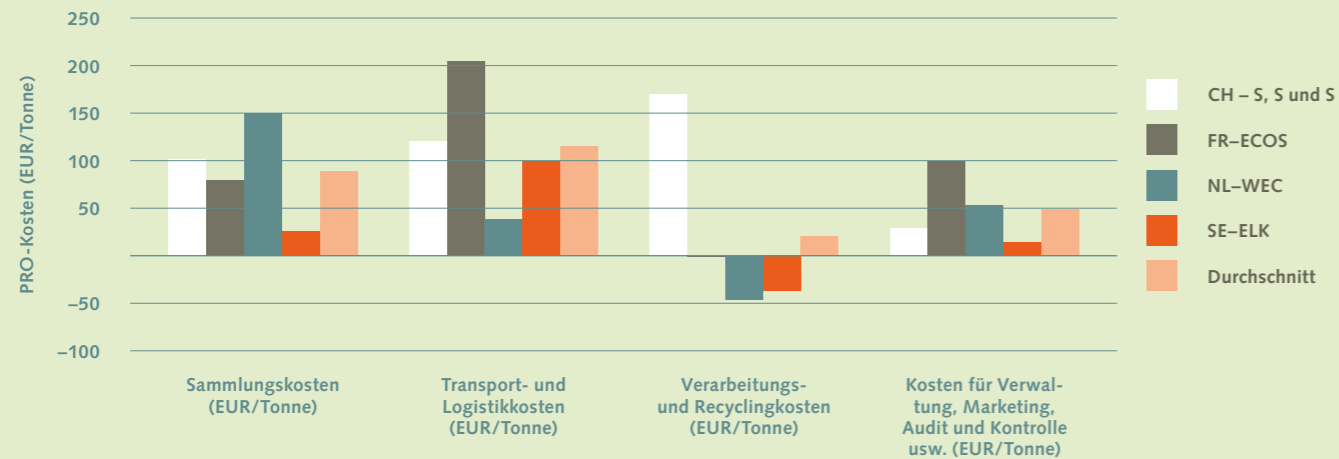
### Den Überblick behalten

Wie Tabelle 1 zeigt, bieten die Schweizer PROs ihre Dienste für insgesamt CHF 564.– pro Tonne gesammelter Elektro- und Elektronikgeräte an.<sup>1</sup> Die wichtigsten Kostenpunkte waren: Aufwendungen für Altgerätesammlung, Transport und Logistik sowie Aufbereitung und Recycling. Diese Posten stellten 87% aller Aufwendungen. Die restlichen Faktoren hatten nur geringen Einfluss auf die Kosten der Schweizer PROs und konnten weitgehend unter der Position «Verwaltung, Marketing und Kontrollen» zusammengefasst werden.

Tabelle 1: Kostenaufschlüsselung des Schweizer Systems

Kostenpunkte	Swico 2013	SENS 2013	SLRS 2013	Insgesamt Schweiz 2013
Gesammeltes Gesamtvolumen in Tonnen	55 305	76 175	4 099	135 579
<b>Sammelkosten pro Tonne (CHF/t)</b>	<b>111.–</b>	<b>144.–</b>		<b>126.–</b>
<b>Transport und Logistik pro Tonne (CHF/t)</b>	<b>169.–</b>	<b>144.–</b>		<b>150.–</b>
<b>Verwertungs- und Recyclingkosten pro Tonne (CHF/t)</b>	<b>187.–</b>	<b>182.–</b>	<b>1 115.–</b>	<b>212.–</b>
<b>Kosten für Verwaltung, Marketing und Kontrollen pro Tonne (CHF/t)</b>	<b>29.–</b>	<b>29.–</b>	<b>268.–</b>	<b>36.–</b>
<b>Andere Kosten – Batterien – Kosten pro Tonne (CHF/t)</b>	<b>18.–</b>	<b>10.–</b>		<b>13.–</b>
<b>Andere Kosten – Verpackung – Kosten pro Tonne (CHF/t)</b>	<b>64.–</b>			<b>26.–</b>
<b>Gesamtkosten pro Tonne (CHF/t)</b>	<b>578.–</b>	<b>509.–</b>	<b>1 383.–</b>	<b>564.–</b>

Abbildung 1: Vergleich der wichtigsten Kostenpunkte



Die Kosten für Sammlung sowie für Transport und Logistik liegen bei den Schweizer PROs im europäischen Durchschnitt. Die Kosten für Verwaltung, Marketing und Aufklärung sowie für Kontrollen und Monitoring lagen unter dem Durchschnitt. Dennoch lagen die Gesamtkosten der Schweizer PROs deutlich über denen vergleichbarer Organisationen in anderen europäischen Märkten: Die Zusatzkosten betragen im Durchschnitt etwa EUR 200 pro Tonne gesammelter Elektro- und Elektronikgeräte. Der Faktor, der diese enorme Differenz verursacht, wurde dann auch ermittelt: Es waren die Aufbereitungs- und Recyclingkosten. Wo andere PROs aus Aufbereitungskosten Nettoerträge erzielen konnten, zahlten die Schweizer hohe Beträge für Aufbereitung und Recycling, wie aus Abbildung 1 hervorgeht.

**Genauere Auswertung des Kostentreibers «Aufbereitung und Recycling»**

Eine eingehendere Prüfung der verschiedenen Faktoren innerhalb der Kategorie «Aufbereitungs- und Recyclingkosten» ergab, dass sich diese Kosten weiter aufteilen lassen in:

- landesspezifische Kosten, welche die PROs kaum oder gar nicht beeinflussen können – wie die landesweite Energiepreise oder die existenzsichernden Lohnniveaus und.
- von den PROs direkt kontrollierbare Kosten, wie etwa die Konditionen, die sie mit den Recyclingfirmen für die Aufbereitung aushandeln.

Die Abbildung 2 bildet den Einfluss der Faktoren auf die Kosten und die Einflussmöglichkeiten der PROs auf die Kosten ab.

**Skandinavische Ideale**

Die Systeme von Schweden und der Schweiz lassen sich aufgrund der ähnlichen Bevölkerungszahlen, des vergleichbaren Einkommensniveaus, der hohen Sammelraten für Elektro- und Elektronikgeräte sowie der gut etablierten PROs besonders gut vergleichen. Eine Gegenüberstellung der Rücknahme- und Recyclingsysteme der beiden Länder zeigt uns, dass bis zu 81% der Kostendifferenzen auf insgesamt fünf zentrale Faktoren zurückzuführen sind:

- In Schweden werden die Kosten für Gerätesammlung und Aufklärung ausgelagert und von den Gemeinden übernommen, während in der Schweiz die PROs für diese Kosten aufkommen müssen.
- Darüber hinaus sind die Schweizer Recyclingunternehmen wegen ihrer höheren Lohn-, Kapital- und Entsorgungskosten teurer, was auf die makroökonomischen Faktoren in der Schweiz zurückzuführen ist.

- In der Schweiz sind auch die Transport- und Logistikkosten höher. Die Gründe liegen in anderen gesetzlichen Anforderungen und geografischen Gegebenheiten.
- Bei den Recyclingunternehmen in der Schweiz ist die Materialwertrealisierung geringer, nicht zuletzt wegen der höheren Kosten für den Transport der Materialien zu den Schmelzhütten und Wiederaufbereitungsanlagen in Europa.

**Mögliche Wege**

Konzentriert man sich auf die kostenintensiven Faktoren, die von den PROs direkt beeinflusst werden können, ergeben sich zwei Empfehlungen an die PROs:

- Die Begleichung der Aufbereitungskosten muss streng von den Einnahmen

aus der Materialrückgewinnung getrennt werden: Daraus ergäbe sich nicht nur eine grössere Transparenz für die PROs und die Recyclingbetriebe im Hinblick auf Aufwendungen und Einnahmen, sondern auch die Möglichkeit, die sehr volatilen, marktabhängigen Materialeinnahmen von den marktpreisunabhängigen Kosten für die Aufbereitung und Entsorgung zu trennen.

- Zur Aktualisierung der Formel für das Indexmodell würde sich eine repräsentativere Materialliste besser eignen, die auch bisher nicht aufgeführte Metalle sowie andere, bislang unberücksichtigte Fraktionen umfassen sollte. Das Ziel wäre hierbei, die Einkünfte und Verluste eines Recyclingunternehmens transparenter aufzuschlüsseln.

Abbildung 2: Effekt- und Einflussmatrix



<sup>1</sup> Alle Angaben zu gesammeltem Volumen und Kosten betreffen das Jahr 2013.

# Umgang mit Lithium-Ionen-Batterien

Rolf Widmer

**Die von den drei Rücknahmesystemen SENS, Swico und Inobat einberufene Arbeitsgruppe «LIB in EAG»<sup>1</sup> erarbeitet in Absprache mit dem Astra Erläuterungen und Empfehlungen für alle diejenigen, die an der Sammlung und Beförderung von LIB-haltigen Elektroaltgeräten beteiligt sind, das heisst vor allem Sammelstellen, aber auch der Handel, welcher EAG zurücknimmt, sowie die Recycler, die die Lieferungen annehmen.**

Gemäss heutigem Recht sind LIB Gefahrgut und dürfen nicht befördert werden, ausser sie erfüllen Sondervorschriften und Verpackungsanweisungen des ADR2015, namentlich für alle LIB-haltigen EAG:

- die offensichtlich defekte LIB enthalten könnten (zum Beispiel aufgeblähte Handys)<sup>2</sup>,
- die lediglich kleine LIB enthalten (bis 500 Gramm Bruttomasse, bis 20 Wh/100 Wh Nennenergie bzw. 1 g/2 g Li-Masse pro Zelle/Batterie)<sup>3</sup>,
- die auch grosse LIB enthalten.<sup>4</sup>

Da bei LIB-haltigen EAG das Gerät die Funktion der Verpackung übernimmt, dürfen EAG nicht beschädigt werden. Zudem ist Schüttgut, z. B. in Schüttgutcontainern, für LIB-haltige EAG im ADR nicht vorgesehen und daher unzulässig.

LIB-haltige EAG können somit gemäss SV 636 oder SV 377 befördert werden. Beide Varianten haben ihre Vor- und Nachteile, insbesondere müssen entweder grosse (SV 636) oder defekte (SV 377) LIB gezielt aussortiert werden.



Abbildung 1: Offensichtlich defekte und gefährliche LIB in Notebooks bzw. Handys. Solche EAG sind auszusortieren

Daraus folgt, dass heute EAG an den Sammelstellen bzw. Sammelpunkten vor dem Transport zwingend sortiert und für den Transport entsprechend geschützt und gekennzeichnet werden müssen.

Die «LIB in EAG»-Arbeitsgruppe empfiehlt den betroffenen Rücknahmesystemen, die Sammlung und die Beförderung von Kleingeräten gegenwärtig auf SV 377 auszurichten, was ein Aussortieren von EAG mit defekten LIB und für die Beförderung der übrigen, möglicherweise LIB-haltigen EAG Gefahrzettel, UN-Nummer und Beförderungspapiere erfordert. Diese EAG sollen in kleinen Gebinden, wie gegenwärtig bereits Bildschirmgeräte, befördert werden.

Diese Regeln erfordern europaweit zum Teil weitreichende und einschneidende Anpassungen der gängigen Praxis. Nicht verwunderlich ist daher, dass laufend Änderungsvorschläge zu ADR-Regeln eingehen und von den zuständigen Kommissionen aufgenommen werden, um die entsprechenden Vorschriften anzupassen. In dringenden Fällen gibt es in sogenannten multilateralen Vereinbarungen die Möglichkeit, Änderungen vorzuziehen, sodass diese vor der nächsten ADR-Gesamtrevision angewendet werden können. Zum Beispiel wird gegenwärtig die SV 636 dahingehend überarbeitet, dass darunter alle LIB-haltigen EAG, also nicht nur solche mit kleinen LIB, unverpackt beförderbar werden. Damit würde ein Sortieren und Bezetzen von LIB-haltigen EAG weitgehend entfallen.



Abbildung 2: Bestehender Inobat-Sammelbehälter



Abbildung 3: Die UN-geprüften Sammelbehälter werden mit Traggurten in die und aus den Transportbehältern gehoben

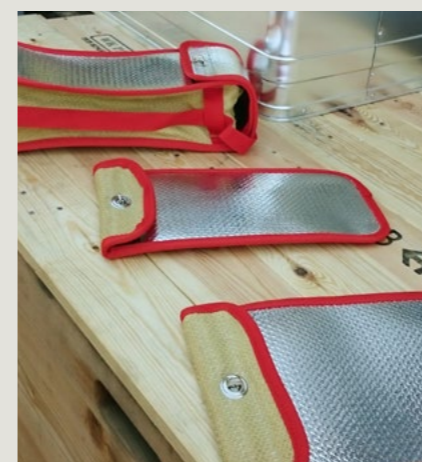


Abbildung 4: UN-geprüfte Taschen (silbrig) für den LIB-Transport in den üblichen Inobat-Kunststofffässern bzw. möglichen neuen Stahlfässern

Die Entscheidung für diese Revision fiel im März 2016, und der früheste Einföhrungstermin für diese Änderung könnte durch eine multilaterale Vereinbarung bereits im Sommer 2016, ansonsten Anfang 2017 mit der nächsten ADR-Version anstehen. Sobald die geänderte SV 636 in Kraft tritt, können EAG damit befördert werden, bis dahin gelten die jetzigen Regeln.

Defekte LIB (Abbildung 1) sind risikoreich und sollten auf jeden Fall aus dem Warenrückfluss entfernt werden. Auch wenn die neue SV 636 ein rigoroses Aussortieren nicht mehr vorschreiben wird, empfiehlt die Arbeitsgruppe in Übereinstimmung mit CENELEC 50625 offensichtlich defekte LIB weiterhin auszuscheiden.

Inobat testet zurzeit verschiedene Möglichkeiten, um defekte LIB in UN-geprüften Behältern zu transportieren. Überlegungen dazu sind u. a.:

- Die bestehenden Inobat-Sammelbehälter (Abbildung 2) können weiterhin verwendet werden. Diese Sammelbehälter werden in einem ADR-konformem Inobat-Transportbehälter verpackt (Abbildung 3).
- für den LIB Transport in den üblichen Inobat Kunststofffässern oder neuen Stahlfässern UN geprüfte Taschen (Abbildung 4) zu verwenden. Lose LIB, aber auch kleine EAG würden in solche Taschen gesteckt, wo im Schadenfall das gleiche wie im Füllstoff der Transportbehälter geschieht: Der verdampfende Elektrolyt der ausgasenden LIB-Zellen verdrängt den Sauerstoff aus der Tasche, gleichzeitig kühlt der Dampf beim Durchtritt durch das Gewebematerial unter die Flammtemperatur ab, und es wird möglichst viel Dampf im Gewebe kondensiert und adsorbiert.

Der Abschluss der Variantenevaluation und die Einführung der ausgewählten Behälter werden für dieses Jahr erwartet.

<sup>1</sup> LIB steht für Lithium-Metall- bzw. Lithium-Ionen-Zellen und -Batterien und EAG steht für Elektroaltgeräte.

<sup>2</sup> SV 376 mit P908 bzw. LP 904.

<sup>3</sup> SV 636 mit P909.

<sup>4</sup> SV 377 mit P909.

## Zehn Jahre Leuchtmittelrecycling

### Kleine Mengen – Grosse Wirkung

Ueli Kasser

**Im Herbst 2006 wurde die vorgezogene Entsorgungsgebühr für Fluoreszenzleuchten FL, Energiesparlampen und andere sogenannte Gasentladungslampen eingeführt. Seither sind insgesamt pro Einwohner etwas mehr als 1 Kilogramm von diesem giftigen Abfall gesammelt und verwertet worden. Zeit für einen Rückblick, was mit diesen etwa 10 000 Tonnen Abfall geschehen ist.**

Auf dem Markt der Lichtquellen hat sich in den letzten Jahren viel bewegt. Das stufenweise Verbot der klassischen Wolfram-Glühbirne aus energetischen Gründen zwischen 2010 und 2012 hat einerseits zu einem massiven Anstieg der

sogenannten Energiesparlampe geführt. Sie ist eine Weiterentwicklung der Fluoreszenzleuchte FL auf Basis der Quecksilberdampfentladungstechnologie. Diese sollte sich jedoch andererseits nur als Übergangslösung erweisen, da die LED-Technologie noch energieeffizienter und quecksilberfrei ist. Diese Entwicklungen auf dem Markt der neuen Lampen haben ihre Auswirkungen auch auf Mengen und Qualitäten beim Abfall.

#### Deutliche Zunahme der Energiesparlampen im Abfall

Sowohl die als Sondermüll klassierten Gasentladungslampen wie auch die der VREG unterstellten LED müssen im Gegensatz zur Glühbirne separat zurückgebracht, gesammelt und kontrolliert entsorgt werden. Das Rücknah-

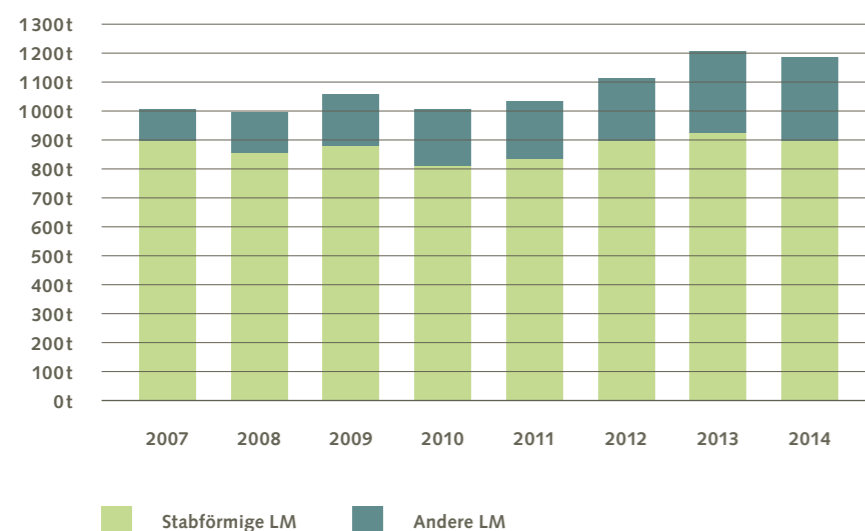
mesystem der Stiftung Licht Recycling Schweiz (SLRS) finanziert die Logistik und Behandlung der Leuchtmittel mit der vorgezogenen Recyclinggebühr seit 2007. In Abbildung 1 sind die Mengen der seit 2007 von den Entsorgungsbetrieben angenommenen Leuchtmittel aufgezeichnet. Die Datenerfassung bei den Recyclern unterscheidet nur zwischen stabförmigen und nicht stabförmigen Leuchtmitteln. Die Mengen der klassischen FL sind in den letzten acht Jahren praktisch konstant geblieben, während die nicht stabförmigen Leuchtmittel von 110 Tonnen auf 280 Tonnen pro Jahr angestiegen sind.

#### Viele nicht finanzierte Abfälle

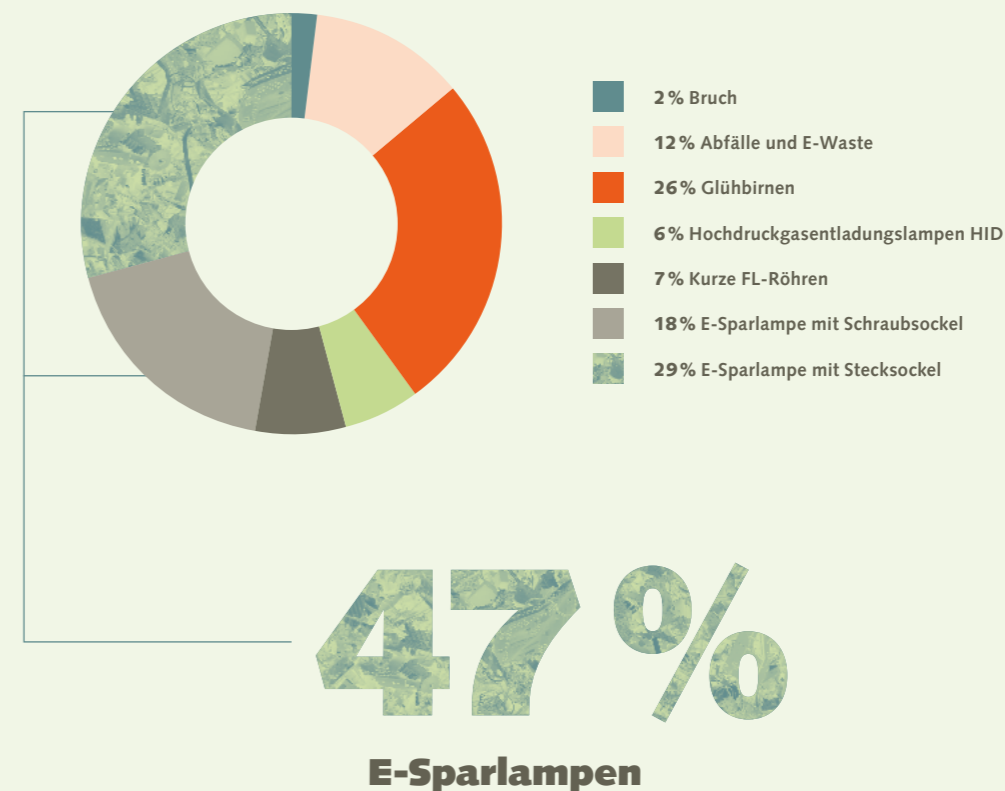
Hinter dem Begriff «nicht stabförmige Leuchtmittel» verstecken sich verschiedene Abfallarten (Abbildung 2). Zum einen kann der Konsument heute zwischen Glühbirnen, Energiesparlampen und LED-Retrofitleuchten kaum mehr unterscheiden. Zum anderen befinden sich unter den nicht stabförmigen Leuchtmitteln Hochdruckgasentladungslampen aus der Strassenbeleuchtung, aus Projektoren und vielen anderen Spezialanwendungen sowie Filterkartuschen, Thermometer und andere Abfälle, in denen der Konsument und die Sammelstellen Quecksilber vermuten. Die Zusammensetzung der nicht stabförmigen Leuchtmittel ist nur aus einer Stichprobenanalyse bei einem schweizerischen Recycler bekannt.<sup>1</sup>

Untersucht wurden damals etwa zwei Tonnen nicht stabförmige Leuchtmittel, so, wie sie von den Sammelstellen an die Recycler geliefert werden. Die Probe ist nicht repräsentativ und zeichnet nur

**Abbildung 1: Angenommene Leuchtmittelmengen bei den schweizerischen Leuchtmittel-Verarbeitungsbetrieben**



**Abbildung 2: Zusammensetzung der nicht stabförmigen Leuchtmittelabfälle aus einer Stichprobenanalyse von 2010**



ein unscharfes Bild, das sich seit 2010 vermutlich zu einem wesentlich grösseren Energiesparlampenanteil verschoben hat. Auffallend ist der hohe Anteil an Glühbirnen und anderen Abfällen, die nicht durch das System finanziert werden. Die nicht stabförmigen Leuchtmittel sind für Recycler nicht interessant. Der Sortieraufwand ist gross, und die Wertschöpfung an Sekundärrohstoffen ist noch kleiner als bei den stabförmigen FL.

#### Zunahme der einheimischen Verarbeitung

In Abbildung 3 wurden die Anteile der Leuchtmittel, die ohne Verarbeitung exportiert worden sind, aufgezeichnet und den in der Schweiz verarbeiteten Mengen gegenübergestellt. Während zwischen 2007 bis 2010 bis zu 40% der gesammelten Leuchtmittel exportiert wurden, ist dieser Anteil 2014 auf 15% zurückgegangen.

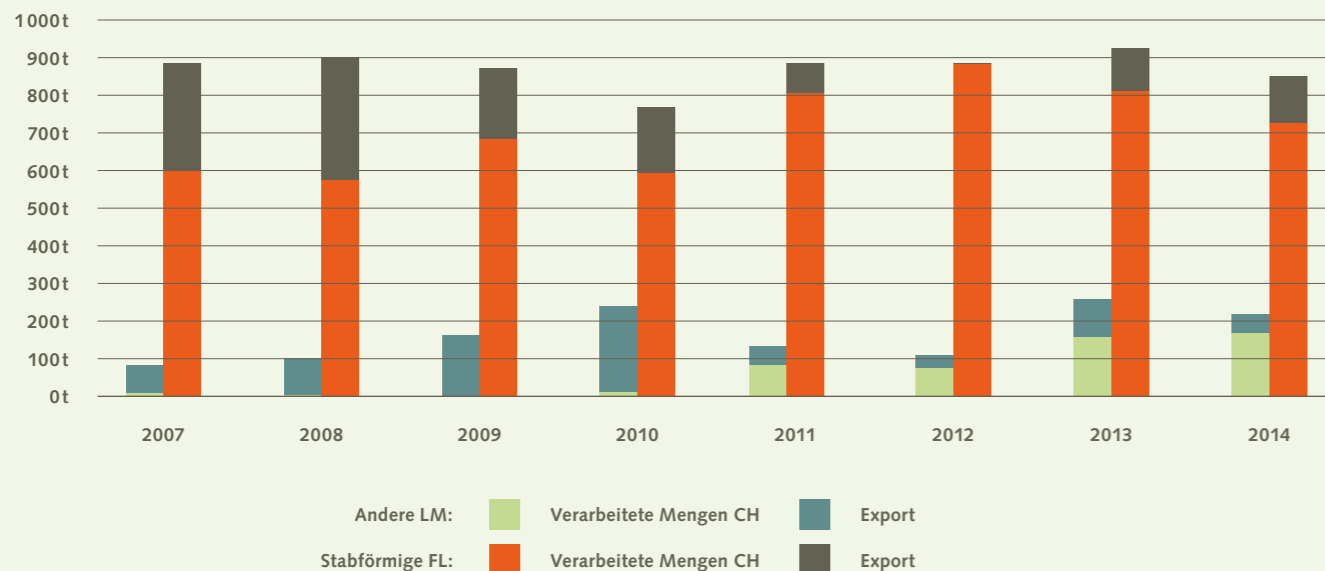
Das hängt mit verschiedenen Faktoren zusammen. Bis 2011 gab es in der Schweiz keine erprobte Technologie für die rationelle Verarbeitung der Energiesparlampen. Zudem hatten in den ersten Jahren zwei SENS-lizenzierte Recyclingbetriebe keinen Verarbeitungsbetrieb in der Schweiz und waren nur Logistiker für den Export. So wurden auch FL nach Deutschland und Frankreich exportiert, obwohl die Schweiz schon damals Überkapazitäten hatte. 2014 war es nur noch ein Betrieb, der alle in der Schweiz gesammelten Leuchtmittel nach Frankreich exportierte.

#### Hohe Quecksilberabscheidung – Wenig Wertstoffgewinn

Das primäre Ziel der Leuchtmittelbehandlung ist die Abscheidung des Quecksilbers und das dauerhafte Isolieren des toxischen Metalls von der Biosphäre. Der Quecksilberfluss der etwa 10 000 Tonnen der seit 2007 in der

Schweiz verarbeiteten Leuchtmittel beträgt insgesamt etwa 1 Tonne. Davon können nach dem Stand der Technik rund 90% abgeschieden werden.<sup>2</sup> Der grössere Anteil wurde in den Aktivkohlefiltern der Anlagen absorbiert und wird über deren Regenerierung zurückgewonnen oder sicher entsorgt. Der andere Teil befindet sich im Leuchtstoffpulver, das in früheren Jahren exportiert und teilweise destilliert wurde. Dabei konnte Quecksilber zurückgewonnen werden. Seit dem Exportverbot von Quecksilber aus der EU und der Schliessung der Dela GmbH in Deutschland gelangt es jedoch vorwiegend als chemisch stabile Verbindung in die Salzbergwerke Deutschlands und in Sondermülldeponien Frankreichs. Die Aufbereitung des Leuchtstoffpulvers zur Rückgewinnung der seltenen Erden<sup>3</sup> hat nur knapp zwei Jahre funktioniert, sie wird dieses Jahr von der französischen Betreiberfirma eingestellt.<sup>4</sup>

Abbildung 3: Unverarbeitet exportierte Leuchtmittel gegenüber den in der Schweiz verarbeiteten Mengen



### Aus Lampen wird Dämmstoff

Die Glasfraktion aus der Leuchtmittel-aufbereitung macht über den gesamten Stofffluss hinweg etwa 80% aus. In den früheren Jahren wurde ein relevanter Anteil des Glases wiederum in die Neuproduktion von Leuchtmitteln zurückgeführt. Mit dem Verdrängen der Endkappentrennverfahren und dem Verlagern der Lampenproduktion nach Asien ist dieses Closed-Loop-Recycling praktisch verschwunden. Der grösste Anteil geht heute in die Produktion von Glaswolle als Dämmstoff. Alle anderen Abnehmer, vorwiegend im Ausland, verwenden das Scherben Glas aus Leuchtmitteln für industrielle Glasanwendungen (z. B. Keramik). Die direkt verwertbaren Metallfraktionen machen etwa 5% des Stoffflusses aus. Diese gelangen in den Altmittelkreislauf, wobei der Fokus auf der Einhaltung der Quecksilbergrenzwerte liegt. Bei den gebrauchten Leuchtmitteln handelt es sich um einen mengenmässig unbedeutenden Abfallstrom, bei dem das Abtrennen und Isolieren des Quecksilbers im Vordergrund steht.

### LED in ferner Zukunft

Es macht keinen Sinn, LED in technologischen Systemen zu verarbeiten, die auf Quecksilberabscheidung ausgelegt sind. So werden diese neuen Abfälle vorderhand in den Recyclingbetrieben aussortiert und separat gelagert. Nach Meinung von Insidern hat sich auf diese Weise in den letzten Jahren in der Schweiz eine Menge von etwa 15 Tonnen LED kumuliert. Eine Schadstoffentfrachtung ist nach Ansicht der Mehrheit von Experten nicht erforderlich und wäre in Anbetracht der geringen Mengen möglicherweise toxischer Substanzen unverhältnismässig. So wird die Behandlung vermutlich darauf hinauslaufen, die seltenen Metalle auf der wertvollen Leiterplatte von LED-Retrofitleuchten<sup>5</sup> zurückzugewinnen. LED ohne integrierte Elektronik werden wohl verbrannt werden.

<sup>1</sup> Nicht stabförmige Leuchtmittel – ein bunter Haufen; Fachbericht 2010; Stiftung SENS, Zürich, 2011, Seite 20.

<sup>2</sup> E. Hug, N. Renner; Erhebung von Quecksilberkonzentrationen in Fraktionen der Leuchtmittelverarbeitung unter Berücksichtigung von Aspekten zur Probenahme und Analytik, SENS und SLRS, 26. Mai 2010.

<sup>3</sup> U. Kasser, P. Wäger; Vom Sondermüll zur Rohstoffquelle – ein weiterer Kreislauf wird geschlossen; Fachbericht 2014; SENS, Swico und SLRS.

<sup>4</sup> Offiziell noch nicht bestätigte Mitteilung von Mitarbeitenden der Solvay Aroma Performance, Februar 2016.

<sup>5</sup> LED mit Schraubsockel und integrierter Elektronik.

## PCB-haltige Kondensatoren

# Wie gefährlich sind Kondensatoren?

Daniel Savi

**Kondensatoren können polychlorierte Biphenyle (PCB) enthalten, falls sie älter als rund 30 Jahre sind. Nach dem generellen Verbot der PCB 1986 stellt sich die Frage immer deutlicher, wie viele Kondensatoren im heutigen Rücklauf noch PCB enthalten. Für die Zukunft ist die Frage zu beantworten, ob neuere Kondensatoren umwelt- oder gesundheitsgefährdende Flüssigkeiten in solchen Mengen enthalten, dass weiterhin eine zerstörungsfreie Entfrachtung gefordert werden muss.**

### Welche Kondensatoren enthalten PCB?

PCB-haltige Kondensatoren sind meistens Metall-Papier-Kondensatoren, die mit PCB imprägniert wurden. Nach dem PCB-Verbot von 1986 kam es in der Kondensatorproduktion noch zu Verschleppungen der PCB, sodass ab 1990 davon ausgegangen werden kann, dass die Kondensatoren aller bedeutenden Hersteller PCB-frei sind. PCB sind in der Umwelt sehr stabil und besonders für Fische giftig. Weil sie sehr fettlöslich sind, werden sie in der Nahrungskette angereichert. PCB können auch zu chronischen Krankheiten führen, insbesondere Leberkrebs. Die Entsorgungspraxis ist deshalb darauf auszurichten, möglichst keine PCB-Verluste zuzulassen. Gemäss ChemRRV gelten Kondensatoren als schadstoffhaltig, wenn sie Öle mit mehr

als 50ppm PCB enthalten. Das Verbot in der ChemRRV bezieht sich nicht nur auf PCB, sondern alle polyhalogenierten aromatischen Stoffe. Daraus lässt sich herleiten, dass ein Gemisch aus Geräte-kondensatoren als PCB-frei gelten kann, wenn die Ölmischung aus diesen Kondensatoren weniger als 50ppm PCB enthält. Wie viele Kondensatoren dürfen demzufolge PCB-haltig sein, damit dieses Kriterium eingehalten wird? Unter der Annahme, dass das Öl in einem PCB-haltigen Kondensator als reines PCB-Gemisch vorliegt, kann diese Frage beantwortet werden. Es genügt bereits ein PCB-haltiger Kondensator auf 20000 Kondensatoren, damit die Ölmischung aus allen Kondensatoren 50ppm PCB enthält. Eine Hochrechnung auf

dürften 60Stück PCB-haltig sein, damit die gesamte Ölmischung aller Kondensatoren weniger als 50ppm PCB enthalten würde.

### Wie lange gibt es noch PCB-haltige Kondensatoren?

Es wird noch einige Zeit dauern, bis die Anzahl PCB-haltiger Kondensatoren einen Verzicht auf die Entfrachtung zulässt. Die wenigen verfügbaren Studien zeigen einen Rückgang der PCB-haltigen Kondensatoren in Haushaltsgrossgeräten von 8% im Jahr 1994 auf 4% im Jahr 2008 und 0,4% im Jahr 2013. Vorschaltgeräte aus FL weisen sowohl 1994 wie auch 2009 rund 70% PCB-haltige Kondensatoren auf. In Elektrokleingeräten fanden sich 2008 ca. 0,1% und 2013 ca. 0,4% PCB-haltige Kondensatoren (Eugster u. a., 2008; Gasser, 2009; in 't Groen, 2013; Müller, 1994).

Die aktuellen Zahlen sind inzwischen sehr tief, liegen aber immer noch über dem einen Stück pro 20000 Geräte (0,005%), das man für die Einhaltung des 50ppm-Kriteriums erreichen müsste. Eine Prognose, wann dieser sehr geringe Anteil PCB-haltiger Kondensatoren erreicht sein wird, ist aufgrund der wenigen bekannten Zahlen sehr schwierig. Fast zehn Jahre nach der letzten Erhebung in der Schweiz sollte die aktuelle Situation erneut untersucht werden. Mit der Kombination

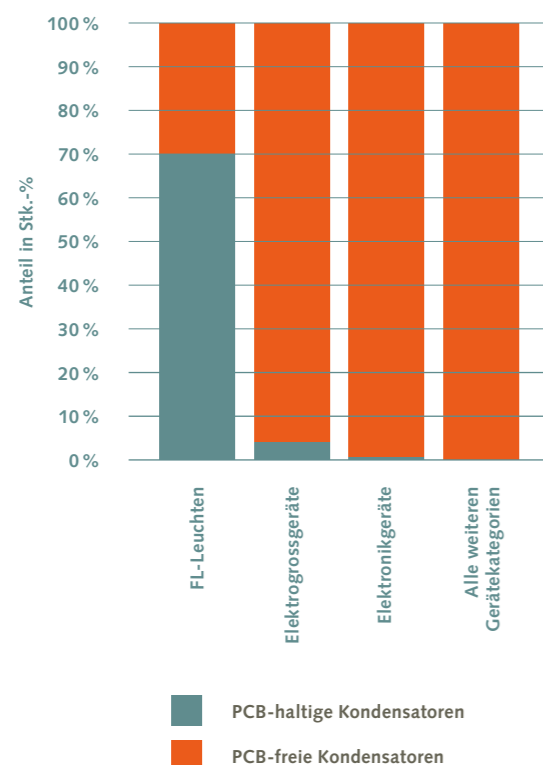
aus Erfahrungswissen und analytischer Bestimmung der Inhaltsstoffe kann mit vertretbarem Aufwand eine grosse Anzahl Kondensatoren hinsichtlich ihres PCB-Gehalts klassiert werden.



Abbildung 1: Gemischte Kondensatoren aus entsorgten Elektrogeräten

die Schweiz verdeutlicht die Grössenordnung dieser Anforderung. Pro Jahr werden durch die Schweizer Recycler ungefähr 1,2 Millionen Kondensatoren aus Elektrogeräten entfrachtet. Davon

**Abbildung 2: Geschätzte Anteile PCB-haltiger Kondensatoren >2,5 cm nach Gerätekategorien (Datenbasis: Studien SENS, Swico und SLRS 2008 und 2009)**



### Enthalten PCB-freie Kondensatoren bedenkliche Inhaltsstoffe?

Auch PCB-freie Kondensatoren sind nicht per se schadstofffrei. Gemäss den technischen Vorschriften von SENS und Swico müssen auch «Elektrolytkondensatoren, die bedenkliche Stoffe enthalten (Höhe >25 mm; Durchmesser >25 mm oder proportional ähnliches Volumen)», aus Altgeräten entfernt werden. Als Elektrolytkondensatoren – Kurzform Elko – werden gepolte Kondensatoren bezeichnet, deren negative Elektrode durch einen elektrisch leitfähigen flüssigen Elektrolyten gebildet wird. Auch ungepolte Kondensatoren können flüssige Imprägnierungen enthalten. Für die Festlegung einer umweltfreundlichen Entsorgung sind diese Flüssigkeiten auf bedenkliche Inhaltsstoffe zu untersuchen. Der Begriff «bedenkliche Stoffe» ist bisher nicht scharf definiert. In der Recyclingpraxis können jedoch nur solche Stoffe gemeint sein, die im Vergleich zu anderen Stoffen in Elektrogeräten besonders bedenklich

sind. Für künftige technische Vorschriften muss eine Auslegung dieses Begriffs durch die Technische Kommission Swico/SENS gefunden werden. Möglich sind beispielsweise eine Abstufung auf das Gefahrstoffkennzeichnungssystem und dessen H-Sätze, die Gewässertoxizität oder auch die Stabilität in der Umwelt und Fettlöslichkeit.

Bei den Elektrolytkondensatoren sind die nassen Aluminium-Elkos weitaus am weitesten verbreitet. Nach Literaturangaben (Hering u. a., 2014) können in aktuellen Alu-Elkos Elektrolyte verwendet werden, die das Kind im Mutterleib schädigen können und dazu gesundheitsschädlich bei Hautkontakt oder beim Einatmen sind. Kondensatoren für die Leistungselektronik werden überall dort eingesetzt, wo Spannungsspitzen auftreten können. In Elektrogeräten sind dies unter anderem Waschmaschinen, Geschirrspüler, Kopierer oder Mikrowellengeräte. Eine mögliche Bauform solcher Leistungskondensatoren sind MKV-Kondensatoren. Diese

Kondensatoren sind aus einem zweiseitig, mit einer Metallschicht bedampften Papier und einer dazwischenliegenden Kunststoffolie aufgebaut. Das Papier wird mit einem Öl imprägniert. Aus der PCB-Studie der Schweizer Rücknahmesysteme kennen wir bereits eine Anzahl möglicher Inhaltsstoffe dieser Öle. Darunter befinden sich solche, die das Kind im Mutterleib schädigen können, krebserregende und sehr toxische Stoffe für Gewässer.

Es wird festzulegen sein, welche Stoffklassierungen eine Substanz als «bedenklichen Stoff» qualifizieren, der eine besondere Behandlung in der Entsorgung erfordert und welche Stoffklassierungen den üblichen Gefahren im Umgang mit Elektroschrott entsprechen. Es ist derzeit noch verfrüht, eine Aussage darüber zu machen, wie die Entsorgungspraxis aussehen wird, wenn es keine PCB-Kondensatoren mehr gibt. Es ist jedoch nun an der Zeit, die nötigen Grundlagen für die kommenden Entscheide zu legen.

### Literatur

M. Eugster, A.-C. Chappot & U. Kasser (2008): PCB's in Small Capacitors from Waste Electrical and Electronic Equipments (September). SENS, Swico und SLRS

D. Gasser (2009): Pilotzerlegung Fluoreszenz-Leuchten; SENS

E. Hering, K. Bressler & J. Gutekunst (2014): Elektronik für Ingenieure und Naturwissenschaftler (6. Auflage); Berlin Heidelberg: Springer

B. A. F. in 't Groen (2013): Polychlorbiphenyls (PCBs) in the Dutch e-waste stream (74101765-CES/IPT 12-3248). Arnhem: KEMA Nederland B. V. Utrechtseweg 310, 6812 AR Arnhem

J. Müller (1994): Diffuse Quellen von PCB in der Schweiz, Schriftenreihe Umwelt Nr. 229. (BUWAL, Hrsg.). Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald & Landschaft

## Photovoltaikmodul-Recycling

# Die Krux mit den gefährlichen Bestandteilen

Ueli Kasser

**Die Stromherstellung aus Solarzellen gehört zu den vielversprechenden Zukunftstechnologien, die vermehrt gefördert werden sollen. Deshalb erstaunt es, dass im Bereich Recycling der Photovoltaikmodule noch vergleichsweise wenig geforscht und investiert wurde. Das Recycling wird vor allem dadurch erschwert, dass nicht alle PV-Module frei von gefährlichen Bestandteilen sind.**

Das Recycling von PV-Modulen in der Schweiz wurde Anfang 2015 gestartet und funktioniert nach dem ähnlichen Prinzip wie für anderen Elektroschrott. Es wird über das SENS-OnlineSystem abgewickelt, die technischen Anforderungen sind mit dem europäischen Standard vorgezeichnet,<sup>1</sup> und die Logistik in der Schweiz wird von zwei Firmen übernommen.<sup>2</sup> Die Mengen sind noch unbedeutend und haben letztes Jahr knapp 74 Tonnen ausgemacht. Relevante Mengen sind gemäss einschlägigen Prognosen erst mittelfristig zu erwarten. Europaweit werden für das Jahr 2025 ca. 20 000 Tonnen PV-Altmodule prognostiziert<sup>3</sup>, in Europa wurden in den sieben Jahren von 2010 bis 2016 insgesamt ca. 7 500 Tonnen PV-Altmodule gesammelt und verarbeitet.<sup>4</sup> Das ist weniger als 1% der gesamten E-Schrottmenge. Trotz dieser geringen Mengen ist es an der Zeit, die mit dem Recycling verbundenen Herausforderungen anzugehen.

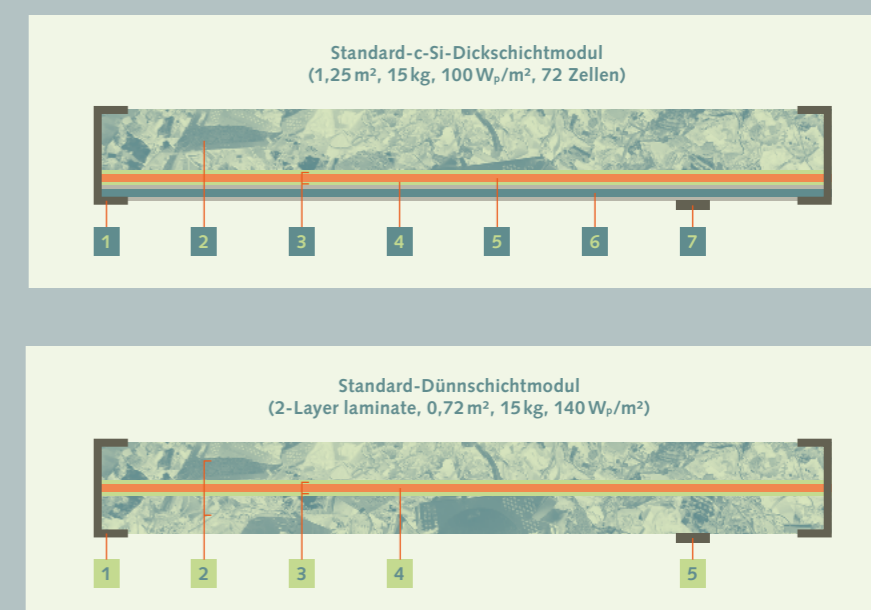
### Glas und Schadstoffe

Der mengenmässig wichtigste Werkstoff von Photovoltaikmodulen ist Flachglas mit 60 bis 75% Gewichtsanteil. Das Glas ist im Wesentlichen mit

Fensterglas identisch, allerdings wird dem Glas für PV-Module Antimon als Klärungsmitteladditiv zugefügt. Standardkonstruktionen von Dick- und Dünnschicht-PV-Modulen sind in Abbildung 1 dargestellt. Der unter den heutigen ökonomischen Bedingungen wertvollste Bestandteil ist der Aluminiumrahmen, der etwa 20 bis 25% des Gewichts ausmacht. Die eigentliche Funk-

tionsschicht aus Folien, Halbleitern und der Anschlussbox mit den elektrischen Leitern trägt nur wenig zum Gewicht bei. Die Sandwichkonstruktion aus Kunststofffolien und Glas erschwert das Recycling. Die Trennbarkeit ist eine Herausforderung, ähnlich wie bei den Verbund sicherheitsgläsern aus dem Bau- oder Automobilbereich.

**Abbildung 1: Standardkonstruktionen von Dick- und Dünnschicht-PV-Modulen**



### Dickschichtmodul

1. Modulrahmen, Aluminium, 20–25 %
2. Flachglas, 3–4 mm, 60–65 %
3. EVA, 2 × 300 µm, 6,5–8,0 %
4. Elektrische Leiter, Metall, 1 %
5. Halbleiter aus Siliziumwafer, 300 µm, 4–5 %
6. Rückseitenfolie, PET/PVF, 200 µm, 2,0–2,7 %
7. Anschlussdose, 0,8–1,4 %

### Dünnschichtmodul

1. Modulrahmen, Aluminium, 20 %
2. Flachglas, 2 × 3 mm, 75 %
3. EVA, PVB; PU, PE-Folie 200–300 µm, 3–4 %
4. Dünnschicht Halbleiter a-Si, Cd, In, Se, S, 3–8 µm, ca. 0,1 %
5. Anschlussdose, 0,8–1,4 %

### Dick und dünn

Um eine Risikobeurteilung der PV-Module vornehmen zu können, muss man die beiden, nach der Dicke der photoaktiven Halbleiterschicht klassierten Systeme unterscheiden (Abbildung 2). Die Bezeichnungen Dickschicht und Dünnschicht sind etwas verwirrend. Sie beziehen sich nur auf die Halbleiterschicht, nicht aber auf die Dicke der gesamten Module. Die Dickschichtmodule bestehen aus mono- oder polykristallinen Silizium-Halbleitern, die an der typischen Waferstruktur (Abbildung 3) erkennbar sind. Die etwa 300 bis 400 Mikrometer ( $\mu\text{m}$ )<sup>5</sup> dicke Halbleiterschicht aus reinem Silizium enthält keine Schadstoffe. Allerdings können metallisches Kupfer und Blei aus den Leitern und Lötstellen vorhanden sein, wie das in allen Elektro- und Elektronikgeräten der Fall ist. Die PV-Module mit siliziumbasierten Zellen werden in der Schweiz mit dem VeVA-Code 16 02 16 «ohne gefährliche Bestandteile» gekennzeichnet. Wer in der Lage ist, Dickschicht-Solarzellen von Dünnschicht-Solarzellen zu unterscheiden, kann sich sicher sein, dass er nur Abfälle «ohne gefährliche Bestandteile» im Sinne der VeVA vorliegen hat.

### Nicht alle sind so sauber, wie ihr Image

Anders ist die Situation bei den Dünnschicht-Modulen. Die Dünnschichtmodule mit den Halbleitertypen CdTe und CI(G)S müssen als Abfälle mit gefährlichen

Bestandteilen, d. h. mit dem [ak]-Code 16 02 97 gekennzeichnet werden. Hinter den Kürzeln verstecken sich die chemischen Elemente Cadmium, Tellur, Kupfer, Indium, Gallium und Selen. Ihre Verbindungen sind teilweise sehr toxisch. Cadmium ist in den meisten Anwendungsbereichen verboten.<sup>6</sup> Die Gehalte in den Dünnschichtmodulen sind relativ hoch. Sie werden in der Literatur für Cadmium mit 500 ppm und für Selen mit 100 ppm, bezogen auf das gesamte Modul, angegeben.<sup>7</sup> Nicht alle Dünnschichtmodule enthalten jedoch gefährliche Bestandteile. Die Module auf der Basis amorpher Silizium-Halbleiter (a-Si) sind «schadstofffrei» in der Nomenklatur der VeVA (Abbildung 2).

### Erkennen der schadstoffhaltigen Modultypen übers Netz

Während sich Dünn- und Dickschichtmodule visuell unterscheiden lassen, ist eine Unterscheidung innerhalb der Dünnschichtmodule zwischen den amorphen Si-Halbleitermodulen und den CdTe- bzw. CI(G)S-Modulen visuell nicht möglich. Das erschwert eine klare Trennung in die beiden Abfallkategorien nach VeVA. Diese Trennung stellt eine wichtige Leistung der schweizerischen Recyclingbetriebe von PV-Modulen dar. Sie entscheidet darüber, in welche ausländische Verwertung ein Modultyp gehen soll. Der Recyclingbetrieb muss die Unterscheidung von Modulen «mit» und «ohne gefährliche Bestandteile» anhand einer Moduldatenbank des Pho-

tovoltaikforums vornehmen.<sup>8</sup> In dieser Datenbank sind insgesamt etwa 86 000 Modultypen von weltweit ca. 1 500 Herstellern gelistet. Davon sind rund 60 000 nicht mehr im Handel, jedoch für die Abfallklassierung immer noch relevant. Zu jedem Typ ist das Halbleitermaterial angegeben, sodass sich die Klassierung eindeutig vornehmen lässt. Erleichternd ist der Umstand, dass PV-Module des gleichen Typs in der Regel in grösserer Stückzahl anfallen.

### Jeder sechste Modultyp ein [ak]-Abfall

Gemäss PV-Cycle, der europäischen Koordination der nationalen Rücknahmesysteme, wurden in den Jahren 2010 bis 2016 ca. 17% Module mit gefährlichen Bestandteilen und etwa 81% siliziumbasierte Module zurückgenommen und verarbeitet.<sup>9</sup> Allerdings wird die Dünnschichttechnologie CI(G)S nach neuesten Berichten wichtiger am Markt.<sup>10</sup> Die siliziumbasierten Module, die in der Schweiz anfallen, werden in zwei Flachglas-Recyclingbetrieben in Deutschland verarbeitet. Diese verwerten nur das abtrennbare Flachglas und den Aluminiumrahmen. Die hochwertigen Halbleiter werden nicht rezykliert, obwohl das hochreine mono- oder polykristalline Silizium grundsätzlich zurückgewonnen werden könnte.<sup>11</sup> Ökonomische Überlegungen dämpfen zurzeit noch die Investitionsbereitschaft in Recyclinganlagen, die über den Pilotmassstab hinausgehen. Die reinen Siliziumkristalle landen

heute hauptsächlich im Scherben-Recycling. Dieses wird in Schmelzanlagen verwendet, wo das Silizium nicht stört, aber auch wertlos ist.

### Wohin mit Dünnschichtzellen mit gefährlichen Bestandteilen?

Ähnlich wie bei den Flachbildschirmen sind auch bei den CdTe und CI(G)S-Dünnschichtmodulen noch einige Entsorgungsfragen offen. Gefordert sind hier Technologien, die in erster Linie die toxischen Stoffe Cadmium und Selen abtrennen und isolieren. Hersteller in Deutschland, die nach dem Gesetz für die Entsorgung verantwortlich sind, sollen denn auch schon Pilotanlagen für diese Aufgabe entwickelt haben. In Branchenkreisen weiss man jedoch noch nicht sehr viel über diese Technologien. Hier besteht in den nächsten Jahren Handlungsbedarf, denn auch in der Schweiz wurde bereits eine Serie von CI(G)S-Altmodulen bei einem Recyclingbetrieb zurückgegeben. Vorherhand werden diese separat gelagert. Die Entsorgung von PV-Modulen besteht zurzeit hauptsächlich darin, die schadstoffhaltigen von den nicht schadstoffhaltigen zu trennen, die ersteren zu lagern und die letzteren an die Flachglas-Recyclingbetriebe im Ausland zu liefern.

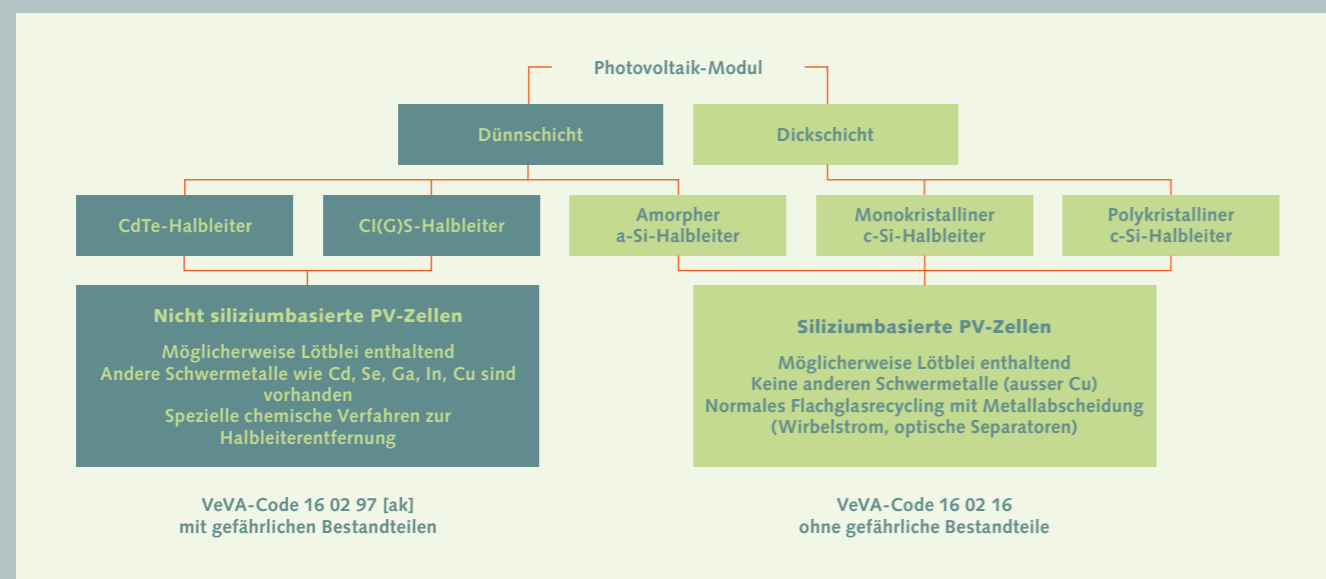
Abbildung 3: Eine visuelle Unterscheidung von Dünnschicht- und Dickschicht-PV-Modulen ist möglich.



Dünnschicht-PV-Modul

Dickschicht-PV-Modul

Abbildung 2: PV-Modultypen und ihre möglicherweise gefährlichen Inhaltsstoffe



<sup>1</sup> Die EN 50625-2-4 «Behandlung von PV-Modulen» und die technische Spezifikation dazu (TS 50625-3-5) sind in der Vernehmlassung bei den nationalen Normkommissionen.

<sup>2</sup> KWB Planreal AG in 9443 Widnau und GVZ GlasVerbundZukunft AG in 6252 Dagmarsellen.

<sup>3</sup> Recycling von PV-Modulen; Hintergrundpapier zum Round Table 2013, Hrsg.: green jobs Austria, Wien undatiert.

<sup>4</sup> Operational Status Report Europe 01/2016, PV Cycle, www.pvcycle.org, 12. Februar 2016.

<sup>5</sup> Das entspricht 0,3 mm.

<sup>6</sup> Cadmium in Photovoltaikmodulen ist nach geltenden Bestimmungen im Inland (CHemRRV) bzw. in Europa (RoHS-Direktive) vom Verbot ausgenommen.

<sup>7</sup> Z. B. Studie zur Entwicklung eines Rücknahme- und Verwertungssystem für photovoltaische Produkte, K. Sanders, ökopool, Hamburg, November 2007.

<sup>8</sup> www.photovoltaikeforum.com

<sup>9</sup> Operational Status Report Europe 01/2016, PV Cycle, www.pvcycle.org, 12. Februar 2016.

<sup>10</sup> Gemäss eines Berichts des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) 2016, Helmholtz-Zentrum Berlin 2016, auf solarmedia.blogspot.ch am 26. Januar 2016.

<sup>11</sup> Tao j., Yu S.; Review on feasible recycling pathways and technologies of solar photovoltaic modules; Solar Energy Materials & Solar Cells 141(2015), 108–124.

## Batchversuche Swico

# Batchversuche: Ist ein Leistungsvergleich möglich?

Heinz Böni, Roger Gnos, Patrick Wäger & Rolf Widmer

**Mit dem Ziel, die Einhaltung der in den technischen Vorschriften von SENS und Swico vorgegebenen Recycling- und Verwertungsquoten zu überprüfen, werden bei den Verarbeitungspartnern von SENS und Swico regelmässige Batchversuche durchgeführt. Vor dem Hintergrund einer besseren Vergleichbarkeit wurden die Swico-Batchversuche 2015 mit einer konfektionierten Inputmenge durchgeführt. Ziel ist es, herauszufinden, wie sich die beim Recycling erreichten Quoten zwischen den Betrieben unterscheiden, und die Frage zu klären, ob ein Leistungsvergleich möglich ist.**

Vorgabe an das Inputmaterial eines Batchversuches (Testchargenverarbeitungen nach CENELEC 50625-1) ist, eine den Wareneingang repräsentierende Menge an Geräten zu verarbeiten. Aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung der Inputs bei den Recyclern sind die Resultate dieser Versuche jedoch nur bedingt vergleichbar. Wiederholt wurde von den Recyclingpartnern ihre qualitativ schlechte Materialzusammensetzung als Begründung für das knappe Erreichen der Quoten angeführt.

Seit Einführung der Warenkorbanalyse 2.0 (siehe Fachbericht 2015) ist Swico in der Lage, die Zusammensetzung im Warenkorb detailliert zu bestimmen. So lassen sich Gruppen, Geräte, Bauteile und sogar der Zustand der Geräte (z. B. mit/ohne Kabel oder Batterie) erfassen. Warenströme können direkt bei der Annahmestelle, beim Recycler oder

auch kundenspezifisch erhoben werden (z. B. nach Hersteller, Produkt, Typ, Alter usw.). Erst diese Analysemöglichkeiten erlauben es, den Input für einen Batchversuch realitätsnah zu konfektionieren und so bei allen Verarbeitungspartnern nahezu analoge Batchversuche (Testchargenverarbeitungen nach CENELEC 50625-1) durchzuführen.

### Inputzusammensetzung und verarbeitete Mengen

Swico hat 2015 zusammen mit der Empa ein in Europa pionierhaftes Projekt gestartet: die Durchführung eines Batchversuches mit konfektionierter Eingangsmenge. Die Mischung aus verschiedenen Gerätetypen aus Informations- und Kommunikationstechnologien (Kategorie 3 gemäss WEEE-Direktive) sowie Unterhaltungselektronik (Kategorie 4, ohne Photovoltaik) wurde derart festgelegt, dass diese ungefähr der durchschnittlichen Zusammensetzung des Materialflusses im Swico-System entspricht, wobei die Bildschirmgeräte nicht berücksichtigt wurden, da diese in einem gesonderten Recyclingkanal verarbeitet werden. Die resultierende Zusammensetzung ist in Tabelle 1 zusammengestellt.

### Recycling- und Verwertungsquoten

In der Schweiz sind in den geltenden gesetzlichen Bestimmungen gemäss der Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte (VREG) vom 14. Januar 1998 keine minimalen Recycling- und Verwertungsquoten gefordert. Auch im Anhörungsentwurf zur revidierten VREG sind keine Mindestquoten vorgesehen. Dies im Ge-

gensatz zum Pendant auf europäischer Ebene, der WEEE-Direktive<sup>1</sup>, welche bereits in ihrer ersten Fassung von 2003 solche Mindestquoten vorgab.

In den Verarbeitungsvorschriften von SENS und Swico werden seit 2008 minimale Recycling- und Verwertungsquoten gefordert. Die Recyclingquote bezeichnet dabei den auf die Gesamtmenge an verarbeiteten Geräten bezogenen Anteil, welcher einer stofflichen Verwertung (Recycling) zugeführt wird, während die Verwertungsquote zusätzlich den Anteil, welcher thermisch verwertet wird, berücksichtigt. Gemäss der aktuellen Version der technischen Vorschriften von SENS und Swico muss für die Kategorien 3 (IT- und Telekommunikationsgeräte) sowie 4 (Unterhaltungselektronik) eine Recyclingquote (RQ) von 65% und eine Verwertungsquote (VQ) von 75% erreicht werden. Diese genannten Minimalquoten gelten auch dann, wenn keine Bildschirmgeräte im Gerätstrom enthalten sind.

Seit dem 15. August 2015 gelten gemäss der europäischen WEEE-Direktive verschärfte Anforderungen. Die minimalen Quoten wurden um 5% angehoben, sodass die Mindestquoten im Falle der Kategorien 3 und 4 nun neu 70% für das Recycling und 80% für eine Verwertung betragen. SENS und Swico haben die erhöhten Quoten noch nicht eingeführt, sodass weiterhin die bisherigen Mindestquoten gelten.

Tabelle 1: Konditionierung des Batches

Gerätetypen	Vorgabe in t bzw. %		Maximale Abweichung *
PC/Server	2850	23,9 %	2,9 %
Drucker	2570	21,6 %	2,5 %
Radios	2000	16,8 %	0,5 %
Boxen/Lautsprecher	1470	12,3 %	0,5 %
Festnetztelefone	750	6,3 %	5,3 %
Tastaturen	630	5,3 %	0,7 %
Notebook, Laptop, Powerbook	600	5,0 %	1,6 %
Switch	450	3,8 %	0,1 %
Router/Modem	300	2,5 %	0,1 %
Verstärker	300	2,5 %	0,1 %
<b>Total</b>	<b>11920</b>	<b>100 %</b>	

\* Maximale Abweichung bei den jeweiligen Gerätetypen gegenüber der Vorgabe (fünf von sechs Betrieben berücksichtigt)

### Durchführung

Für die Konfektionierung der rund zwölf Tonnen Inputmaterial wurde das Material während rund drei Wochen mit zwei Mitarbeitenden aus dem jeweiligen Entsorgungsgebiet des Recyclers zusammengestellt. Anschliessend wurden die Altgeräte dem jeweiligen Recycler übergeben. Die Recycler mussten die Geräte wie im Normalbetrieb vorzerlegen und anschliessend einen Teil davon mechanisch verarbeiten. Die Empa begleitete die Vorzerlegung punktuell und die mechanische Verarbeitung vollständig. Der gesamte Verarbeitungsprozess wurde jeweils in einem detaillierten Verfahrensbild gemäss CENELEC 50625-1, Anhang C, abgebildet. Alle internen und externen Materialflüsse wurden erfasst; bei einzelnen Recyclern wurden dabei bis zu 50 Fraktionen unterschieden. Von der gesamten Inputmenge wurden bis ca. 40% manuell zerlegt und gelangten nicht in eine mechanische Verarbeitung.

Die Daten aus dem Versuch wurden in das vom europäischen WEEE-Forum für die Auswertung von RQ und VQ entwickelte Reporting Tool «RepTool»<sup>2</sup> übertragen. In diesem Tool wird jeder Fraktion ein Verarbeitungsprozess zugeordnet, der neue Fraktionen erzeugt, die in weiteren Prozessen verarbeitet werden. Diese Verarbeitungskette wird fortgeführt, bis alle Fraktionen recycelt oder beseitigt sind. Dies gilt auch für die Weiterverarbeitung bei Zweitaabnehmern, insbesondere für die Aufbereitung gemischter Fraktionen zur Rückgewinnung von Metallen bzw. von Kunststoffen. Es muss deshalb bekannt sein, wie die externen Prozesse ablauf-

fen und welche Quoten dort jeweils erreicht werden. Diese Information stammt entweder aus Versuchsaufarbeitungen beim Recycler oder beim Zweitaabnehmer, aus Stoffflussnachweisen, in welchen der Abnehmer die Prozesse und Fraktionen deklariert, oder, bei bekannten Prozessen, aus Literaturangaben.

### Batterien und Kondensatoren

Zusätzlich zur Erfassung der einzelnen Materialströme wurden alle entnommenen Batterien und Kondensatoren gesammelt. Für das Batteriegemisch ist vorgesehen, den Massenanteil der Lithium-Batterien sowie deren Energieinhalt und Zustand zu bestimmen. Für das Kondensatoremisch sollen bei Bedarf Analysen der Inhaltsstoffe, ins-



Auswahl an Fraktionen aus der händischen Vorzerlegung

besondere der Elektrolyten, vorgenommen werden.

Im Weiteren wurden bei den Recyclern Proben der Feinstfraktion (Staub und RESH) entnommen. Diese werden auf PCB-, Kupfer-, Quecksilber- und Cadmiumgehalt untersucht, was Rückschlüsse auf die Schadstoffentfrachtung erlaubt.

### Resultate und Ausblick

Die individuellen Resultate werden den Recyclern in Form eines Berichtes zugänglich gemacht werden, bleiben darüber hinaus jedoch vertraulich. Dank den detaillierten Resultaten wird es dem Recycler möglich sein, festzustellen, wo er noch Verbesserungspotenzial hat und wie er sich im Quervergleich mit den anderen Recyclern einordnet. Für den Systembetreiber Swico wird es wichtig sein zu wissen, ob es zwischen den einzelnen Recyclern grosse Unterschiede gibt und ob die Betriebe die in Europa geltenden erhöhten Anforderungen einhalten können.

Da 2015 nicht alle Versuche abgeschlossen werden konnten, liegen die Resultate des Projektes noch nicht vor.

Der Aufwand für Batchversuche mit konditioniertem Eingangsmaterial ist sehr gross. Die jährlichen Pflichtversuche werden deshalb kaum so durchgeführt werden können; denkbar ist jedoch, solche Versuche alle drei bis fünf Jahre zu wiederholen, um zumindest Trends in den vergleichbaren Daten zu erkennen.

<sup>1</sup>Richtlinie 2012/19/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte

<sup>2</sup>www.wf-reptool.org



## Kühlgeräte

# Kühlgeräte (Reportingperiode 2015)

Gerü Hug & Niklaus Renner

**Obwohl heute in Europa keine Kühlgeräte mehr hergestellt werden, deren Kompressoren oder Isolationsschäume klimaschädigende Fluorchlorkohlenwasserstoffe enthalten, gelangen am Ende ihrer Lebensdauer nach wie vor eine grosse Anzahl solcher Geräte in die Rückproduktion. 2015 wurden von den hochspezialisierten vier Schweizer Recyclingbetrieben 360 000 Kühlgeräte oder 18 000 Tonnen rezykliert, was erneut eine Zunahme von 4 % bedeutet. Rund 40 % dieser Geräte sind noch vom alten Typ FCKW/HFCKW. Die Anteile der umweltfreundlicheren HC-Geräte nimmt jedoch stetig zu.**

### HC-Geräte weiter im Vormarsch

Auch 2015 vorschob sich der Trend weiter zu den HC-betriebenen Kompressoren hin: 2015 waren bereits 56% (+6 % im Vergleich zum Vorjahr) der auf Stufe 1 verarbeiteten Geräte solche mit HC-Kompressor (ausgezogene rote Linie in Abbildung 1). Ammoniakhaltige Absorbersysteme machten noch 3% aller Geräte aus.

Bei den Isolationsschäumen zeigen die Erhebungsdaten eine analoge Tendenz. Diese machte sich hier allerdings schon früher bemerkbar, da die Substitution von R11 durch Cyclopentan auf direktem Weg verlief (ohne Zwischenstation teilhalogenierte FCKW wie im Fall der Kältemittel). Aktuell bestand bei 62% aller ins Recycling gelangenden Kühlgeräte die Isolation aus Cyclopentan-geschäumtem Polyurethan (PU), womit sich im Vergleich zum Vorjahr auch hier die Zunahme im erwarteten Ausmass bewegte (+2%).

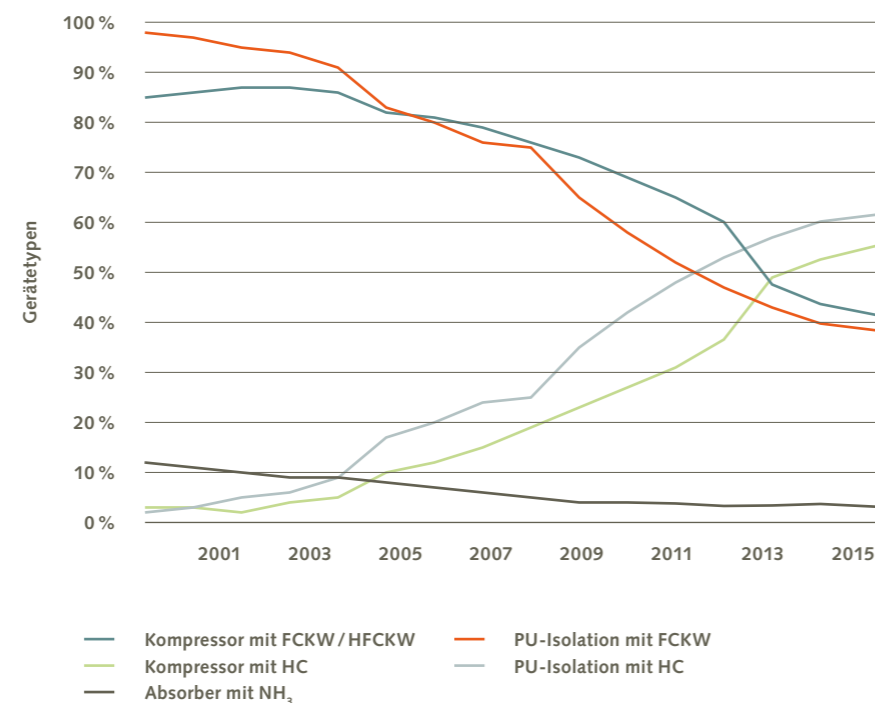


Abbildung 1: Entwicklung der auf Stufe 1 (FCKW / HFCKW- und HC-haltige Kompressoren, ammoniakhaltige Absorbersysteme) und Stufe 2 behandelten Gerätetypen (FCKW- und HC-haltiger PU-Isolationsschaum)

### Wie im Input, so im Output

Unabhängig von der kontinuierlich hohen Qualität der Recyclinganlagen sinken die Mengen an zurückgewonnenen Kälte- und Treibmitteln, seit auch ausgediente HC-Geräte in die Rückproduktion gelangen. Deren Kompressorfüllmengen bzw. -konzentration im PU-Schaum bewegen sich um weit weniger als die Hälfte der Vergleichswerte von FCKW-Geräten, weshalb die absoluten Rückgewinnungsmengen (nicht aber die Rückgewinnungsquoten) am Abnehmen sind.

Konnten 2010 auf Stufe 1 aus jedem Kompressor noch 99 Gramm Kältemittel abgesaugt werden, waren es letztes Jahr 81 Gramm und in der aktuellen Erhebungsperiode noch 79 Gramm. Damit hat sich die Menge seit 2010 um 20% verringert. Die Ölmenge belief sich 2010 auf 217 Gramm und sank bis 2014 auf 186 Gramm. 2015 betrug sie 189 Gramm (-13% im Vergleich zu 2010). Aufgrund der beobachteten Abnahme auch beim Kompressoröl liegt der Schluss nahe, dass bei den modernen Geräten inputseitig auch geringere Ölmenngen verwendet wurden.

Auf Stufe 2 wurden um die Jahrtausendwende noch Mengen um 90 Gramm pro Kilogramm PU zurückgewonnen, danach sank diese Zahl kontinuierlich. 2014 lag die Menge bei 55 Gramm. Im aktuellen Erhebungsjahr änderte sich dieser Wert mit 54 Gramm kaum (Abbildung 2). Die Daten sind konsistent, mit einem moderaten Rückgang bei den FCKW-Gehäusestückzahlen und der erwähnten Abnahme des spezifischen Gewichts des als Gemisch aus FCKW, HFCKW und HC zurückgewonnenen Treibmittels.

### Rückgewinnung der FCKW resultiert in grosser CO<sub>2</sub>-Einsparung

Das durch die Vorgabe der SENS definierte, hochgesteckte Ziel einer 90-prozentigen Rückgewinnung der Kältemittel und Treibgase ist punkto Umweltschutz doppelt relevant: Einerseits gilt es, die in Kompressoren und PU-Isolationsschäumen enthaltenen FCKW aus Gründen ihres ozonschichtabbauenden Potenzials (ODP, Ozone Depletion Potential) aus dem Abfallstrom zu entfernen. Andererseits verfügen diese Substanzen über ein Treibhauspotenzial (GWP, Global Warming Potential), welches jenes von CO<sub>2</sub> um das Tausend- bis Zehntausendfache übersteigt (Tabelle 1). Auch aus diesem Grund ist die Rückgewinnung und anschliessende kontrollierte Zerstörung der Kälte- und Treibmittel (und ihre Verwandlung in weit weniger klimawirksames Kohlendioxid sowie in Wasser und Säuren bzw. Salze) ein wichtiger Beitrag zum Umweltschutz.

Die Menge der durch kontrollierte Rückgewinnung der jeweiligen Substanzen auf Stufe 1 (Kältemittel) und Stufe 2 (Treibmittel) der Atmosphäre erspart bleibenden klimawirksamen Gase betrug im aktuellen Erhebungsjahr rund 390 000 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Diese beträchtliche Menge entspricht einem Würfel mit einer Seitenlänge von rund 600 Metern, bestehend aus reinem CO<sub>2</sub> (Abbildung 3). Die Dimension des Würfels übertrifft die Gebäudehöhe des Zürcher Prime Towers um das über 4,5-fache!

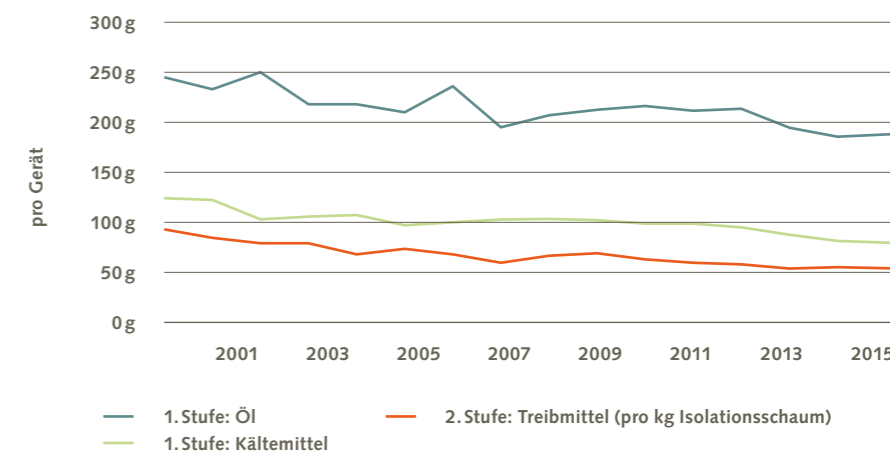


Abbildung 2: Entwicklung der Rückgewinnungsmengen auf Stufe 1 (Gramm Kältemittel und Öl, pro Gerät) bzw. Stufe 2 (Gramm Treibmittel pro Kilogramm Isolationsschaum)

Substanz	Ozonschichtabbauendes Potenzial (ODP)	Treibhauspotenzial (GWP) mit Zeithorizont 100 Jahre
	R11-Äquivalente	CO <sub>2</sub> -Äquivalente
<b>Kältemittel (1. Stufe)</b>		
FCKW-12 (R12)	1	10900
FCKW-134a (R134a)		1430
Isobutan (R600a)		3
<b>Treibmittel (2. Stufe)</b>		
FCKW-11 (R11)	1	4750
Cyclopentan (CP)		<25

Tabelle 1: Ozonschichtabbauendes Potenzial (ODP) und Treibhauspotenzial (GWP) der in Kühlgeräten verwendeten Kälte- und Treibmitteln; Quellen: BAFU (2013), EPA (2016), IPCC (2007)

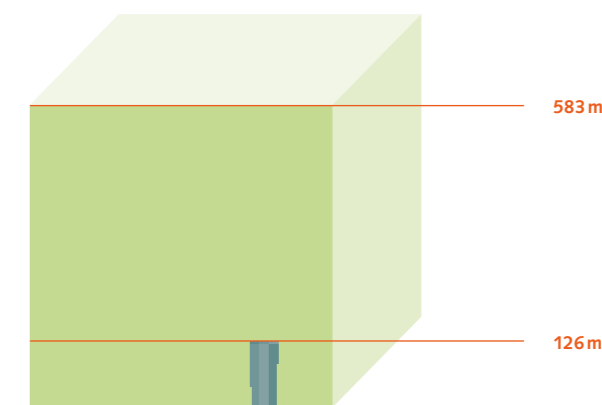


Abbildung 3: Durch die kontrollierte Rückproduktion von Kühlgeräten 2015 eingesparte Menge an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, dargestellt als CO<sub>2</sub>-Würfel (Standardbedingungen); zum Vergleich: der Prime Tower in Zürich

## Bildröhrengeräte

# Künftige Entsorgung von Bildröhrengeräten in der Schweiz

Rolf Widmer

**Die Bildschirmröhre, eine Kathodenstrahlröhre oder Englisch Cathode Ray Tube (CRT), die in TV-Geräten und PC-Monitoren weit verbreitet war, wurde in den letzten Jahren von neuen Bildschirmtechnologien wie Flüssigkristallanzeigen abgelöst. Dadurch ist die Nachfrage nach Bildschirmglas für die Produktion neuer Bildschirmröhren zusammengebrochen und ein «Closed-Loop-Recycling» von Bildschirmröhren zu Bildschirmröhren ist damit nicht mehr möglich. Es sind somit alternative Optionen für das Recycling in andere Produkte (Open-Loop-Recycling), sowie für ihre umweltverträgliche Beseitigung erforderlich.**

Die Bildröhre macht gewichtsmässig bis zu rund 85% der Masse des Bildschirmgerätes aus. Sie besteht aus ca. 65% Schirm- oder Frontglas (ein Barium-Strontium-Glas), sowie 30% Trichter- oder Konusglas und 5% Halsglas (beides Bleiglas). Das Open-Loop-Recycling von Frontglas in Produkte wie Flaschen (Hohlbehälterglas) ist Stand der Technik, weshalb in der vorliegenden Studie keine alternativen Anwendungen für bleifreies Frontglas untersucht wurden. Im Gegensatz dazu ist

Open-Loop-Recycling von Konusglas und Halsglas wegen des hohen Bleigehalts schwierig, da Blei in den meisten Glasanwendungen unerwünscht ist. Im Rahmen der Studie wurden acht Open-Loop-Recycling-Optionen und drei Beseitigungsoptionen für Konusglas und Halsglas in Bezug auf technische, gesundheitliche, ökologische und wirtschaftliche Kriterien beurteilt. Zusätzlich wurde der jährliche Bedarf an CRT-Bleiglas für jede dieser Recyclingmöglichkeiten abgeschätzt und mit Literaturwerten der weltweit entsorgten CRT-Bildschirme verglichen. Alle eva-

luierten Optionen könnten CRT-Bleiglas verwenden, ohne die technischen Merkmale der Produkte zu beeinträchtigen. Vier der acht Open-Loop-Recycling-Optionen würden jedoch Bleiglas in Produkten verwenden, für die Blei nicht notwendig ist und in Auslaugtests Blei freisetzen. Zusätzlich zeigt sich, dass wegen der weiten räumlichen Verteilung der Produkte, z. B. von Bleiglas als Sandersatz in Beton, Blei in diesen Produkten unwiederbringlich verloren ginge.

Aufgrund des Vergleichs der verschiedenen Optionen konnten drei geeignete Recyclingoptionen gefunden werden: 1. Gewinnung von (metallischem) Blei aus CRT-Bleiglas für dessen weitere Verwendung in beispielsweise Blei-Säure-Batterien, 2. Verwendung des Bleiglasses als Quarz-Flussmittel in Kupfer- und Bleihütten und 3. Verwendung von Bleiglas zur Verglasung (Vitrifikation) von Abfällen. Von den Beseitigungsoptionen sind alle drei geeignet, wobei ein zeitlich beschränktes Zwischenlager die beste Beurteilung erhalten hat.

In der Schweiz erreichte das Bildschirmglaslager seinen Höchststand von ca. 120 000 Tonnen im Jahre 2000 mit einem maximalen Abfluss ins Recycling von ca. 11 500 Tonnen im Jahre 2012. Gemäss Angaben der Recycler reduzierten sich bis Ende 2015 die weit



Abbildung 1: (oben) die Braun'sche Kathodenstrahlröhre von 1900 und (unten) ein CRT-Bildschirmlager in Kapstadt, Südafrika

verzweigten Verwertungsoptionen für Bildschirmröhren, welche es im Jahre 2008 noch gab, im Wesentlichen auf einen einzigen ausländischen Abnehmer für unreine, gemischte CRT-Glasscherben. Dies birgt nicht unerhebliche Risiken, zumal andere namhafte Abnehmer für schweizerisches CRT-Glas ihren Betrieb vor Kurzem wegen Insolvenz einstellen mussten. Ab 2016 sind nach den Modellrechnungen noch ca. 30 000 Tonnen CRT-Glas (also ca. 10 000 Tonnen Bleiglas) im Lager, welches sich nach 2020 mit Abflüssen unter 2 000 t/a bis 2025 entleert haben wird.

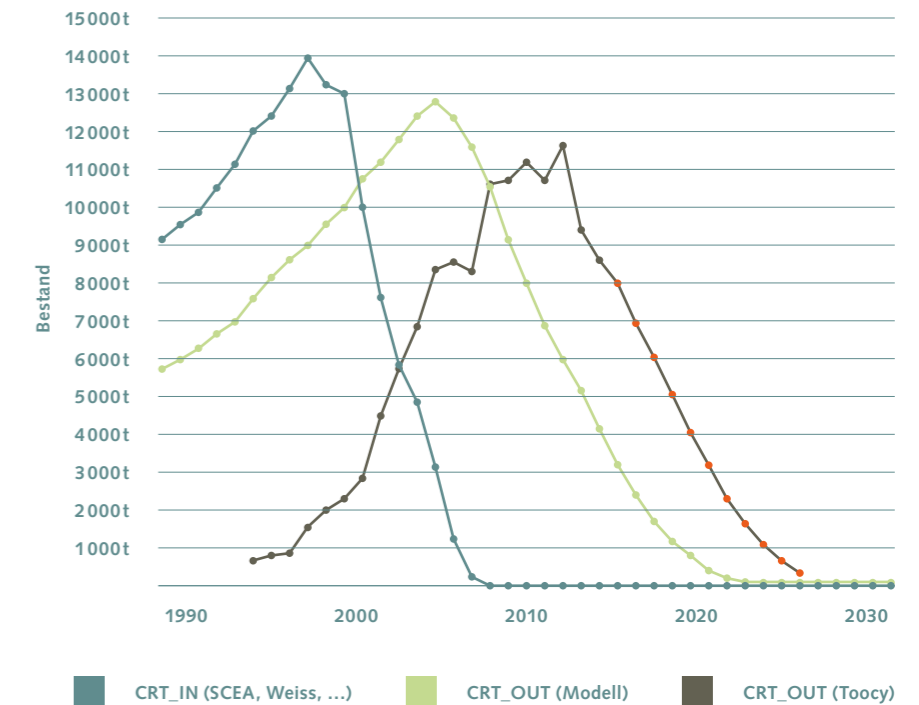
Um diese nicht unerheblichen Mengen in einem Notfall zu handhaben, braucht es eine Alternativlösung, wie z. B. das Reinigen und Zwischenlagern der Scherben in der Schweiz.

Die Einführung der Europäischen CENELEC-Norm EN 50625 bedingt in der Schweiz Änderungen in der heutigen Praxis der CRT-Bildschirmverarbeitung:

- Die Handhabung von intakten CRT-Geräten darf keine Beschädigung des Glaskolbens zur Folge haben. Die dafür notwendigen Massnahmen sind zu dokumentieren.
- Die Freisetzung von Schadstoffen (Leuchtstoffe und Bleiglasstaub) muss verhindert und dies explizit nachgewiesen werden.
- Die wirksame Abtrennung der Bildröhre vom Bildschirmgerät bzw. des Bleiglasses sowie der Leuchtschicht vom Pb-freien Glas sind gemäss TS 50625-3-3 nachzuweisen.
- Mit Leuchtstoff und Glasstaub kontaminierte CRT-Glasscherben müssen als gefährlicher Abfall [S] betrachtet und entsprechend klassiert und behandelt werden (dieser Punkt ist noch mit dem BAFU abzusprechen).

Für die kommenden Jahre, insbesondere aber auch für die Erarbeitung des «Standes der Technik» im Rahmen der VREG-Revision unter Leitung des BAFU, muss der CRT-Verarbeitung weiterhin Beachtung geschenkt werden.

Abbildung 2: CRT-Glas in der Schweiz – Bestand und Flüsse



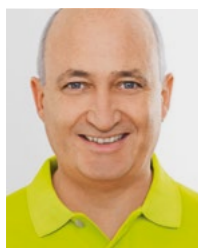
Modell- und Messdaten der Schweizer CRT-Glasflüsse in Jahrestonnen. Daten für den Rücklauf «CRT\_OUT (Toocy)» sind bis 2014 erhoben, ab 2015 (●) berechnet. Daten für «CRT\_IN (SCEA, Weiss, ...)» sind ab 1995 (TV) und ab 1985 (PC) erhobene Verkaufszahlen. «CRT\_OUT (Modell)» zeigt den bereits 2006 simulierten Rücklauf. Die Simulation verwendete eine gaussverteilte Marktverweildauer der Bildröhrengeräte bis zu ihrer Entsorgung ( $\mu=10$ ;  $\sigma=3$  für TV und  $\mu=7$ ;  $\sigma=1,5$  für PC). Der reale Rücklauf ist um ca. 5 Jahre verzögert, und die mittlere Verweildauer für TV wurde auf 15 Jahre ( $\mu=15$ ) kalibriert.

## Autoren



### Heinz Böni

Nach der Ausbildung zum Dipl. Kulturingenieur an der ETH Zürich sowie einem Nachdiplomstudium in Siedlungswasserbau und Gewässerschutz (NDS / EA-WAG) 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 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) sowie ad interim die Abteilung Technologie und Gesellschaft. Er ist seit 2009 Leiter der Technischen Kontrollstelle von Swico Recycling sowie seit 2007 Kontrollexperte von Swico und der Stiftung SENS.



### Roman Eppenberger

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 leitet den Bereich Operations. In dieser Funktion koordiniert er zusammen mit Heinz Böni die Technische Kommission Swico / SENS.



### Emil Franov

Nach dem Studium der Umweltwissenschaften an der ETH Zürich mit den Schwerpunkten analytische Umweltchemie und aquatische Systeme war Emil Franov fünf Jahre als Umweltberater in einem internationalen Dienstleistungsunternehmen tätig. Seit 2001 arbeitet er bei der Carbotech AG in Ba-



### Geri Hug

Nach dem Chemiestudium und anschliessender Dissertation am Organisch-chemischen Institut der Universität Zürich war Geri Hug wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter bei der Roos+Partner AG in Luzern. Von 1994 bis 2011 war er Partner, ab 1997 auch Geschäftsführer der Roos+Partner AG. Er bietet Umweltberatung in 15 Branchen gemäss EAC-Codes, begleitet Umweltaudits und erstellt Umweltverträglichkeitsberichte gemäss UVPV. Weiter erstellt Geri Hug Kurzberichte und Risikoanalysen nach StFV sowie Betriebs- und Produkteökobilanzen und validiert Umweltberichte. Geri Hug ist Kontrollbeauftragter der Stiftung SENS für den Bereich Elektro- und Elektronikentsorgung sowie Lead-Auditor für Umweltmanagementsysteme nach ISO 14001 bei der SGS. Er ist Mitglied der CENELEC-Arbeitsgruppe für die Entwicklung von Standards zum umweltgerechten Recycling von Kühlgeräten.



### Ueli Kasser

Dipl. chem. / lic. phil. nat. an der Universität Bern und der ETH Zürich sowie Absolvent des INDEL (Nachdiplomkurs über Probleme der Entwicklungsländer). Nachdem er zuerst als freier Mitarbeiter in den Bereichen Radioökologie, Ökotoxikologie und Arbeitshygiene tätig war, wurde er Mitinhaber von ökoscience – Beratungsbüro für angewandte Ökologie in Zürich sowie Projektleiter in den Bereichen Lufthygiene, Umweltberatung und Ökotoxikologie. Bis heute

sel als Berater und Projektleiter mit den Schwerpunkten Umweltberatung, Ökobilanzen und Compliance mit umweltrelevanten Anforderungen (Umweltaudits, Umweltkennzahlen, Umweltrecht usw.). Er hat diverse Mandate für jährliche Betriebsökobilanzierungen und Umweltkennzahlen-Erhebungen nach diversen internationalen Standards. Seit 2002 ist er Kontrollexperte und Mitglied der Technischen Kommission der Stiftung SENS. Emil Franov ist Bereichsleiter und Mitglied der Geschäftsleitung der Carbotech AG.

ist Ueli Kasser Inhaber des Büros für Umweltchemie in Zürich, welches auf Beratungen in den Bereichen Abfall, Chemikaliensicherheit, Baustoffökologie und Innenraumluftqualität spezialisiert ist. Neben seiner Lehrtätigkeit ist er Auditor für Umweltmanagementsysteme nach ISO 14001. Seit Mitte der Neunzigerjahre ist Ueli Kasser Kontrollexperte für Recyclingbetriebe im Auftrag der Stiftung SENS, erarbeitet die Standards und Richtlinien für die Kontrolltätigkeit und ist Vertreter der Stiftung SENS im Europäischen Verband sowie Consultant im Europäischen Normenprojekt WEEELABEX.



### Niklaus Renner

Niklaus Renner studierte Umweltwissenschaften an der ETH Zürich. Seit 2007 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Roos+Partner AG Luzern tätig. Im Rahmen diverser Studien befasst er sich mit der Umweltverträglichkeit des Altmittel- und Altgeräterecyclings. Für die Stiftungen SENS und SLRS war er unter anderem an einer Erhebung zum Quecksilbergehalt von Fraktionen der Leuchtmittelverarbeitung beteiligt. Daneben gehören das Monitoring des Umweltrechts, die Pflege des Legal-Compliance-Tools LCS.pro sowie interne Umweltrechtskonformitäts-Audits zu Niklaus Renners Aufgaben. Betriebskontrollen für das Umwelt-Inspektorat AGVS (Autogewerbeverband) und seit 2013 bodenkundliche Baubegleitungen runden sein Profil ab.



### Daniel Savi

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



### Deepali Sinha Khatriwal

Deepali Khatriwal erhielt ihren Dokortitel an der Universität St. Gallen (HSG) mit einer Arbeit über Prognosen zu Abfallströmen der End-of-Life-Gebrauchsgüter. Vor ihrem Promotionsstudium machte sie ihren BWL-Master in Internationalem Management an der HSG. Ihre Arbeit im Bereich «E-Waste» begann sie bei der EMPA, von 2004 bis 2009 arbeitete sie am Schweizer Elektroschrottprogramm. Seitdem hat Deepali Khatriwal weltweit an verschiedenen Projekten mitgearbeitet, die im Zusammenhang mit Elektroschrott stehen. Insbesondere war sie massgeblich am Kapazitätenaufbau unter der Schirmherrschaft der E-Waste Academy der STEP-Initiative beteiligt, bei der es sich um ein von der UN unterstütztes Forum für den Bereich Elektroschrott handelt.



### Esther Thiébaud

Nach der Ausbildung zur Umweltingenieurin mit Schwerpunkt Stoffhaushalt und Entsorgungstechnik an der ETH Zürich arbeitete Esther Thiébaud als Projektleiterin im Bereich Altlasten bei der BMG Engineering AG in Schlieren. Seit 2007 arbeitet sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Gruppe CARE (Critical Materials and Resource Efficiency) der Empa im Bereich der Analyse und Modellierung nationaler und globaler Stoffströme im Zusammenhang mit zukunftsächtigen Technologien und der darin enthaltenen Materialien. Seit 2012 arbeitet Esther Thiébaud an ihrer Dissertation.



### Patrick Wäger

Nach dem Chemiestudium an der ETH Zürich und einer anschliessenden Dissertation am Institut für Toxikologie der ETH und Universität Zürich war Patrick Wäger zwei Jahre als Umweltberater bei der Elektrowatt Ingenieurunternehmung in Zürich tätig. Seither hat er als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter an der Empa in zahlreichen Forschungsprojekten zu Abfallentsorgung und Rückgewinnung von Rohstoffen aus End-of-Life-Produkten mitgewirkt, ist als Kontrollexperte für die Stiftung SENS und Swico Recycling tätig und war vorübergehend auch Lead-Auditor für Umweltmanagementsysteme nach ISO 14001. Patrick Wäger

hat verschiedene Lehraufträge im Bereich Umwelt- und Ressourcenmanagement und ist unter anderem Mitglied des Vorstandes der Schweizerischen Akademischen Gesellschaft für Umweltforschung und Ökologie (SAGUF). Der aktuelle Schwerpunkt seiner Arbeit liegt in der Erforschung von Strategien für einen nachhaltigeren Umgang mit nicht erneuerbaren Rohstoffen, insbesondere mit seltenen Metallen.



### Rolf Widmer

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 mehrere Jahre am Institut für Quantenelektronik der ETH und arbeitet heute am Technology and Society Lab der Empa, dem Materialforschungsinstitut des ETH-Bereichs. Zurzeit leitet Rolf Widmer etliche Projekte im Bereich des Elektroschrotts und arbeitet in diesem Zusammenhang an geschlossenen Materialkreisläufen der Elektromobilität. Sein besonderes Interesse gilt der Rückgewinnung seltener Metalle, die sich zunehmend in den «urbanen Minen» ansammeln.



### Hannes Zellweger

Nach der Ausbildung zum Umweltingenieur mit den Schwerpunkten Stoffhaushalt und Entsorgungstechnik an der ETH Zürich arbeitete Hannes Zellweger bei Amstein + Walthert als Berater zu innovativen Vernetzungen von Industrie und Wohnsiedlungen für effiziente und emissionsarme Heizsysteme. Danach war er drei Jahre für das Schweizer Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO) und die Empa St. Gallen in Peru in verschiedenen Programmen in seinen Kerngebieten Ressourcen- und Energieeffizienz sowie Kreislaufwirtschaft tätig. Seit 2013 ist Hannes Zellweger bei SOFIES beschäftigt und dabei verantwortlich für die Geschäftsentwicklung im deutschsprachigen Raum.

## Kontakt

**Stiftung SENS**  
Obstgartenstrasse 28  
8006 Zürich  
Telefon +41 43 255 20 00  
Fax +41 43 255 20 01  
info@eRecycling.ch  
www.eRecycling.ch

**Technische Kontrollstelle SENS**  
Koordination TK-SENS  
Roman Eppenberger  
Obstgartenstrasse 28  
8006 Zürich  
Telefon +41 43 255 20 09  
Fax +41 43 255 20 01  
roman.eppenberger@sens.ch

**Swico**  
Hardturmstrasse 103  
8005 Zürich  
Telefon +41 44 446 90 94  
Fax +41 44 446 90 91  
info@swicorecycling.ch  
www.swicorecycling.ch

**Technische Kontrollstelle Swico**  
c/o Empa  
Heinz Böni  
Abteilung Technologie und Gesellschaft  
Lerchenfeldstrasse 5  
9014 St. Gallen  
Telefon +41 58 765 78 58  
Fax +41 58 765 78 62  
heinz.boeni@empa.ch

**Stiftung Licht Recycling Schweiz (SLRS)**  
Altenbergstrasse 29  
Postfach 686  
3008 Bern 8  
Telefon +41 31 313 88 12  
Fax +41 31 313 88 99  
info@slrs.ch  
www.slrs.ch

## Internationale Links

**www.ewasteguide.info** Eine Informations- und Quellensammlung rund um das Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten.

**www.weee-forum.org** Das WEEE-Forum (Forum for Waste Electrical and Electronic Equipment) ist der europäische Verband von 41 Systemen zur Sammlung und zum Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten.

**www.step-initiative.org** Solving the E-waste Problem (StEP) ist eine internationale Initiative unter Leitung der United Nations University (UNU), 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 weitere UN-Organisationen sind Mitglieder der Initiative.

**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** Die WEEE Europe AG ist ein Zusammenschluss aus 15 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**

**www.swicorecycling.ch**

**www.slrs.ch**

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

**www.empa.ch** Die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) ist eine schweizerische Forschungsinstitution für anwendungsorientierte Materialwissenschaften und Technologie.

**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** Auf der Website vom Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) finden sich unter «Abfall, Rohstoffe & Altlasten» eine Reihe von Informationen, welche für das Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten von direkter Bedeutung sind.

**www.ag.ch/bvu** Die Website vom Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau bietet unter «Umwelt, Natur & Landschaft» weiterführende Informationen, welche auch die Themen Recycling und Verwertung von Rohstoffen betreffen.

**www.umwelt.tg.ch** Auf der Website vom Amt für Umwelt des Kantons Thurgau finden sich unter «Abfall» die regional relevanten Informationen zum Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten.

**www.afu.sg.ch** Auf der Website vom Amt 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** Auf der Website vom Amt für Umwelt Appenzell Ausserrhoden finden sich allgemeine Infos und Publikationen zu einzelnen Themen rund um das Thema Umwelt.

**www.interkantlab.ch** Die Website vom interkantonalen Labor des Kantons Schaffhausen bietet unter «Informationen zu bestimmten Abfällen» weiterführende Auskünfte zum Thema Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten.

**www.umwelt.bl.ch** Auf der Website vom Amt für Umweltschutz und Energie (AUE) finden sich unter «Abfall / Kontrollpflichtige Abfälle / Elektroschrott» Informationen zum Recycling und zur Verwertung von Rohstoffen in elektrischen und elektronischen Geräten.

**www.zg.ch/afu** Auf der Website vom Amt 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 (ZEBÄ) unter [www.zebazug.ch](http://www.zebazug.ch)

## Impressum

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

**Bilder** Umschlag (stock.adobe.com), Seite 6 (stock.adobe.com), Seite 9 (Lacher-Dumas Communications), Seite 20–21 Abbildung 1–4 (Rolf Widmer), Seite 25 Abbildung 1 (Ueli Kasser), Seite 29 Abbildung 3 (istockphoto.com), Seite 31 (Empa), Seite 34 Abbildung 1 (Empa, crtsite.com)

Der Fachbericht erscheint auf Deutsch, Englisch und Französisch und ist unter [www.eRecycling.ch](http://www.eRecycling.ch), [www.swicorecycling.ch](http://www.swicorecycling.ch) und [www.slrs.ch](http://www.slrs.ch) als PDF abrufbar.

© 2016 Swico / SENS / SLRS

Abdruck erwünscht mit Quellenangabe und Belegexemplar an die Stiftung Swico / SENS / SLRS

