



FACH  
BERICHT  
**2020**

**SENS  
Swico  
SLRS**

# Fachbericht

2020

<b>01</b>	Vorwort	5
<b>02</b>	Post-Projekt	6–7
<b>03</b>	Porträt Recyclingsysteme	8–9
<b>04</b>	Technische Kommission und CENELEC	10–11
<b>05</b>	Mengen – SENS/Swico/SLRS	12–15
<b>06</b>	Wärmeüberträger	16–19
<b>07</b>	LCA einfach erklärt	20–23
<b>08</b>	LZR/Sorec Batchversuch mit Input-/Outputanalyse	24–29
<b>09</b>	Recyclisten-Lehre	30–31
<b>10</b>	Inputbasierte Recyclingquote, ein neuer Ansatz	32–33
<b>11</b>	PCB-Frachtbetrachtung	34–35
<b>12</b>	Recycling von Leuchtmitteln im Wandel	36–39
<b>13</b>	Kreislaufwirtschaft beim Recycling von EAG	40–41
<b>14</b>	StEP/SRI Plastic Guide und SRI II	42–43
<b>15</b>	Kantonsvereinbarung – eine Erfolgsgeschichte	44–45
<b>16</b>	Autoren	46–47
<b>17</b>	Links	48
<b>18</b>	Kontakt und Impressum	49

# Zukunftsweisende Massstäbe

Das dominierende Thema in Europa und der Schweiz ist die Kreislaufwirtschaft. Gerade hierzulande verzeichnen wir einen hohen Ressourcenverbrauch. Für die Schweiz als rohstoffarmes Land hat daher die Gewinnung von Sekundärrohstoffen einen wichtigen Stellenwert.

Im gemeinsamen Interesse von Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt werden mehrheitsfähige Lösungsansätze gesucht, die in unserem hochentwickelten Land dazu beitragen, Energie- und Materialeinsatz zur Herstellung von Produkten und Dienstleistungen zu minimieren, die Lebensdauer von Produkten zu verlängern und Abfälle wo immer möglich zu vermeiden oder zu verwerten. Durch die Rücknahmesysteme wird der Kreislauf geschlossen.

Das eRecycling-System in der Schweiz gehört zu den erfolgreichsten der Welt. Die Rücklaufquoten sind doppelt bis dreimal so hoch wie in den meisten anderen Ländern Europas. Der Nutzen für die Umwelt ist beeindruckend. Die Schweiz hat schon seit Jahrzehnten Rücknahmequoten von rund 65 %, im Gegensatz zu Ländern in der EU, wo diese zwischen 25 und 50 % liegen. Wir setzen hier international zukunftsweisende Massstäbe.

Gleichzeitig steigen die Anforderungen an Recyclingprozesse im Zuge rascher technologischer Fortschritte. Das Recycling von Elektro- und Elektronikaltgeräten (EAG) ist besonders komplex und im ständigen Wandel. EAG weisen beispielsweise einen zunehmenden Anteil an verschiedenartigen Elektronikkomponenten, Batterien und Kunststoffen auf. Für deren Entfernung oder Rückgewinnung sind die heute etablierten Recyclingtechnologien nicht immer die optimale Lösung. Das gilt es zu erkennen, um im Anschluss Prozesse zu optimieren. So wurde über zwei Jahre die Umweltrelevanz PCB-haltiger Kondensatoren untersucht. Welche PCB-Fracht gelangt mit den Kondensatoren in das Recycling? Ist diese Fracht umweltrelevant? Welche Regeln sollen künftig für die Entsorgung von Kondensatoren gelten?

Gerade in unserer Branche gilt: kein Fortschritt ohne fundiertes Know-how – zum Beispiel das von gut ausgebildeten Recyclistinnen und Recyclisten. Die sorgfältige Aus- und Weiterbildung in der Recyclingindustrie ist eine treibende Kraft für Innovationen. Wir freuen uns, Ihnen im diesjährigen Fachbericht die aktuellsten Einblicke in die Fortschritte unserer Branche zu geben.

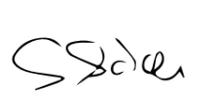
Wir wünschen Ihnen eine spannende Lektüre.



Judith Bellaiche  
Swico



Heidi Luck  
SENS



Silvia Schaller  
SLRS

# Eine kühne Idee: Elektronische Spielwaren direkt zu Hause entsorgt

Roman Eppenberger

Anlässlich des International E-Waste Day am 14. Oktober 2019 testeten die Post und SENS eRecycling die Domizilsammlung von elektronischen Spielwaren in den zwei Regionen Seefeld und Schwamendingen in Zürich. Während zweier Monate konnten die defekten Geräte in einem Recyclingbeutel im eigenen Milchfach deponiert werden, und die Post überführte diese ins Recycling.

Elektronische Spielwaren werden bei SENS eRecycling seit 30 Jahren gesammelt und fachgerecht recycelt. Bis anhin mussten Herr und Frau Schweizer zur Sammelstelle oder zum Detailhandel fahren, um das defekte Gerät kostenlos zurückzugeben. Wie können wir die Rückgabe noch einfacher und bequemer gestalten? Wie können wir noch mehr Wertstoffe zurückgewinnen, die sonst ungenutzt bei den Leuten im Keller liegen? Wäre es nicht grossartig, wenn man unbenutzte und defekte Geräte direkt zu Hause entsorgen könnte? Eine kühne Idee, die die SENS gemeinsam mit der Post getestet hat. Am Beispiel von elektronischen Spielwaren wurden ab dem 14. Oktober 2019 während zweier Monate in zwei Regionen in Zürich (Schwamendingen und Seefeld) Domizilsammlungen durchgeführt. Rund 30 000 Haushalte wurden mit einem Recyclingheld-Mailing, in dem der Sammelsack direkt enthalten war, angeschrieben. Defekte Geräte konnten im Helden-sack im Milchfach deponiert werden, und die Post holte diese bei ihrer regulären Auslieferung der Briefe ab. Belohnt wurden unsere Recyclinghelden, die beim Pilotprojekt mitmachten, mit einem tollen Heldenschlüsselanhänger.

### Warum elektronische Spielwaren?

Weil bestimmt jede Familie mit Kindern noch ein altes Elektroauto oder eine kaputte Drohne zu Hause herumliegen hat, das bzw. die schon längst hätte entsorgt werden sollen. Dies war die perfekte Gelegenheit und gab uns einen ersten Eindruck davon, ob und wie die Bevölkerung diesen neuen Entsorgungskanal nutzt und ob wir so zusätzliche Wertstoffe gewinnen können.

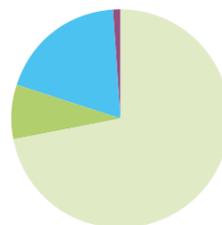
### Was hat die Aktion gebracht?

Und wie geht es weiter? Wir haben in den zwei Monaten 300 Heldensäcke gesammelt. Die Zielgrösse für den Rücklauf

der Zielgruppe Familien lag bei 180 Säcken – dies wurde also bei Weitem übertroffen. Die 207 kg gesammelter Elektro-schrott waren zu 89 Prozent Elektrogeräte mit vorgezogener Recyclinggebühr (vRG), zu 10 Prozent Elektrogeräte ohne vRG und nur zu 1 Prozent Fremdstoffe. Die Qualität des Inhalts der Sammelsäcke war sehr zufriedenstellend. Zudem bekamen wir in den zwei Monaten zahlreiche positive Rückmeldungen direkt aus der Bevölkerung, es wurden Nachbestellungen der Sammelsäcke aufgegeben und Anfragen von Schulen für Vorträge und Unterrichtsmaterial gestellt.

Wir nehmen den International E-Waste Day 2020 erneut zum Anlass, einen Schritt vorzudenken, Visionäres zu ermöglichen und das eRecycling weiterzubringen. Deshalb werden wir den Pilotversuch auf eine grössere Zielgruppe und weitere Regionen ausdehnen. Der nächste International E-Waste Day findet am 14. Oktober 2020 statt. Der Tag wurde vom WEEE Forum (International Association of Electronic Waste) ins Leben gerufen – mit dem Ziel, die Öffentlichkeit für das Recycling von Elektroschrott zu sensibilisieren und die Verbraucher zu ermutigen, ihren Elektroschrott zu recyceln.

- 72 % Elektro mit vRG
- 8 % Elektro ohne vRG
- 19 % Spielwaren
- 1 % Fremdstoffe



# Stiftung SENS, Swico und SLRS

## Kompetent und nachhaltig

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

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

Im Jahr 2019 wurden von den drei Systemen rund 127 600 Tonnen<sup>1</sup> ausgediente elektrische und elektronische Geräte entsorgt. Damit haben Swico, SENS und SLRS auch bedeutend dazu beigetragen, dass wertvolle Ressourcen wieder in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden konnten. Mit der internationalen Vernetzung der drei Organisationen auf europäischer Ebene – beispielsweise als Mitglieder des WEEE-Forums (Forum for Waste Electrical and Electronic Equipment) – helfen sie mit, auch grenzüberschreitend Massstäbe beim Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten zu setzen.

Die Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte (VREG) verpflichtet Händler, Hersteller und Importeure, Geräte,

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

### SENS

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

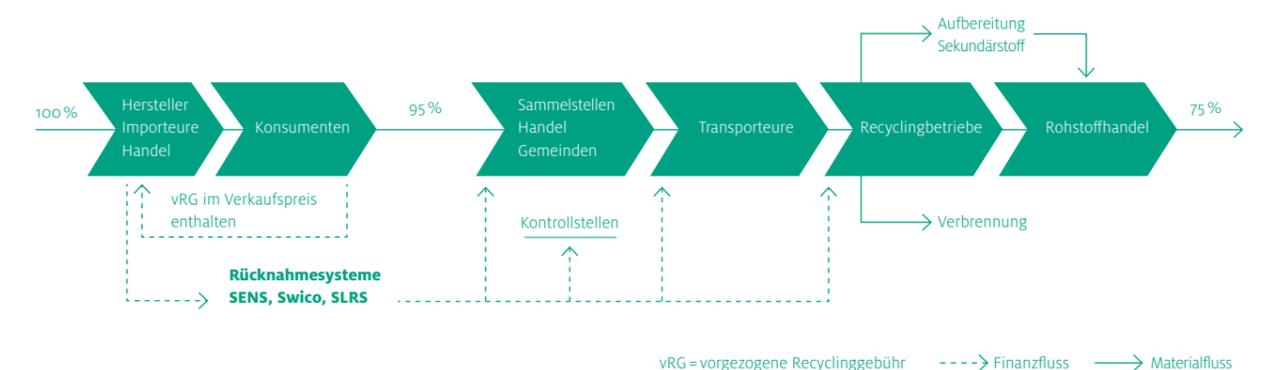
### Swico

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

### SLRS

Die grundsätzliche Systemverantwortung für Leuchten und Leuchtmittel trägt die SLRS. Die SLRS kümmert sich um die Organisation der flächendeckenden Entsorgung von Leuchtmitteln und Leuchten in der ganzen Schweiz. Für die Finanzierung dieser Aktivitäten verwaltet die SLRS je einen Fonds für Leuchtmittel und Leuchten, der sich aus der jeweiligen vRG speist. Ferner gehören die Schulung und Sensibilisierung der 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.

Abbildung 1: Die Rücknahmesysteme im Überblick.



<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 eRecycling und Swico Recycling.

## EAG-Recycling und Kreislaufwirtschaft

Heinz Böni und Roman Eppenberger

Die Technische Kommission Swico/SENS (TK) widmet sich seit 2018 verstärkt der Frage, inwieweit die seit Jahren verwendeten Leistungsindikatoren beim Recycling von Elektro- und Elektronikaltgeräten (EAG) noch genügen, um daraus geeignete Massnahmen abzuleiten, welche den Anforderungen einer kreislauffähigen Abfallwirtschaft genügen. Diese und weitere Fragen beschäftigten die TK auch 2019.

Die Forderung nach einer Kreislaufwirtschaft hat sich in den letzten fünf Jahren in Europa und in der Schweiz deutlich verstärkt. Mit einer Kreislaufwirtschaft sollen Rohstoffe in Kreisläufen gehalten und Schadstoffe ausgeschleust und umweltverträglich beseitigt werden. In der Europäischen Union ist 2015 ein Kreislaufwirtschaftspaket in Kraft getreten, und in einem darauf aufbauenden Aktionsplan werden in den Jahren 2016 bis 2020 10 Milliarden Euro investiert. In der Schweiz unternimmt der Bund schon seit vielen Jahren Anstrengungen in Richtung einer Förderung der Kreislaufwirtschaft, und in den letzten Jahren sind vermehrt auch privatwirtschaftliche Initiativen entstanden, zum Beispiel durch Swiss Recycling, Öbu oder Circular Economy Switzerland.

Um Stoffkreisläufe derart zu steuern, dass Wertstoffe in möglichst reiner Form und vollständig zurückgewonnen und verwertet und gleichzeitig Schadstoffe umweltgerecht abgetrennt und beseitigt werden können, braucht es geeignete Mess- und Steuergrössen (Indikatoren). Auf der Wertstoffseite sind dies die Recycling- und Verwertungsquoten, welche zum Beispiel durch Batchversuche ermittelt werden, und auf der Schadstoffseite Angaben zum Aufkommen von Schadstoffen in Fraktionen des Recyclings.

Bei einer kritischen Überprüfung dieser Indikatoren wurden Schwachstellen ersichtlich, welche im Fachbericht 2019 dargestellt wurden und die auch im vorliegenden Bericht Eingang gefunden haben. Diese Thematik zog sich im vergangenen Jahr wie ein roter Faden durch die Arbeiten der Technischen Kommission Swico/SENS und verschiedener Fachgruppen. Die Erkenntnisse aus der Entwicklung eines kohärenten und

den Anforderungen einer kreislauffähigen Abfallwirtschaft genügenden Sets an Messgrössen werden in diesem Jahr in verschiedenen Pilotversuchen getestet und sollen ab 2021 schrittweise umgesetzt werden. Dies wird auch Einflüsse auf die den Audits zugrunde liegenden technischen Vorschriften haben. Die Recyclingpartner werden in geeigneter Weise einbezogen werden.

Daneben hat die Technische Kommission Swico/SENS sich immer wieder auch mit der Weiterentwicklung der Auditgrundlagen befasst und dazu die die Normenreihe SN 50625 ergänzenden technischen Vorschriften aktualisiert.

Die Normenreihe SN EN 50625 wird im Zeitraum von 2020 bis 2022 einem Revisionsprozess unterzogen. Ziel ist dabei unter anderem, auch gewisse technische Spezifikationen in die Normen zu integrieren und das Gesamtwerk zu straffen und zu harmonisieren. Die Schweiz kann über die Electrosuisse im CENELEC-Komitee TC 111X/WG 6 Einsitz nehmen und damit den Revisionsprozess mitgestalten. SENS wird durch das Büro für Umweltchemie und Swico durch die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) im Komitee vertreten sein.

Auf Seite der Auditoren gab es eine Veränderung: Arthur Haarman hat das Swico-Auditteam per Ende 2019 verlassen. Er wird ersetzt durch Andreas Bill, der im Jahr 2019 eine Einführung in die Audittätigkeit erhalten hat und ab 2020 als Auditor tätig sein wird.



Foto 1: Die Mitglieder der Technischen Kommission Swico/SENS inklusive Gastgeber.

# Konstante Menge und weitere Veränderung der Zusammensetzung

Michael Gasser

Die verarbeitete Menge an Elektro- und Elektronikgeräten blieb im Vergleich auf gleich hohem Niveau. Die Zusammensetzung nach einzelnen Kategorien veränderte sich weiter. Bei den Elektronikgeräten sind die Mengen erneut gefallen, was durch die höhere Anzahl an Elektrogrossgeräten und Elektrokleingeräten kompensiert wurde.

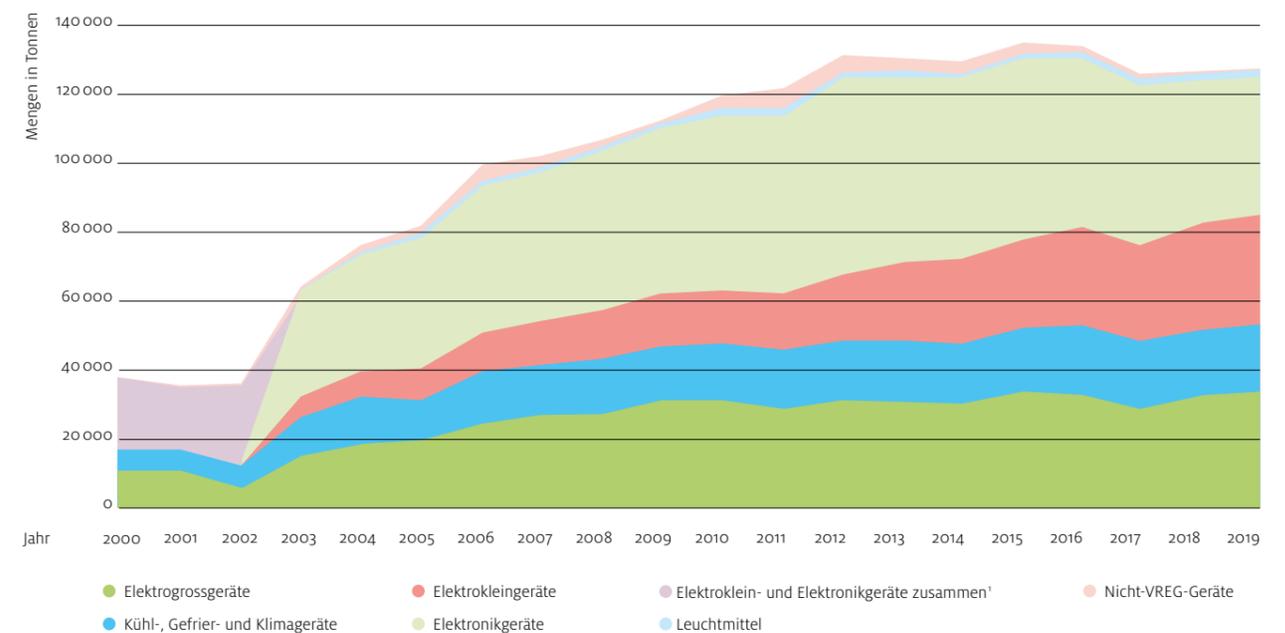
Im Jahr 2019 haben die SENS- und Swico-Recycler rund 127 600 Tonnen Elektro- und Elektronikgeräte (E+E-Geräte) verarbeitet. Im Vergleich zum Vorjahr ist diese Menge konstant geblieben (siehe Tabelle 1 und Abbildung 1). In den verschiedenen Kategorien waren jedoch weiterhin Veränderungen zu beobachten. Die Menge der Nicht-VREG-Geräte, welche nicht in den Listen der Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte (VREG) aufgeführt sind, sowie auch der Kühlgeräte blieb konstant. Die Menge der Elektronikgeräte (-2 %) nahm entsprechend dem langjährigen Trend, unter

anderem aufgrund des Rückgangs von schweren Röhrenbildschirmen von Computermonitoren und Fernsehern, weiter ab. Die Abnahme schien sich jedoch mit dem fast vollständigen Verschwinden dieser Bildschirme zu verlangsamen. Bei den Elektrogrossgeräten war nach einer Änderung der Erfassungsmethodik im Jahr 2017 nun im zweiten Jahr in Folge ein Anstieg (+5 %) zu beobachten. Auch bei den Elektrokleingeräten wurde wie im Vorjahr eine weitere Zunahme verzeichnet (+4 %). Die Menge verarbeiteter Photovoltaik-ausrüstung blieb im Vergleich zum Vorjahr gleich, und ihr Anteil war mit insgesamt 300 Tonnen weiterhin klein.

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

Jahr	Elektrogrossgerät	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	110 200
2010	30 700	15 900	15 400	50 700	1 130		3 500	117 400
2011	27 800	16 800	16 300	51 300	1 110		5 200	118 500
2012	30 300	17 500	18 800	55 500	960		6 000	129 100
2013	30 600	16 700	22 300	53 200	1 100		4 000	127 900
2014	29 400	17 200	23 900	52 000	1 100		3 000	126 600
2015	32 900	18 100	25 000	51 900	1 100	100	3 000	132 100
2016	32 500	19 200	27 900	49 000	1 100	100	1 900	131 800
2017	28 100	19 400	26 700	46 000	970	300	1 300	122 800
2018	34 200	19 900	27 600	41 900	1 100	300	1 000	125 900
2019	35 800	19 900	28 700	41 000	1 000	300	1 000	127 600
<b>Veränderung gegenüber Vorjahr</b>	<b>5 %</b>	<b>0 %</b>	<b>4 %</b>	<b>-2 %</b>	<b>-9 %</b>	<b>0 %</b>	<b>0 %</b>	<b>0 %</b>

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



## Wertstoffverwertung

Aus den verarbeiteten Elektroaltgeräten werden durch manuelle und maschinelle Verarbeitung Wert- und Schadstofffraktionen gewonnen (siehe Abbildung 2). Die grösste Wertstofffraktion bildeten 2019 die Metalle mit 59 %. Kunststoff-Metall-Gemische (19 %) und Kunststoffe (9 %) waren die zwei nächstgrössten Fraktionen. Der Anteil des Glases aus der Bildröhrenverarbeitung hat im Vergleich zum Vorjahr um ein Viertel abgenommen und betrug noch 1,1 %. Die besonders wertvollen Leiterplatten machten nur 1,3 % der Gesamtmenge aus. Dennoch lohnt es sich oft, diese Materialien vorgängig zur mechanischen Verarbeitung manuell zu entfernen und sie möglichst vollständig zurückzugewinnen. Die erhaltenen Wertstofffraktionen werden in nachgelagerten Betrieben weiterverarbeitet und nach Möglichkeit stofflich oder thermisch verwertet.

Die Wertstofffraktionen von SENS- und Swico-Recyclern werden einer weiteren Verarbeitung zugeführt. SENS- und Swico-Recycler haben Stoffflussnachweise zu erbringen, die die weitere Verarbeitung dieser Fraktionen beschreiben. Eisenmetalle werden grundsätzlich in schweizerischen Schmelzwerken und Nichteisenmetalle in europäischen Schmelzwerken endgültig verarbeitet. Kunststoff-Metall-Gemische werden weiter aufgetrennt; je nach Trennungverfahren und Zusammensetzung werden hierbei die Metalle und teilweise auch die Kunststoffe zurückgewonnen. Gewisse gemischte Fraktionen gelangen weiterhin direkt in die energetische Verwertung, wobei dieser Anteil in den letzten Jahren dank neuer Verarbeitungsmöglichkeiten, beispielsweise für Tonerkartuschen und Sortieranlagen für Kunststoff-Metall-Gemische,

<sup>1</sup> Bis 2002 wurden Elektroklein- und Elektronikgeräte gemeinsam erfasst.

stark abgenommen hat. Auch Glasfraktionen (Bildschirmglas, Flachglas und Recyclingglas aus Leuchtmitteln) sowie Kabel, Leiterplatten und Batterien werden speziellen Verwertungsverfahren, oft im Ausland, zugeführt.

**Schadstoffentfrachtung**

Der Anteil an erzeugten Schadstofffraktionen machte 2019 rund 1 % der Gesamtmenge aus (siehe Abbildung 2). Die Schadstoffentfrachtung gehört neben der Rückführung von Wertstoffen in den Materialkreislauf zur Hauptaufgabe der Schweizer Recycler. Die Schadstoffe werden zu einem Grossteil in Zerlegebetrieben händisch entfernt. So werden zum Beispiel Kondensatoren aus Haushaltgrossgeräten herausgenommen, Batterien aus Elektronikgeräten entfernt oder die quecksilberhaltigen Hintergrundbeleuchtungen von Flachbildschirmen, Scannern und Kopiergeräten ausgebaut. Die Schadstoffentfrachtung und der Umgang mit den Schadstoffen müssen dabei stetig den veränderten Technologien und neuesten Erkenntnissen angepasst werden. Die Betriebe müssen aber auch weiterhin in der Lage sein, die Schadstoffe aus älteren Gerätegenerationen sachgerecht zu entnehmen und zu entsorgen. Dies stellt hohe Anforderungen an die Arbeit der Recyclingbetriebe und setzt hochstehende Qualitätssicherungssysteme voraus.

**Rücknahme und Zusammensetzung von Elektronikgeräten**

Swico Recycling untersucht in regelmässigen Abständen die Rücknahmemengen und die Zusammensetzung von Elektronikgeräten. Dazu führt Swico Recycling Warenkorbanalysen und Verarbeitungsversuche von Produktgruppen durch (siehe Tabelle 2). Im Jahr 2019 hat Swico Recycling 46 900 Tonnen<sup>1</sup> Elektronikgeräte zurückgenommen, das waren 2,4 % mehr als im Vorjahr. Die zurückgenommenen Massen

und Stückzahlen von CRT-Monitoren und -Fernsehern sanken weiter und setzten so den langfristigen Trend fort. Bei den Flachbildschirmmonitoren und -fernsehern stieg die zurückgenommene Anzahl Geräte weiter an, und auch das Durchschnittsgewicht hat sich erhöht. Auch bei den Mobiltelefonen stieg die Stückzahl weiter, die Gesamtmenge nahm aber aufgrund des weiter sinkenden Durchschnittsgewichts nur wenig zu. Ein ähnlicher, aber weniger ausgeprägter Trend war auch in der Kategorie «Unterhaltungselektronik, gemischt» zu beobachten.

Die Zusammensetzung der einzelnen Gerätekategorien wird durch Verarbeitungsversuche ermittelt, die bei den Swico-Recyclern durchgeführt und von der Empa begleitet werden. Dabei wird eine zuvor festgelegte Menge an Geräten gesammelt, und die entstehenden Fraktionen werden dokumentiert. Die detaillierten Rücknahmemengen an Elektronikgeräten und ihre Zusammensetzung sind in Tabelle 2 aufgeführt.

**Seite rechts**

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

Quelle: Michael Gasser, Empa, auf der Basis von Verarbeitungs- und Warenkorbanalysen Swico.

Abbildung 2: Zusammensetzung der erzeugten Fraktionen in % im Jahr 2019. Separat ausgewiesen sind Schadstoffe, welche insgesamt nur 1 % der erzeugten Fraktionen ausmachen. (Quelle: Toocy)

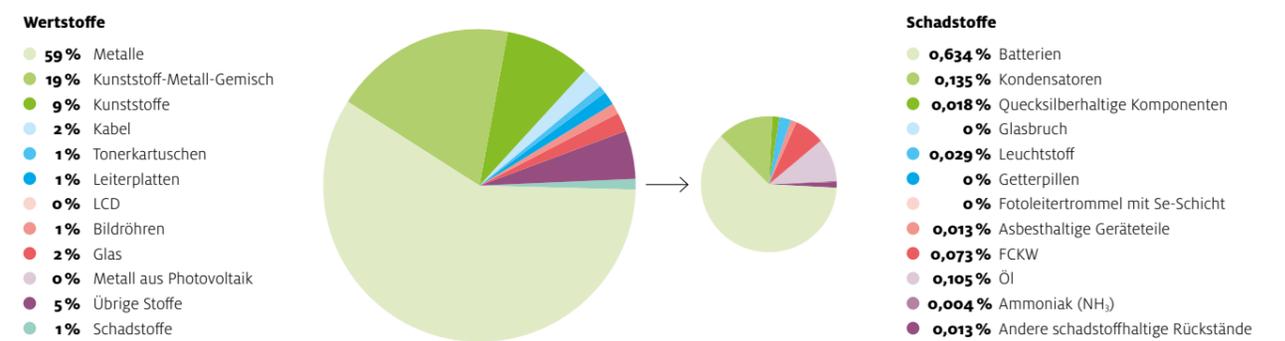


Tabelle 2: Gesammelte Swico-Mengen und Zusammensetzung nach Gerätetyp.

Gerätetyp	Anzahl <sup>1</sup> (in Tausend)	Durchschnittsgewicht (in kg)	Metalle (in Tonnen)	Kunststoffe (in Tonnen)	Metall-Kunststoff-Gemische (in Tonnen)	Kabel (in Tonnen)	Glas und/oder LCD-Module (in Tonnen)	Leiterplatten (in Tonnen)	Schadstoffe (in Tonnen)	Weiteres <sup>5</sup> (in Tonnen)	Total (in Tonnen)	Zu-/Abnahme gegenüber 2016
CRT-PC-Monitor	34	17,7	89	121	58	16	266	56	0	3	608	-3 %
FPD-PC-Monitor <sup>1</sup>	561	7,2	1584	1'277	77	50	631	285	37	100	4'041	15 %
PC/Server	389	12,1	3856	270	13	144	-	390	15	-	4'687	2 %
Laptop	493	2,5	374	348	126	6	109	179	85	5	1'233	-6 %
Drucker	456	11,4	1834	2'784	318	28	36	91	2	84	5'176	-2 %
Grosskopierer/Grossgeräte	52	121,8	3422	235	2'248	114	4	50	54	161	6'288	-3 %
IT gemischt <sup>2</sup>	716	3,1	1212	80	803	40	1	17	19	56	2'229	13 %
CRT-Fernseher	102	27,7	279	579	94	10	1'830	35	3	2	2'830	-28 %
FPD-Fernseher <sup>1</sup>	297	20,4	2932	1'091	639	84	532	510	68	211	6'065	48 %
UE gemischt <sup>3</sup>	3441	3,2	5969	396	3'954	199	6	85	94	277	10'980	1 %
Telefon, mobil	873		20	44	-	-	6	28	25	-	124	6 %
Telefon, Rest	1216		1329	88	880	44	1	19	21	62	2'444	-9 %
Foto/Video	214		91	6	60	3	0	1	1	4	167	3 %
Dental											63	
<b>Total in Tonnen</b>			<b>22 991</b>	<b>7318</b>	<b>9269</b>	<b>737</b>	<b>3421</b>	<b>1747</b>	<b>424</b>	<b>964</b>	<b>46 935<sup>6</sup></b>	<b>2,4 %</b>
<b>Total in Prozent</b>			<b>49 %</b>	<b>16 %</b>	<b>20 %</b>	<b>2 %</b>	<b>7 %</b>	<b>4 %</b>	<b>1 %</b>	<b>2 %</b>	<b>100 %</b>	

**Seite links**

<sup>1</sup> Diese Zahl ist grösser als die 41 000 Tonnen Elektronikgeräte in Tabelle 1, da darin auch Geräte enthalten sind, welche A-Unterzeichner über Direktverträge entsorgt haben.

# Rückproduktion von Wärmeüberträgern

Gerit Hug und Niklaus Renner

Die seit 2020 als Grundlage der SENS-Zertifizierung angewendete CENELEC-Norm EN 50625 spricht nicht mehr von Kühlgeräten, sondern von Wärmeüberträgern («temperature exchange equipment»). Der etwas umständliche Begriff hat sich bei den Auditoren wie auch bei den Recyclingunternehmen etabliert. Letztere zerlegten 2019 auf drei hochspezialisierten Anlagen rund 390 000 Geräte in ihre Wert- und Schadfraktionen (entspricht 19 900 Tonnen).

Dabei zeigt die Kurve der jährlichen Anteile der rückproduzierten umweltfreundlichen VHC-Geräte («volatile hydrocarbons») beständig nach oben: Mittlerweile sind 67 % der Wärmeüberträger solche mit VHC-Kompressor und bereits 73 % vom Typ mit VHC-Isolationsschaum. Ammoniakbetriebe ne Absorbergeräte haben noch einen Anteil von 2 %.

## Warum nicht einfach schreddern? Sinn der aufwendigen Behandlung

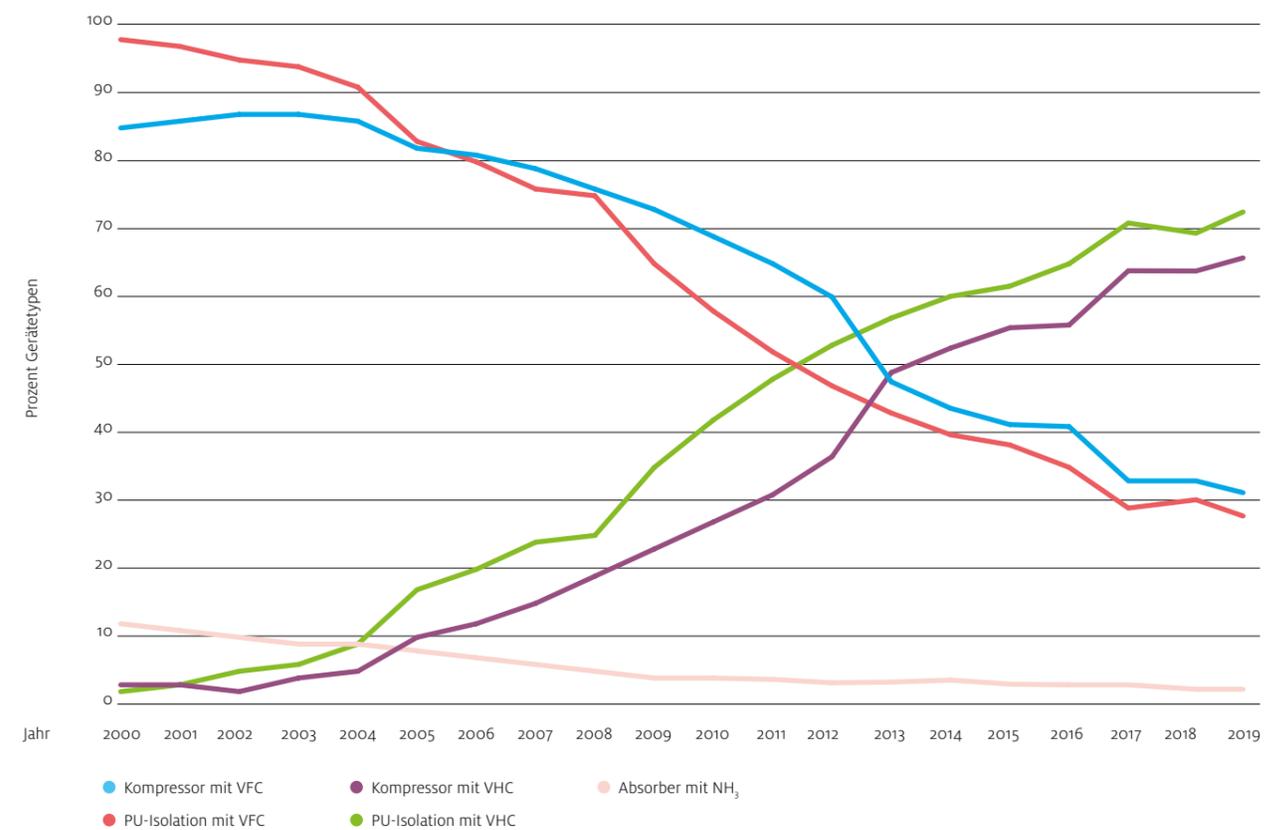
Wussten Sie, dass sich in einem alten Haushaltskühlschrank der Hauptteil des darin enthaltenen VFC nicht im Kompressor, sondern in der Polyurethanschaum-Isolation befindet? Und wussten Sie, dass durch die Rückgewinnung und anschließende Hochtemperaturverbrennung des Kälte- und Treibmittels der Atmosphäre eine Menge CO<sub>2</sub>-Äquivalente erspart bleibt, welche Sie in Ihrem fossil betriebenen Auto emittieren würden, wenn Sie damit nach Ostasien fahren wollten? Während knapp 90 % der Gerätemasse als schadstofffrei betrachtet und prinzipiell mit herkömmlicher Recyclingverfahrenstechnik aufbereitet werden könnten, macht der verbleibende Anteil ozonschichtgefährdender und klimaaktiver Komponenten die Verarbeitung auf einer hochspezialisierten Anlage notwendig. In einem ersten Schritt müssen die Kältemittel verlustfrei aus den Kompressoren abgesaugt werden (Behandlungsstufe 1). Nach dem Entfernen der entleerten Kompressoren werden die Gerätegehäuse mittels Rotorschneidern und nachgelagerten Magnet- und Wirbelstromscheidern in ihre Fraktionen zerlegt. Die PU-Schäume werden danach einer thermischen Behandlung mittels Pelletierpressen oder anderer Heizelemente und somit einer letzten Entgasung der verbleibenden Treibmittel unterzogen (Behandlungsstufe 2).

Diese kontrollierte Ausgasung und Kondensation der Treibmittel auf Stufe 2 erfolgt mittels mechanischer Kältetechnik oder unter Anwendung von flüssigem Stickstoff bei Tieftemperaturen von bis zu -90 °C. Die Abluftströme der Anlagen werden erst nach Durchlaufen diverser Filteraggregate in die Atmosphäre entlassen, wobei eine kontinuierliche Messung der VFC-Typen R11 und R12 erfolgt.

## Anteil der VFC-Geräte sinkt unaufhaltsam

Eingesetzt hat der Abwärtstrend bei den rezyklierten, mit VFC-Kompressoren betriebenen Wärmeüberträgern im Jahr 2003. Von 2012 bis 2013 verstärkte sich die Reduktion, setzte sich danach jedoch quasi linear fort. Waren im Erhebungsjahr 2012 noch 60 % der in die Verwertung gelangenden Kältesysteme vom VFC-Typ, betraf dies 2013 nur noch 48 %. Im letzten Fachbericht rapportierten wir einen Anteil von 33 %, in der aktuellen Periode sind es noch 31 %. Analog stieg der Anteil der VHC-Kompressoren beständig auf aktuell 67 %. Die ammoniakhaltigen Absorbersysteme sind weiter «auf dem Rückzug» – sie machen aktuell noch 2 % aus. Erwartungsgemäss gestaltet sich auch die Kurve der Anteile an Gerätegehäusen mit VFC-haltigen Isolationsschäumen: Ihr Verlauf zeigt analog zu jenem der VFC-Kompressorgeräte stetig (asymptotisch?) nach unten: So betrug der VFC-PU-Geräteanteil 2019 noch 27 % (Vorjahr: 30 %). Vgl. Abb. 1.

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

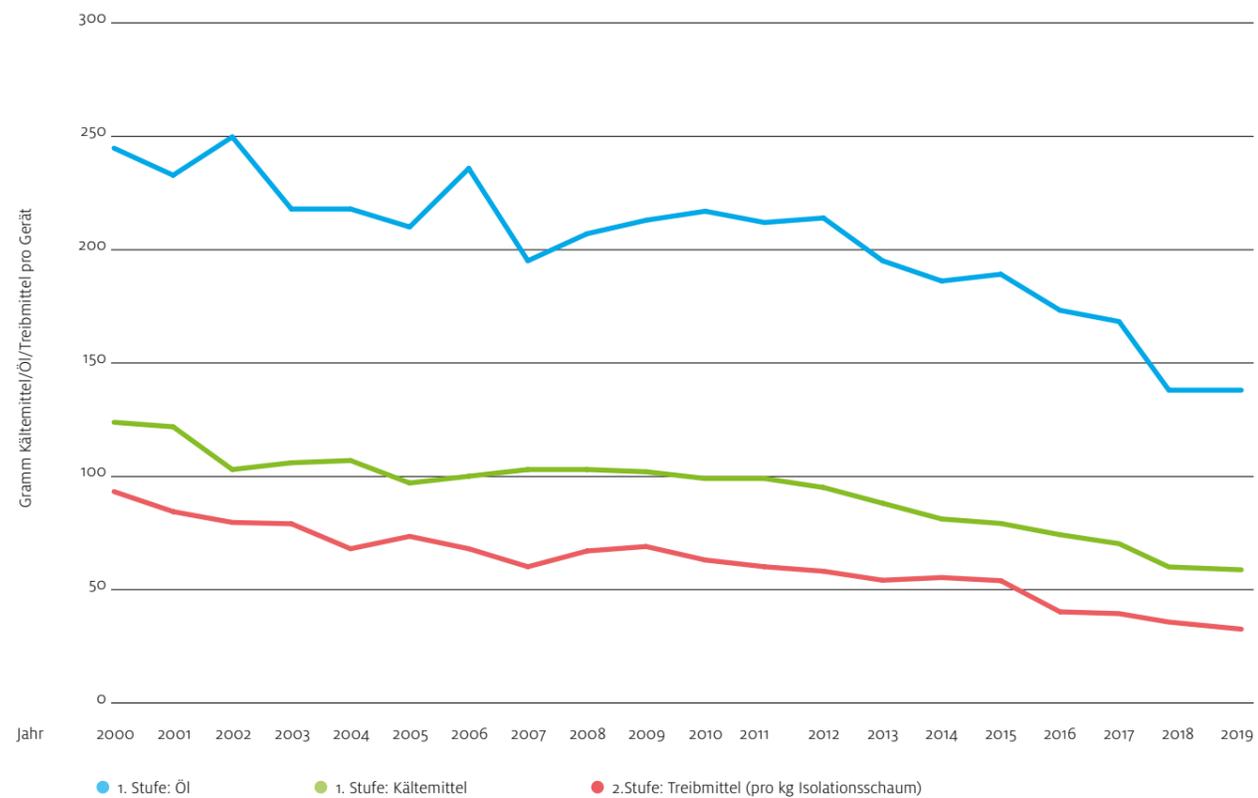


## Beständiger Rückgang der Rückgewinnungsmengen spiegelt die Inputverhältnisse

Der inputseitige Rückgang der VFC-Geräte kann auf beiden Behandlungsstufen auch im Output in Form tieferer Rückgewinnungsmengen an Kälte- und Treibmitteln festgestellt werden. Zwei Faktoren sind für diesen Effekt verantwortlich: 1.) die sehr viel tieferen VHC-Einfüllgewichte bzw. -Konzentrationen in Kompressoren bzw. in der PU-Isolation und 2.) die geringeren spezifischen Gewichte von Isobutan bzw.

Cyclopentan im Vergleich zu den herkömmlichen VFC (82 g VFC bzw. 38 g VHC pro Kilogramm PU-Schaum, gemäss Leistungstests und Herstellerangaben). Die pro Gerät zurückgewonnene Kältemittelmenge sank über die letzten Jahre stetig auf aktuell noch 54 g (Vorjahr: 57 g); beim Kompressoröl stagnierte der Wert praktisch mit 139 g (Vorjahr: 138 g). Bei den Treibmitteln sanken die Mengen im gleichen Zeitraum von 37 auf 35 g/kg PU-Schaum. Vgl. Abb. 2.

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



**Herausforderung VIP-Geräte**

Heute gelangen vermehrt auch Wärmeüberträger in die Rückproduktion, deren Gehäusewände teilweise aus Vakuumdämmplatten bestehen (VIP, Vakuum-Isolations-Paneel). Solche Paneele, deren Stützkern aus Glasfaser bzw. pyrogenen Kieselsäuren besteht, werden seit geraumer Zeit vermehrt in Wärmeüberträgern verbaut, die damit eine bessere Energieeffizienz erreichen (A+++). Der dadurch auch im Recycling häufiger auftretende Gerätetyp war anfänglich für die Anlagen infolge der verschärften Staubthematik

eine Herausforderung (Staub- und Explosionsschutz). Diesbezügliche anlagentechnische Anpassungen haben sich inzwischen bewährt, sodass eine Mitverarbeitung solcher Gerätegehäuse auf Behandlungsstufe 2 problemlos ist. Auch aus Perspektive des Gesundheitsschutzes sind die VIP-Geräte unbedenklich, da die Fasern weder im Originalmaterial noch nach der Verarbeitung längs aufspalten (wie dies zum Beispiel Asbestfasern tun). Die getroffenen Aussagen werden von einem herstellereitigen Bericht über Versuchsaufbereitungen in Deutschland gestützt.



Foto 1: Wärmeüberträgergeräte, bereit für die Verarbeitung.

Foto 2: Outputfraktion: Polyurethanpulver.



Foto 3: Geräteaufgabeland für die 2. Verarbeitungsstufe.



# SENS-Life-Cycle-Assessment auf einen Blick

Flora Conte und Thomas Kägi

Die SENS-Ökobilanz von 2019 spiegelt klar wider, welche aktuellen Herausforderungen beim Recycling von Elektroaltgeräten in der Praxis ökologisch besonders relevant sind. Der Umweltnutzen entspricht dem Vergleich mit einem Szenario, in dem es die SENS nicht geben würde. Im Gegensatz zu CO<sub>2</sub>-Bilanzen, die aktuell im Fokus der Öffentlichkeit stehen, berücksichtigt ein Life-Cycle-Assessment (LCA) die gesamten Umweltauswirkungen von Produkten, Unternehmen oder Tätigkeiten.

Um herauszufinden, welche Massnahmen, Initiativen und Verhaltensänderungen sich auf das Klima oder für die Umwelt besonders positiv auswirken, gibt es keine einfachen Daumenregeln. Während die Einflüsse der Klimakrise global sind, machen sich Umweltprobleme wie Luft-, Boden-, Wasserverschmutzung oder Schadstoffemissionen lokal bemerkbar, manchmal nur schleichend.

## Der Überblick über unsere Umwelteinflüsse

Die Ökobilanzierung (Life-Cycle-Assessment, LCA) ist eine wissenschaftlich abgestützte Methode, die die Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten auf die Umwelt erfasst, beurteilt und daraus Optimierungspotenziale ableitet. Aufgrund der Komplexität der Natur und des globalen Wirtschaftssystems reicht es dabei nicht, nur einzelne Problemstoffe oder Auswirkungen zu betrachten. Die LCA-Methode hat den Anspruch, Umweltauswirkungen sehr umfassend aufzudecken. Das heisst, dass der gesamte Lebensweg eines Produkts in die Analyse einfließt und die Umweltauswirkungen am Schluss quantifiziert und bewertet werden. Der Prozess, der dabei befolgt wird, ist in Abbildung 1 skizziert.

Die Ergebnisse von Ökobilanzen können ganz verschieden genutzt werden – als Entscheidungshilfe bei Produktalternativen, zur Erfassung der relevanten Auswirkungen von Produkten, Dienstleistungen oder Unternehmen oder in der Ermittlung von Verbesserungspotenzialen und Handlungsempfehlungen.

## SENS-Recycling aus LCA-Perspektive

Die Stiftung SENS lässt den ökologischen Nutzen des Recyclings von SENS-Elektroaltgeräten (SENS-EAG) jährlich durch die Umweltberatung Carbotech AG über ein LCA berechnen. Anlässlich des 30-Jahr-Jubiläums der Stiftung wurden die Berechnungsgrundlagen der Ökobilanz des Recyclings von SENS-EAG um neueste Erkenntnisse zu Schadstoffen und Wertstoffen ergänzt. Zudem wurde der Umweltfussabdruck extrapoliert, den die Stiftung SENS seit ihrer Gründung bewirkt hat. Betrachtet wurden dafür die Sammlung, die Sortierung, die händische und maschinelle Verarbeitung der EAG sowie die fachgerechte Entsorgung von Schadstoffen wie Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) oder polychlorierte Biphenyle (PCB). Darüber hinaus wurde die weitere Aufbereitung der Wertstoffe zu Sekundärrohstoffen betrachtet.

Um den Nutzen des SENS-Recyclingsystems für die Umwelt bewerten zu können, benötigt man ein Vergleichsszenario für die Alternative: eine Schweiz ohne SENS. Dieses Szenario wurde möglichst realistisch definiert, auch angelehnt an die Szenarien in der Ecodom-Studie über den Klimanutzen des Elektrogeräte-Recyclings in Italien. Der im SENS-LCA berechnete Umweltnutzen des SENS-Systems wurde also aus der Differenz zwischen der Ist-Zustand-Analyse «SENS» und dem Basisszenario «ohne SENS» berechnet. Die Umweltauswirkungen wurden mit der in der Schweiz bewährten Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel, 2013) gewichtet und zu einer Kennzahl zusammengefasst: den Umweltbelastungspunkten (UBP).

Abbildung 1: Die wichtigsten Schritte einer Lebenszyklusanalyse. (Quelle: Carbotech AG)

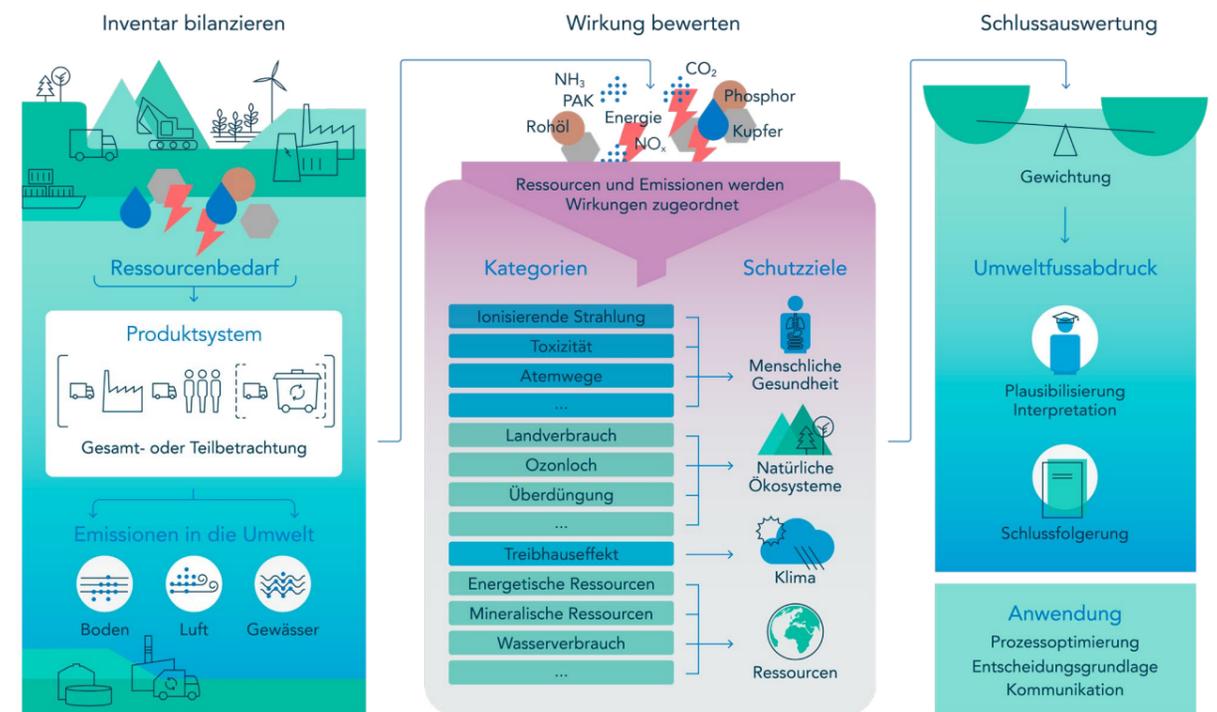
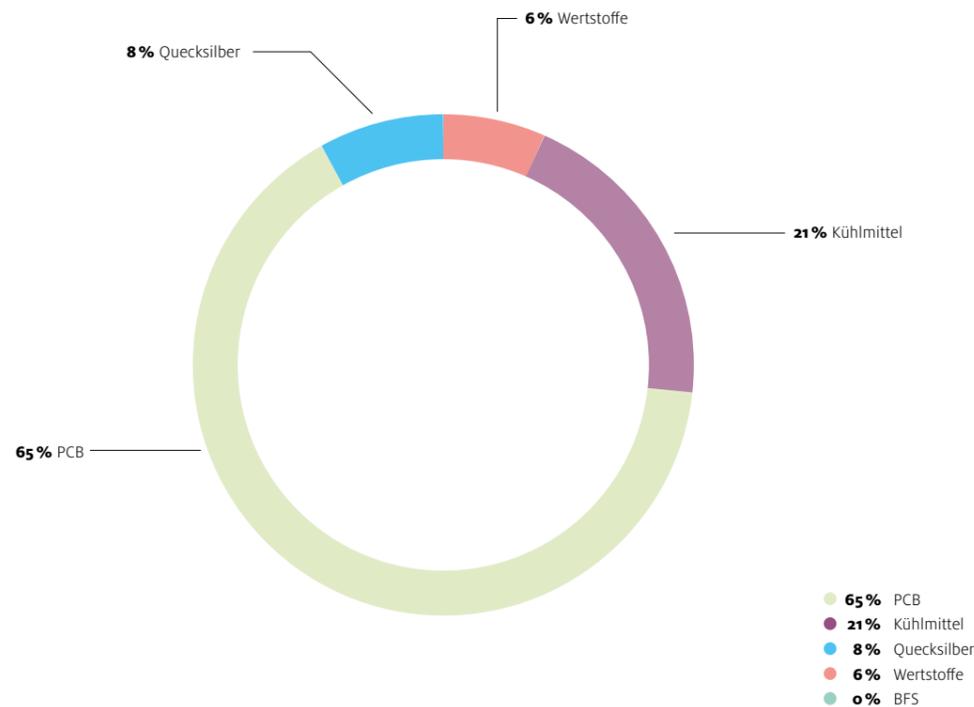


Abbildung 2: Verteilung des Umweltnutzen (UBP) von SENS eRecycling 2019. (Quelle: Carbotech AG)



**Umweltnutzen des SENS-Recyclings im Jahr 2019**

Insgesamt erzielte im Jahr 2019 das Recycling von EAG über das SENS-System einen Netto-Umweltnutzen von 962 Milliarden UBP (siehe Zusammenstellung in Abbildung 2). Zwei Drittel dieses Nutzens sind auf vermiedene PCB-Emissionen zurückzuführen. Dieser Anteil wird jedes Jahr kleiner, da die Menge von Altgeräten, die noch PCB enthalten, konstant abnimmt. Eine hohe Auswirkung, nämlich 21 % des Umweltnutzens und, einzeln betrachtet, 80 % des Klimanutzens, sind auf die Vermeidung von Emissionen fluoriertes Kälte- und Treibmittel (VFC) wie FCKW oder HFKW zurückzuführen. Die Vermeidung von Quecksilberemissionen macht sich immer noch mit 8 % des Umweltnutzens bemerkbar. Das Wertstoffrecycling generierte 6 % des Umweltnutzens.

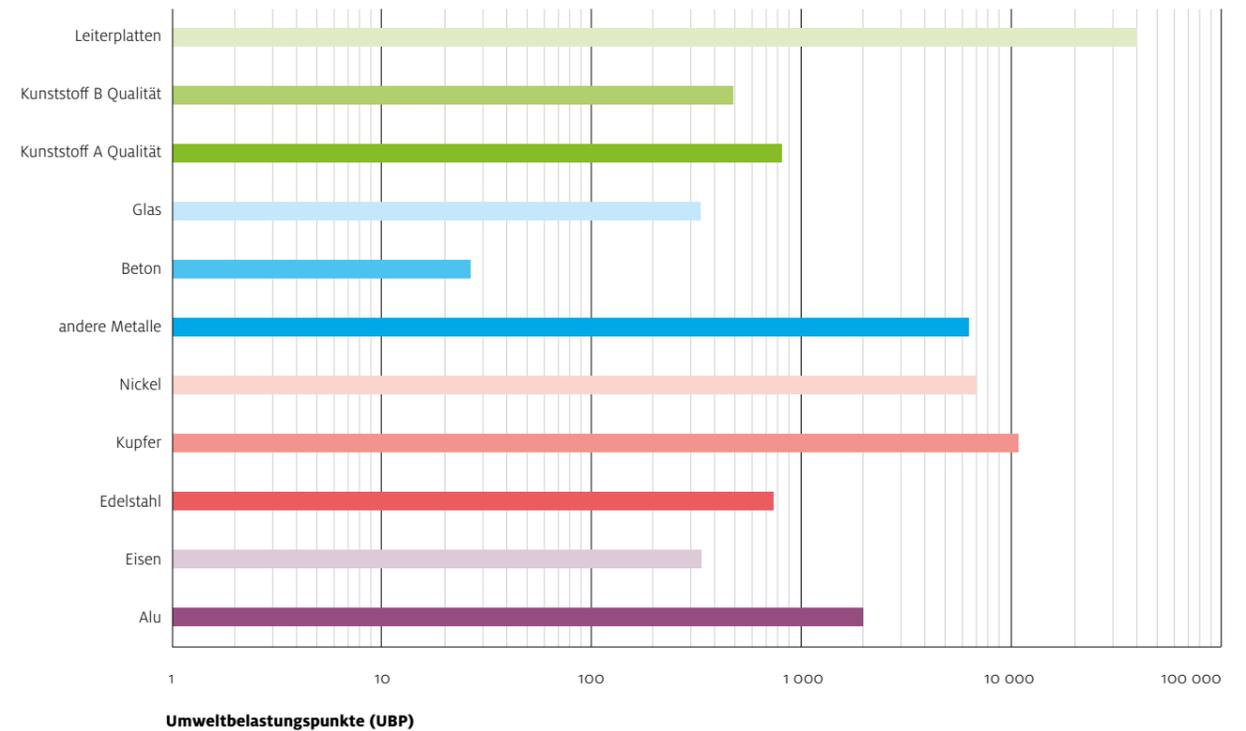
**Kupfer-Rückgewinnung lohnt sich für die Umwelt**

Der vergleichsweise geringere, aber jedes Jahr steigende Anteil der Wertstoffe am Umweltnutzen ist bedingt durch die Dominanz der Schadstoffe. Absolut gesehen hat Wertstoff-

recycling jedoch einen sehr hohen Nutzen. Abbildung 3 vergleicht den Umweltnutzen der häufigsten Wertstoffe aus EAG pro kg. Recyceltes Kupfer, das in deutlich geringeren Mengen als Eisen rückgewonnen wird, aber pro kg eine grössere Umweltbelastung vermeidet, machte im Jahr 2019 ganze 43 % des Umweltnutzens des SENS-Wertstoffrecyclings aus. Hier treffen ökologischer und ökonomischer Nutzen klar aufeinander.

Die Umweltbelastung des SENS-Systems selbst ist im Vergleich zum Nutzen der Vermeidung von Schadstoffen und der Wiedergewinnung von Wertstoffen ökologisch gerechnet minimal. Der Transport der EAG, der Aufwand der Recyclingbetriebe, die Herstellung von sekundären Rohstoffen und die Entsorgung der Schadstoffe ergeben zusammen einen Umweltschaden von 20 Milliarden UBP gegenüber einem Nutzen von 982 Milliarden UBP durch die Vermeidung von Schadstoffen und durch Wertstoffrecycling.

Abbildung 3: Nutzen in UBP / kg Material. (Quelle: Carbotech AG)



**Ökologische Herausforderungen in der Praxis**

Obwohl die Menge gesammelter PCB-haltiger Kondensatoren stetig sinkt, lohnt es sich aus ökologischer Perspektive weiterhin eindeutig, PCB-fachgerecht zu entsorgen. Neben der heute meist systematischen Entfernung von Kondensatoren aus Haushaltgrossgeräten bleibt die Identifizierung von PCB-haltigen Vorschaltgeräten aus Leuchten eine logistische Herausforderung. Insbesondere bei Anlieferungen von grossen Mengen gemischter Metalle, zum Beispiel bei Hausabbrüchen, kann ein PCB-haltiges Vorschaltgerät schnell übersehen werden. Die Sensibilisierung der Konsumentinnen und Konsumenten sowie der Recyclerinnen und Recycler ist hier sehr wertvoll. Bei PCB besteht zudem die Gefahr einer Verschmierung auf Materialien, die recycelt werden, zum Beispiel auf Kunststoffen.

Im Falle von VFC-Gasen sinken die gesammelten Mengen zwar auch jedes Jahr, gleichzeitig wird jedoch die Palette an Geräten, die die Kältemittel enthalten, breiter, je energie-

effizienter die EAG werden. Auch hier ist der Knackpunkt die korrekte Sortierung. Ein Wärmepumpen-Tumbler, der VFC enthält und versehentlich mit den VFC-freien Tumbler geschreddert wird, verursacht deutlich mehr Umweltschäden durch die Emission von VFC, als die Wertstoff-Rückgewinnung des Tumblers Umweltnutzen bringt.

Was die SENS-Ökobilanz nicht widerspiegeln kann, ist der Schaden, der bei einem Brandfall entsteht, zum Beispiel wegen ungeeigneter Lagerung von Lithium-Ionen-Batterien. Der Trend der EAG-Zusammensetzung geht laufend in Richtung kleinere Mengen an diffuser verteilten und noch verschiedenartigen Schadstoffen. Aus Perspektive des LCA erscheinen das geschulte Auge bei der EAG-Sortierung, die Aufklärung der Abfallverursacherinnen und -verursacher sowie die manuelle Zerlegung von SENS-Geräten zunehmend als die sichersten Mittel, Umweltschäden zu vermeiden.

# Eignen sich erweiterte Batchversuche zur Festlegung des Recyclingpotenzials?

Roger Gnos, Rolf Widmer und Lorena Toledo Reyes

In einer Untersuchung des Swico-Mix-Behandlungsstroms<sup>1</sup> durch Batchversuche Anfang 2019 ging es darum, die Verarbeitungsleistung und die Güte einzelner Recyclingbetriebe genauer zu analysieren (siehe auch Artikel «Recycling- und Verwertungspotenzial» im Fachbericht 2019). Unter anderem wurde in einer modifizierten Warenkorbanalyse (WKA) die Zusammensetzung des Gerätemix festgestellt und die Materialzusammensetzung bislang noch nicht untersuchter Geräte in einer Feinzerlegung ermittelt.

Für Leiterplatten und Kabelgemische aus dieser Feinzerlegung sowie für ausgewählte Outputfraktionen der nachfolgenden Behandlungsschritte (Schreddern und Sortieren) wurden Proben genommen und aufbereitet und auf ihre chemische Zusammensetzung analysiert. Ergebnisse einzelner Aspekte dieser Untersuchungen werden im Folgenden dargestellt und diskutiert.

## Kategorisieren der Geräte

Alle für den Batchversuch gesammelten Elektroaltgeräte (EAG), insgesamt mit einer Anzahl von  $n_{\text{tot}} = 11\,065$  und einer Masse von  $m_{\text{tot}} = 40\,436$  kg, wurden in drei Gruppen<sup>2</sup> aufgeteilt: EAG der Gruppe «nicht Swico-Mix», die zurück in die normale Behandlung gehen, und Swico-Mix-EAG, die entweder für den Swico-Mix-Batchversuch oder für die Feinzerlegung bestimmt sind.

Die Zuteilung der EAG in diese Gruppen bestimmt die WKA Software, indem jedes Gerät durch das WKA-Team<sup>3</sup> softwareunterstützt erfasst, gewogen und kategorisiert wird. Dabei wird jedes zehnte Swico-Mix-Gerät für die Feinzerlegung ausgewählt, womit sich die Frage stellt, ob diese blinde Auswahl eine repräsentative Probe des Behandlungsstroms ergibt. Der erste, simple Test ist, zu bestimmen, ob sich das Sortierverhältnis von 1 : 9, also 0.111, in den Teilmengen Batchversuch und Feinzerlegung wiederfindet. Die Rechnung ergibt für die Geräteanzahl 0.133, was eine unerwartet hohe Abweichung ist, deren Ursache in diesem Experiment nicht erklärt werden konnte.

Das Auswahlverfahren ist nur dann gut, wenn auch die Massenverteilungen der Teilmengen Feinzerlegung und Batchversuch ähnlich sind, was die beiden Beispiele in Abbildung 2 illustrieren. Die Übereinstimmung wurde mit dem dafür geeigneten Kolmogorov-Smirnov-Test (KS-Test) untersucht.

Die Ergebnisse des KS-Tests zeigen, dass von 22 untersuchten WKA-Kategorien<sup>4</sup> (fett) nur neun (grün) eine repräsentative Stichprobe in der Menge Feinzerlegung haben.

<sup>1</sup> Swico-Mix umfasst Swico Kleingeräte ohne Bildschirmgeräte und Bildschirme > 100 cm<sup>2</sup>, d.h. auch entfernbare Bildschirme von z.B. Notebooks werden aus dem Behandlungsstrom abgezweigt.  
<sup>2</sup> Aufteilung des Behandlungsstroms in «nicht Swico-Mix» ( $n_{\text{nichtSwicoMix}} = 1656$  und  $m_{\text{nichtSwicoMix}} = 12\,976$  kg) und «Swico-Mix» (zu «Batchversuch» ( $n_{\text{Batchversuch}} = 8212$  und  $m_{\text{Batchversuch}} = 22504$  kg) und «Feinzerlegung» ( $n_{\text{Feinzerlegung}} = 1087$  und  $m_{\text{Feinzerlegung}} = 4673$  kg)).  
<sup>3</sup> Die stationäre WKA ist im Leistungszentrum Rheintal (LZR, [www.lz-rheintal.ch](http://www.lz-rheintal.ch)) eingerichtet.  
<sup>4</sup> 35 Swico-WKA, v2.0, Gerätekategorien: 10: PC-Monitor (Röhre), 20: PC-Flachbildschirm, 30: PC/Server, 31: PC-/Server-Bauteile, 40: Notebook, Laptop, Powerbook, 41: Laptopzubehör, 50: Drucker, Fax, Scanner, Schreibmaschinen, 60: Grosskopierer, Plotter (rollbar), 70: Büroelektronik/IT (Rest), 80: Büroelektronik/IT-Zubehör, 90: Verbrauchsmaterial/CDs, 91: Tonerkartuschen, 92: Ink. Patronen, 100: Kassenlesegeräte, 110: Fernseher-Bildröhre, 120: Flat-TV, 130: Unterhaltungselektronik (Rest), 140: Telefonzentralen, 150: Festnetztelefone, 160: Mobiltelefone, 170: Fotoapparate, Videokameras, 190: Artikel ohne VRG, 191: 1-kg Ware, 200: Medical/Cleaning, 210: Kabel, 230: Metalle (lose Eisen-/Metallteile), 300: Batterien, 310: Lithium-Ionen-Akku, 311: Lithium-Ionen-Akku(defekt), 320: Blei-Akku.

Abbildung 1: Sankey-Diagramm der Materialflüsse des Swico-Mix-Batchversuchs. Die angegebenen Werte sind die für die Planung geschätzten Materialströme.

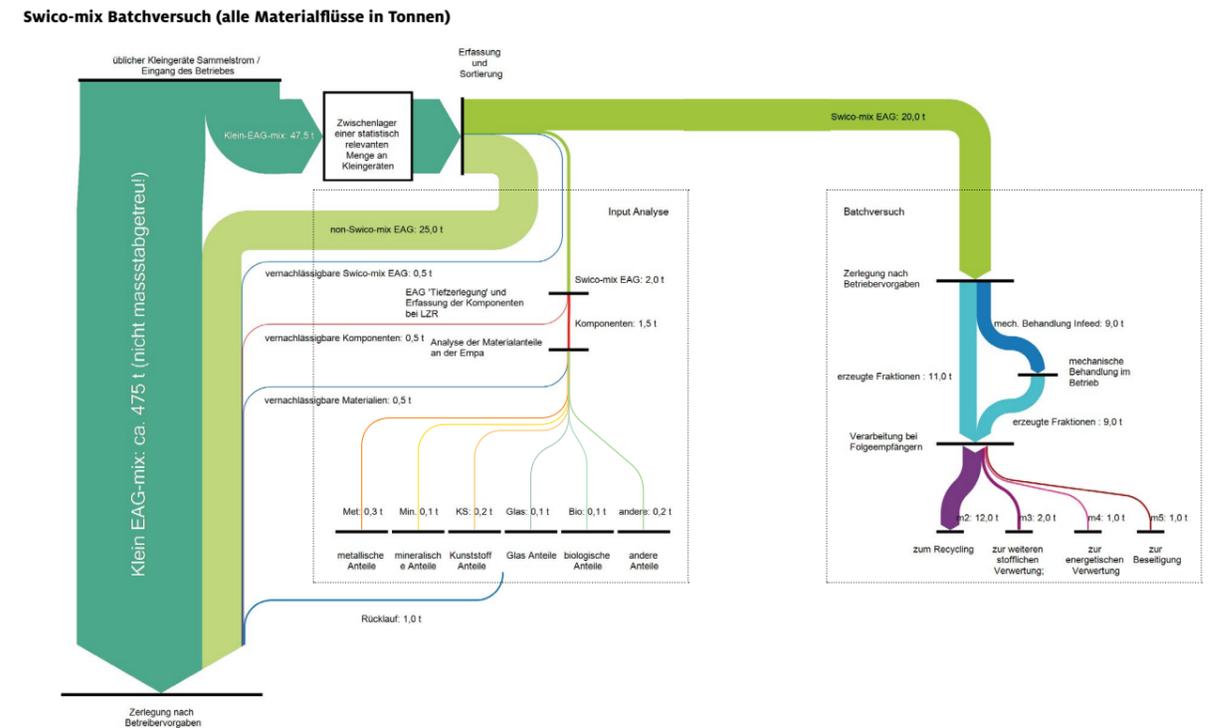


Abbildung 2: Histogramme der Massenverteilung von EAG der Kategorie 50 (Drucker, Fax, Scanner Schreibmaschinen) und der Kategorie 30 (PC/Server). In Blau sind die Geräte, die zur Feinzerlegung abgetrennt werden, aufgezeichnet – einmal als Frequenz in Massenklassen von je 2 kg und einmal als kumulierte Frequenz. In Rot sind die entsprechenden Geräte angegeben, die zum Batchversuch gehen.

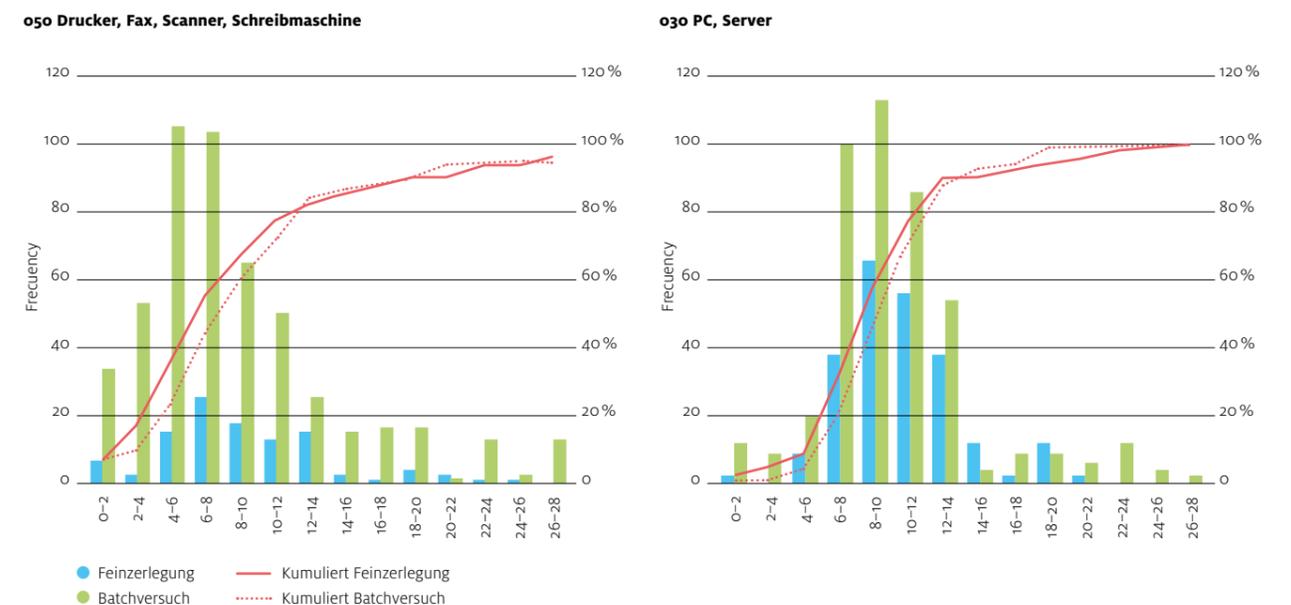




Abbildung 3: Fein zerlegter Gehhtoblaster.



Abbildung 5: Beispiele aufbereiteter Proben (v. l. n. r.): Siebfraktionen unterschiedlicher Korngrößen von gemahlene Leiterplatten (LP), welche der Untersuchung der Verteilung verschiedener Stoffe (insbesondere von Edelmetallen) in den verschiedenen Matrizen dienen; pyrolysierte LP-Fraktion, aus der alle flüchtigen Bestandteile entfernt und in Lösungen abgeschieden und untersucht wurden; in Kryomühle erzeugte Mahlfractionen (v. u. n. o: Kunststofffraktion, Nasswäscherschlamm, RESH).



Abbildung 4: Beispiele erzeugter Fraktionen (v. l. n. r.): Aus der Feinzerlegung gewonnene Leiterplatten der Klasse 1 aus moderneren elektronischen Geräten; im Batchversuch ausgesiebte Kunststofffraktion mit hohem Edelmetallgehalt (bedeutender Leiterplattenbruchanteil); im Batchversuch mit Wirbelstromabscheider gewonnene Aluminiumfraktion. Es sind etliche Elektrolytkondensatoren zu erkennen, welche beim Aufschluss zwar etwas verletzt, aber in dieser Fraktion fast vollständig abgeschieden wurden.

Mit dieser Methode wurden also die meisten der EAG-Kategorien sowohl in der Anzahl als auch in der Masse ungenügend sortiert. Aus dieser Sicht ist ein Vergleich der Inhaltsstoffe der Input- und Outputströme unzuverlässig.

#### Feinzerlegung

Den 22 Swico-Mix-WKA-Kategorien sind insgesamt 240 verschieden Geräte zugeordnet. Diese Geräte werden in der Feinzerlegung zu Bauteilen zerlegt. Eine ergänzbare Auswahlliste von 50 Bauteilen steht zur Verfügung, zum Beispiel mit Schrauben, CPU- oder Speicher-IC, Leiterplatten (LP) und Laufwerk. Bauteile wie Letzteres werden weiter zerlegt, bis sie mit Handwerkzeugen nicht weiter zerlegt werden können. Die Massen der verbleibenden Bauteile werden, wenn möglich, ihren stofflichen Hauptbestandteilen wie Metallen (Eisen, Kupfer usw.), Plastik (häufige Polymere), Glas, Holz usw. zugeordnet (es steht eine ergänzbare Auswahlliste von 27 Materialien zur Verfügung). Für jedes fein zerlegte EAG wird ein Datenblatt erstellt.

#### Probennahme und -aufbereitung

Die Proben für die chemische Analyse wurden mechanisch und zum Teil in einem Pyrolyseschritt vorbereitet. Für die Analyse des Inputs beschränkt sich die Auswahl der erzeugten Zerlegefraktionen auf Leiterplatten, aufgeteilt in zwei Qualitäten, sowie auf Verbindungskabel aus IT-Geräten inklusive der

zugehörigen Stecker. Für allen anderen, wichtigen Fraktionen aus der Zerlegung existieren im Leistungszentrum Rheintal (LZR) detaillierte Zeitreihen aus systematischen Zerlegeversuchen der wichtigen Gerätekategorien im Swico-Mix. Für die Analyse des Outputs aus der mechanischen Verarbeitung wurden während des Versuchs ausgewählte Fraktionen beprobt, indem in festgelegten Intervallen aus dem Materialstrom Proben entnommen und in einer Sammelmischprobe gesammelt wurden. Auch diese Proben wurden aufbereitet, um einen «Fingerabdruck» der wichtigsten Elemente mit einer semiquantitativen, jedoch kostengünstigen XRF-Messung zu ermitteln und um für Schadstoffe (PCB und FSM) sowie für Edelmetalle (Au, Ag und Pd) genaue, quantitative Messungen (ICP-OES) durchführen zu können.

#### Chemische Analysen

Der Batchversuch verarbeitete 22 550 kg EAG. Daraus wurden 19 händisch erzeugte Fraktionen mit einer Gesamtmasse von 6750 kg sowie 27 maschinell erzeugte Fraktionen (diese umfassen den Rest) abgeschieden. Sieben dieser Fraktionen wurden untersucht. Nicht untersucht wurden reine Metallfraktionen (Eisen [Fe]: 5671 kg, Aluminium [Al]: 1263 kg, Kupfer [Cu]: 1709 kg; Fe/Al/Cu aus E-Motoren: 1163 kg), die zusammen knapp 45 % der Batchgesamtmass ausmachten.

Vier der sechs Kunststofffraktionen aus der maschinellen Verarbeitung wurden untersucht. Diese wurden, wenn LP-haltig, in Kupferhütten und, wenn metallhaltig oder rein, in externe Trennverfahren verbracht zur Rückgewinnung der enthaltenen Metalle (insbesondere Cu und Edelmetalle) und Polymere. Die entsprechenden Fraktionsmassen machten mit 2744 kg, 2843 kg bzw. 1830 kg zusammen knapp 35 % der Batch-gesamtmasse aus.

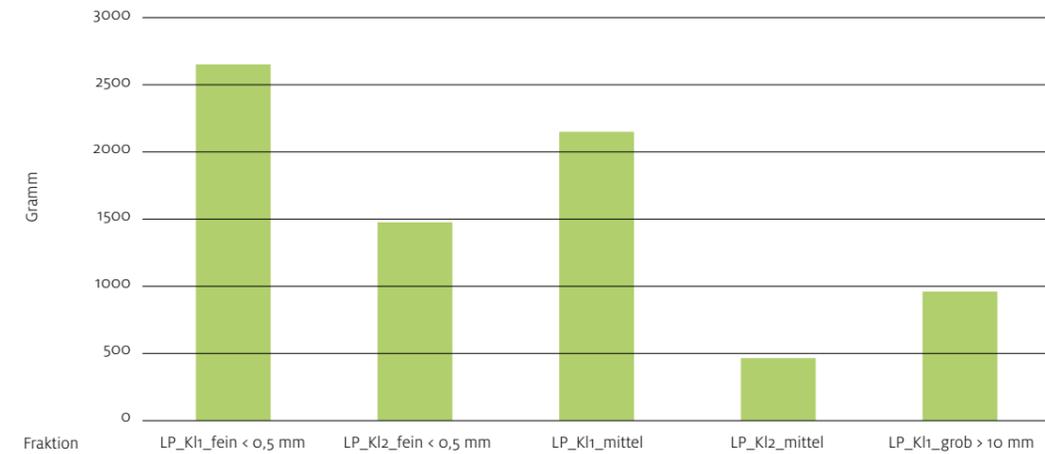
Drei der Schredderleichtfraktionen (SLF), die über den Luftstrom transportiert werden, wurden ebenfalls untersucht. Die chemische Analyse zeigt, dass Leiterplatten und IT-Kabel/-Stecker weiterhin die grössten Träger der EM sind und dass eine maschinelle Verarbeitung deren Massenanteils in der feinkörnigen Staubfraktion zwar etwas anreichern kann, jedoch andere Fraktionen, insbesondere Kunststofffraktionen, die grössten EM-Massen aufnehmen und transportieren können. Es ist wichtig, über den Verbleib dieser Edelmetalle (aber auch über andere Zielstoffe wie PCB) Bescheid zu wissen und entsprechend die Behandlungspfade zu planen.

#### Schlussfolgerungen und Ausblick

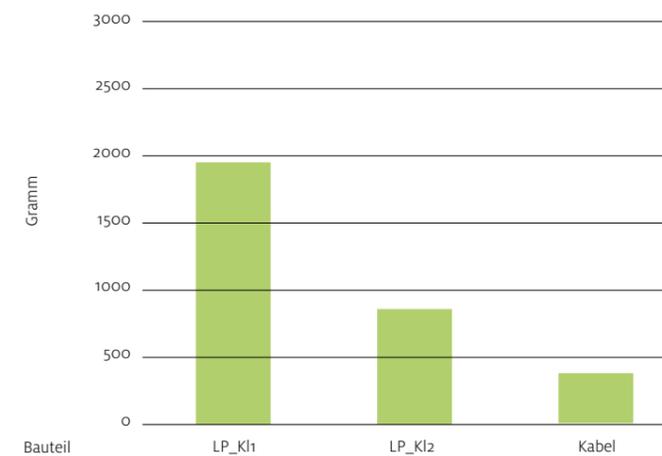
Die stoffliche Inputzusammensetzung wird in diesem BV durch den Zusammenzug von über 50 Gerätetypen aus 22 Kategorien ermittelt. Trotz systematischen Feinzerlegungen bei LZR über viele Jahre ist die Zusammensetzung von mehr als einem Drittel der Inputmasse eines Swico-Mix-Batchversuchs ungenügend bestimmt. Die Erzeugung einer repräsentativen Menge von EAG zur zusätzlichen Feinzerlegung durch ein blindes Auswahlverfahren, eines der Ziele dieses Experiments, erwies sich als ungenügend robust, was die Unsicherheiten in den Zielstoffbilanzen auf über 50 % anwachsen lässt. Dies führt zu nicht belastbaren Aussagen, zum Beispiel bezüglich der möglichen Metallausbeuten eines Swico-Batches. Zudem ist der beträchtliche Aufwand für diese Art von Untersuchungen im Hinblick auf eine regelmässige Anwendung unverhältnismässig hoch. Es werden daher andere Ansätze wie das Messen der Zielstoffverluste in den Ausgangsfraktionen weiterverfolgt.

Abbildung 6: Analyseresultat (v. o. n. u.): Gesamtmasseanteil der drei Edelmetalle Gold (Au), Silber (Ag) und Palladium (Pd) in Gramm pro Tonne (oder ppm) in Leiterplatten aus der Feinzerlegung, die gemahlen und gesiebt wurden. Der EM-Massenanteil steigt mit kleinerer Korngrösse und erreicht für Klasse-1-LP Anteile von mehr als 2500 ppm. Der EM-Massenanteil ist nicht überraschend am höchsten in Klasse-1-LP und erreicht dort Werte von 2000 ppm. Erstaunlich ist eher der hohe EM-Gehalt in IT-Kabeln und in zugehörigen Steckern. Der EM-Massenanteil in Ausgangsfraktionen der maschinellen Verarbeitung ist nicht überraschend am höchsten in einer im Zyklonfilter abgeschiedenen Schredderleichtfraktion. Jedoch ist die Kunststofffraktion mit dem kleinsten EM-Massenanteil diejenige, welche die grösste EM-Masse transportiert.

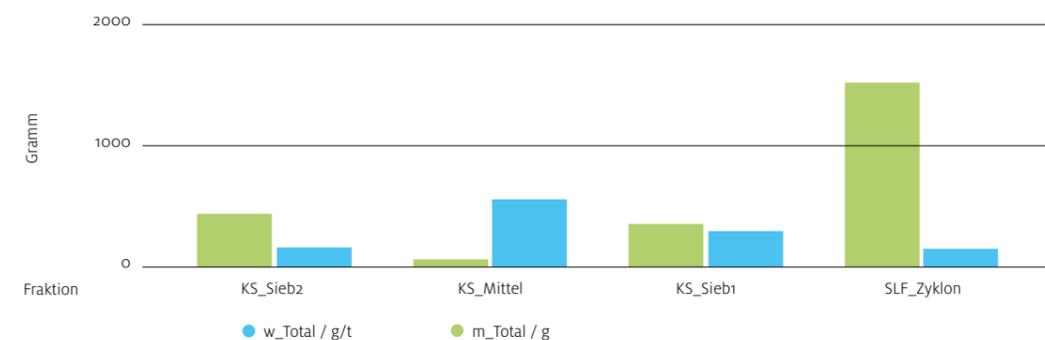
Edelmetalle aus LP Feinzerlegung



Edelmetalle aus LP Feinzerlegung



Edelmetalle aus KS und SLF Batchversuch



# Wachstumsbranche sucht Nachwuchs

Flora Conte

Die Recyclingbranche wächst stetig. Das Recycling von Elektro- und Elektronikaltgeräten wird immer anspruchsvoller. Dank der Lehre Recyclist/-in wird eine neue Generation an kompetenten und engagierten Fachkräften ausgebildet.

Die Kreislaufwirtschaft und die Recyclingtechnik gehören aktuell zu den am schnellsten wachsenden Wirtschaftszweigen. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an Recyclingprozesse im Zuge rascher technologischer Fortschritte. Das Recycling von Elektro- und Elektronikaltgeräten (EAG) ist besonders komplex und im ständigen Wandel. EAG weisen beispielsweise einen zunehmenden Anteil an verschiedenartiger Elektronik sowie unterschiedlichen Batterien und Kunststoffen auf. Für deren Entfernung oder Rückgewinnung sind die heute etablierten Recyclingtechnologien nicht immer die optimale Lösung. Das gilt es zu erkennen, um im Anschluss Prozesse optimieren zu können. Dafür braucht man Know-how – zum Beispiel das von gut ausgebildeten Recyclistinnen und Recyclisten.

Recyclist/-in EFZ ist in der Schweiz bereits seit dem Jahr 2000 ein Lehrberuf. Bis heute ist das weltweit einzigartig und bietet Absolventinnen und Absolventen dieser Lehre somit nicht nur in der stetig wachsenden Umweltbranche in der Schweiz sehr gute Berufsaussichten.

Wir haben mit Steve Hörler gesprochen, der die SENS-/Swico-Sammelstelle Verwert AG in Au SG, Standort der Zingg Industrieabfälle AG, leitet. Wir haben nachgefragt, wie sich seine Ausbildung auf seine berufliche Laufbahn und seinen Arbeitsalltag auswirken.

## Was hat Sie dazu bewegt, die Lehre zum Recyclisten auszuwählen?

Ich hatte schon einige Schnuppertage für verschiedene Lehren absolviert; das Richtige war aber noch nicht dabei. Meine Grossmutter hat mich auf einen Kurzfilm des SRF über die Thommen AG zum Berufsbild Recyclist aufmerksam gemacht. Ich war neugierig und habe einen Probetag absolviert. Ich habe sehr schnell gemerkt, dass ich den für mich richtigen Beruf gefunden habe. Im Jahr 2009 habe ich dann die Lehre begonnen.

## Wie hat sich Ihre berufliche Laufbahn seitdem entwickelt?

Nach dem Lehrabschluss im Jahr 2012 blieb ich zunächst in meinem Lehrbetrieb. Im November 2013 begann ich dann als Baggerfahrer bei der Zingg Industrieabfälle AG zu arbeiten. Nach einem Arbeitsunfall im Jahr 2015 hatte ich lange Ausfallzeiten, aber glücklicherweise einen Vorgesetzten, der mit mir gemeinsam nach Möglichkeiten gesucht hat, wie ich weiter bei ihm beschäftigt sein kann. Ich fing an, halbe Tage im Büro zu arbeiten, und machte nebenbei noch das Bürofachdiplom und ein Handelsdiplom. Während eines Praktikumsjahres und der gleichzeitigen Ausbildung zum Technischen Kaufmann konnte ich stark vom Betrieb profitieren. Nach meinem Abschluss im Januar 2019 durfte ich ein halbes Jahr dem Handel über die Schultern schauen und tatkräftig mitwirken. In der Verwert AG, der Tochtergesellschaft der Zingg Industrieabfälle AG, wurde im Oktober 2019 der Posten des Standortleiters frei – mein Vorgesetzter gab mir die Chance, diese Herausforderung anzunehmen.



Foto 1: Steve Hörler, Leiter der Recycling-Sammelstelle Verwert AG. (Quelle: Steve Hörler)

## Inwiefern hat Sie Ihre Ausbildung auf die wachsenden Anforderungen im Zuge der raschen technischen Entwicklungen vorbereitet?

Die Ausbildung hat mir das Wissen und das Rüstzeug mitgegeben, mit neuen Herausforderungen umzugehen. Wenn ich ein Gerät zum ersten Mal sehe, zerlege ich es bereits im Kopf, plane die verschiedenen Arbeitsschritte und die Zeit, die es dafür braucht. Das setzt gute Analysefähigkeiten und gesunden Menschenverstand voraus. Beides wird in der Ausbildung weiter geschult. Gut ausgebildete Recyclistinnen und Recyclisten sind gesucht – eben, weil sie Fähigkeiten zur Analyse und Problemlösung mitbringen und dazu noch ein sehr breites Grundwissen im Bereich Recycling haben.

## Was schätzen Sie an dem Beruf?

Die Vielseitigkeit. Auf der einen Seite sind da die praktischen Arbeiten und der Umgang mit schweren Maschinen, auf der anderen Seite Bürotätigkeiten, aber auch Sortieren, Planen und Analysieren. Dazu habe ich die Möglichkeit, viel im Freien zu arbeiten und mit Kunden in Kontakt zu sein.



Foto 2: Als Recyclist/-in hat man einen vielseitigen Berufsalltag (Quelle: R-Suisse)



Foto 3: Das geschulte Auge der Recyclistinnen und Recyclisten erhöht die Qualität der Sortierung (Quelle: Flora Conte)

# Recyclingquote von Haushaltsgrossgeräten – Aktualisierung

Geri Hug und Anahide Bondolfi

Bis 2019 lag der Zielwert für die Recyclingquote von Haushaltsgrossgeräten in der Schweiz bei 75 %. In den letzten Jahren zeigte sich jedoch, dass einige Recycler Probleme damit hatten, diesen Wert zu erreichen. Einer der Gründe hierfür ist, dass die Recyclingquote von der Zusammensetzung der einzelnen Geräte und vom Gerätemix abhängt. Mit den neuen «Ergänzenden technischen Vorschriften von Sens und Swico zur SN EN 50625 Serie», in Kraft seit 1. Januar 2020, beschloss SENS deshalb, den Richtwert für die Recyclingquote von Haushaltsgrossgeräten entsprechend dem eingehenden Gerätemix festzulegen.

## Aktualisierung der 2018 gesammelten Daten

2018 begann die Technische Kommission Swico/SENS damit, detaillierte Daten über die Zusammensetzung jeder Art von Haushaltsgrossgeräten zu sammeln und nach neuen Methoden zur angemessenen Festlegung von Zielwerten für Recyclingquoten zu suchen. Die ersten Daten wurden im Fachbericht 2019 veröffentlicht. Im Jahr 2019 wurden neue Daten eingeholt. Der vorliegende Artikel fasst die im Bericht 2019 enthaltenen Informationen zusammen und präsentiert die neuen, aktualisierten Daten.

## Die Recyclingquoten werden durch den Mix der eingehenden Geräte beeinflusst

Die Durchführung von Batchversuchen dient in erster Linie dazu, die Recyclingquote, d. h. die Materialrückgewinnungsquote, pro Recyclingunternehmen und Behandlungsstrom in standardisierter Form zu ermitteln. Bis 2019 basierte der Mindestwert für die Recyclingquote auf der WEEE-Richtlinie und lag dementsprechend bei 75 % für Haushaltsgrossgeräte. Seit 2014 bekunden jedoch mehrere Schweizer Recyclingunternehmen Probleme bei der Erfüllung dieser Anforderung. Eine geringere Recyclingquote kann verschiedene Ursachen haben, wovon einige mit den Behandlungsprozessen des Unternehmens zusammenhängen, darunter vor allem:

- keine oder nur geringe Rückgewinnung von rezyklierbaren Kunststoffen sowie Glas oder Beton

- geringe Effizienz der Metallrückgewinnung mit hohen Metallverlusten, insbesondere in der feinsten nichtmetallischen Shredderfraktion (RESH).

Eine geringe Recyclingquote kann jedoch auch andere Ursachen haben, die von den Bearbeitungsmethoden des Recyclingbetriebs unabhängig sind, darunter vor allem:

- geringes Gewicht insbesondere neuerer Geräte mit höheren Kunststoff- und geringeren Metallanteilen
- Änderung im Mix zu behandelnden Geräten mit einer Reduktion metallreicherer Geräte wie Öfen

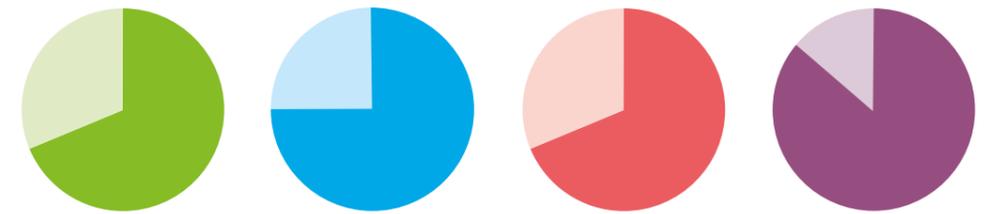
## Methode zur Analyse der Gerätezusammensetzung nach Kategorie

Da bisher keine gesicherten Daten zur Zusammensetzung dieser Geräte verfügbar waren, lancierte SENS ein Projekt zur Ermittlung der Anteile an Metallen (Eisen, Kupfer und Aluminium), Kunststoffen, Glas und Beton für vier Kategorien von Haushaltsgrossgeräten (Geschirrspüler, Tumbler, Waschmaschinen und Kochherde bzw. Backöfen). Zu diesem Zweck wurden rund zehn Tonnen Geräte pro Kategorie in separaten Batches von zwei auf mechanisches Recycling spezialisierten Unternehmen mechanisch verarbeitet. Zusätzlich wurden rund zwei Tonnen Geräte pro Kategorie durch einen Zerlegebetrieb manuell demontiert.

Abbildung 1: Komposition der Geräte.

**Metallanteil pro Kategorie:**

- Geschirrspüler: 69 %
- Wäschetrockner: 75 %
- Waschmaschine: 69 %
- Ofen: 86 %



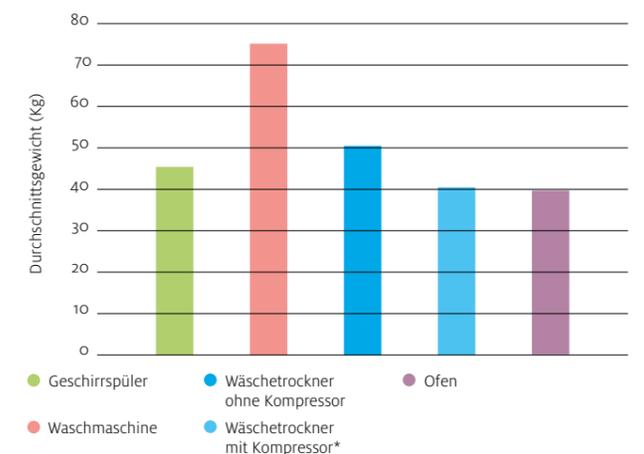
Ein Durchschnittsgewicht pro Kategorie wurde berechnet (siehe Abbildung 2). Zudem wurden die Gewichte aller Outputfraktionen pro Kategorie bestimmt. Darauf wurde die Zusammensetzung jeder Outputfraktion geschätzt, entweder durch weitere Trennungsschritte oder durch Analysen. Anhand der im WF-RepTool erfassten Daten wurden die erzielten Recyclingquoten pro Kategorie berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 1 ersichtlich. Die Metallzusammensetzung jeder Kategorie zeigt, wie viel Metall theoretisch hätte verwertet werden können, wenn es beim Verarbeitungsprozess keine Verluste gegeben hätte.

## Ausblick

Die in den Abbildungen 1 und 2 dargestellten Daten werden ab 2020 zur Berechnung von Richtwerten für die Recyclingquoten von Batches von Haushaltsgrossgeräten verwendet. Der Richtwert für die Recyclingquote wird so für jeden Batch speziell berechnet, basierend auf der Menge jeder Gerätekategorie, die im betreffenden Batch enthalten ist, wobei das in Abbildung 2 dargestellte Durchschnittsgewicht verwendet wird. Wie in den neuen «Ergänzenden technischen Vorschriften von Sens und Swico zur SN EN 50625 Serie» definiert, sind diese Recyclingquoten Richtwerte und nicht mehr Zielvorgaben. Da die Unterschiede zwischen den berechneten Recyclingquoten (theoretische Metallmenge) der drei Recycler beträchtlich sind (Standardabweichung von 7 %), werden im Jahr 2020 weitere ähnliche Kampagnen durchgeführt,

um verlässlichere und vollständigere Daten zu erheben. Darüber hinaus will SENS das Potenzial zur Verbesserung der Recyclingquote bei den Batches eingehender analysieren und die Ursachen der Metallverluste, d. h. der Metalle, die bei der Materialverwertung verloren gehen, untersuchen. Fortsetzung folgt ...

Abbildung 2: Durchschnittsgewicht pro Kategorie.



\*Gewicht vom Gerät nach der Entfrachtung vom Kompressor

## Wärmepumpen-Wäschetrockner

Wärmepumpen-Wäschetrockner sind seit rund 20 Jahren auf dem Markt. Seit 2012 werden in der Schweiz nur noch mit einer Wärmepumpe ausgestattete Wäschetrockner verkauft, da es nur mit dieser Technologie möglich ist, die Energieklasse A zu erreichen (A obligatorisch seit 2012, A+ seit 2015). Diese Wäschetrockner finden sich immer häufiger unter den gesammelten älteren Geräten. Die Kompressoren werden nach dem gleichen Verfahren entfernt, das auch bei Kühl- und Gefriergeräten angewandt wird («Stufe 1»). Wäschetrockner, deren Kompressoren entfernt wurden, können anschliessend mit anderen Haushaltsgrossgeräten verarbeitet werden. Wie in Abbildung 2 dargestellt, sind diese Geräte jedoch leichter (Gewicht ohne Kompressoren). Zudem ist der Anteil an Metallen in diesen Geräten (nach Ausbau des Kompressors) gemäss dem 2019 durchgeführten Test geringer. Der Metallanteil von 75 % in den in Abbildung 1 gezeigten Trocknern entspricht einem Mix aus etwa einem Drittel Wärmepumpen-Wäschetrockner (nach Ausbau des Kompressors) und zwei Dritteln konventioneller Wäschetrockner. Der Metallanteil in den ausschliesslich mit konventionellen Trocknern durchgeführten Tests beträgt 78 %.

# PCB-Fracht in Kondensatoren weiterhin relevant

Daniel Savi

Vor zwei Jahren wurde der Anteil PCB-haltiger Kondensatoren in Elektroaltgeräten der Rücknahmesysteme SENS und Swico erhoben. Welche PCB-Fracht gelangt mit den Kondensatoren in das Recycling? Ist diese Fracht umweltrelevant? Welche Regeln sollen künftig für die Entsorgung von Kondensatoren gelten?

## Wie viel PCB enthalten die Elektroaltgeräte heute?

Grössere Kondensatoren in Elektrogeräten enthielten früher sehr oft Polychlorierte Biphenyle (PCB). Diese Tatsache führte dazu, dass die Regeln für die Schadstoffentfrachtung stark darauf ausgerichtet wurden, die Freisetzung von PCB im Recycling zu verhindern. Je weiter das Verwendungsverbot für PCB-haltige Kondensatoren im Jahr 1986 zurück liegt, desto stärker stellt sich die Frage, ob die heute entsorgten Geräte noch PCB-haltige Kondensatoren enthalten und ob die Regeln für die Schadstoffentfrachtung noch angemessen sind. In den Elektroaltgeräten in der Schweiz wurde der Anteil PCB-haltiger Kondensatoren zuletzt 2018 bestimmt. Damals zeigte sich ein Anteil PCB-haltiger Kondensatoren in Grossgeräten von 1,7–2,2 % und von 55–76 % in Vorschaltgeräten aus Leuchten. Wie gross sind die daraus entstehenden jährlichen PCB-Frachten in den Kondensatoren von Elektroaltgeräten? In einer Folgestudie ging das Büro für Umweltchemie im Auftrag der SENS dieser Frage nach.

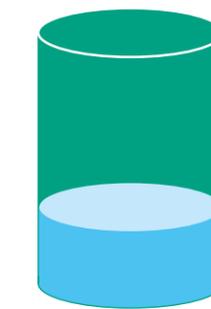
## Wie viel PCB enthält ein Kondensator?

Um die Frage zu beantworten, wurde zunächst der Flüssigkeitsgehalt in ungepolten zylindrischen Kondensatoren festgestellt. Als ungepolt zylindrisch bezeichnen wir die ungepolten Kondensatoren, die grösser als 1,5 cm sind und heute manuell entfrachtet werden müssen. Nicht dazu gehören die gepolten Elektrolytkondensatoren, da diese kein PCB enthalten. Aus 22 Kondensatoren wurde das Öl abgelassen. Nachdem das spontan ausfliessende Öl abgetrennt und gewogen war, liessen wir die restliche Flüssigkeit während vier Monaten aus den oben und unten geöffneten Kondensatoren abtropfen. Danach wurde das Gewicht der Feststoffe und der Flüssigkeiten getrennt bestimmt. Es ergab sich ein Masseanteil der Flüssigkeiten von 15 % am Gesamtgewicht der Kondensatoren. Aus früheren Studien ist bekannt, dass der PCB-Gehalt im Öl von PCB-haltigen Kondensatoren über 90 % betragen kann. Für die Berechnung der PCB-Fracht wurde darum ein PCB-Anteil im Öl von 100 % angenommen.

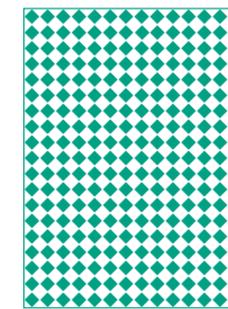
## Welche jährliche PCB-Fracht ergibt sich daraus?

Aus den Stoffflussdaten, die von SENS und Swico jährlich bei den Recyclern erhoben werden, kennen wir das Gesamtgewicht der Kondensatoren, die aus Elektroaltgeräten entfernt werden. Die Stoffflussdaten beziehen sich nur auf Geräte, die der VREG unterstehen. Geräte aus dem professionellen Sektor wie z. B. Industrieanlagen sind in den Stoffflüssen nicht enthalten.

Abbildung 1: Aus dem Flüssigkeitsanteil in Kondensatoren, einem PCB-Gehalt von 100 % und der Jahresfracht entfernter Kondensatoren wurde der PCB-Fluss bestimmt.



**Anteil Flüssigkeit**  
Bestimmt über Auslaufversuche



**PCB-Gehalt**  
Worst-case reines PCB-Öl



**Menge Kondensatoren**  
Bestimmt aus Stoffflussdaten

Gemäss Stoffflusserfassung werden jährlich 38 Tonnen Kondensatoren aus Haushaltsgrossgeräten entfernt. Dazu kommt 1 Tonne aus Leuchten. Daraus ergibt sich, dass in den Kondensatoren aus Haushaltsgrossgeräten rund 120 kg PCB pro Jahr enthalten sind. In den Kondensatoren aus Leuchten sind es zusätzliche 100 kg PCB pro Jahr. Die Gesamtmenge PCB in den Kondensatoren aus Elektroaltgeräten beträgt also rund 200–250 kg pro Jahr.

## Ist diese PCB-Fracht problematisch?

Wie ist diese Fracht einzuordnen? Stellt sie eine Gefährdung der Umwelt dar? Zur Beantwortung dieser Frage vergleichen wir die Fracht in Kondensatoren mit der Hintergrundbelastung in der Schweiz. Mit den Messdaten der Rheinüberwachung bei Basel lässt sich berechnen, wie viel PCB jährlich im Rhein die Schweiz verlässt. Sie beträgt für das Jahr 2016 rund 30 kg/a. Die Luftemissionen von PCB in der Schweiz schätzt eine aktuelle Studie auf ca. 400 kg/a. Der Vergleich mit diesen Zahlen zeigt, dass PCB aus Kondensatoren nach wie vor eine relevante Fracht darstellen. Es muss verhindert werden, dass diese PCB unkontrolliert in der Umwelt landen. Die Kondensatoren mit Flüssigkeiten grösser 1,5 cm müssen darum weiterhin separat entfrachtet und in einer Sondermüllverbrennung entsorgt werden. Besonderes Augenmerk sollte auf die Kondensatoren aus Vorschaltgeräten gelegt werden. Diese tragen bereits jetzt die Hälfte zur PCB-Fracht bei. Dieser Anteil wird in Zukunft weiter steigen, da Leuchten deutlich länger im Einsatz bleiben als Haushaltsgrossgeräte.



Foto 1: Separation von Feststoffen und Flüssigkeiten nach vier Monaten Abtropfzeit.



Foto 2: Der grösste Teil der Flüssigkeit fließt nach dem Öffnen spontan aus.

## Recycling von Leuchtmitteln im Wandel

Flora Conte

Über die Unterscheidung zwischen VREG-pflichtigen Leuchtmitteln und Glühlampen hat sich schon so manch ein/-e Sammelstellenbesucher/-in den Kopf zerbrochen. Noch komplexer wird heute die Sortierung bei den Leuchtmittelrecyclern. LEDs verschiedener Formen dürfen zum Beispiel nicht mit Gasentladungslampen verwechselt werden. Was bedeutet das für die Leuchtmittelrecycler?

Quecksilberhaltige Gasentladungslampen werden heute in den Sammelstellen noch häufig abgegeben. Gleichzeitig werden zunehmend unterschiedlichste LED-Lampen gesammelt. Der laufende Wandel unserer Leuchtmitteltypen widerspiegelt die allgemeinen Entscheidungstrends im Umwelt- und Gesundheitsbereich: Glühlampen dürfen trotz ihrem angenehmen Licht nicht mehr verkauft werden, weil sie energetisch gesehen sehr ineffizient sind und der Gesetzgeber das Inverkehrbringen verboten hat. Das Quecksilber der Gasentladungslampen ist heute aus toxikologischen Gründen nicht mehr willkommen. Mit LED-Lampen kam eine energieeffizientere und schadstoffärmere Lösung auf den Markt. Das Licht der aktuellen LED wird jedoch nicht für jede Anwendung bevorzugt. Es wird daher weiter geforscht, Innovationen finden regelmässig statt. So drängen schon die ersten LCC-Lampen auf den Markt.

### Neue Lösungen, neue Probleme

Was bedeutet dies mittelfristig für das Leuchtmittelrecycling? Schadstoffhaltige Leuchtmittel werden weiterhin auf dem Rückzug sein. Trotzdem soll die fachgerechte Entsorgung von Quecksilber aus Lampen auch künftig eine Priorität bleiben. Gleichzeitig wird sich die Zusammensetzung der Wertstoffe ändern: weniger Glas, mehr Elektronik. Die Formen der Lampen werden stark variieren. Die immer langlebigeren und kleineren Leuchtmittel sind schon heute zunehmend in die Leuchten integriert, sodass manche Leuchtmittel nicht von der Leuchte unterscheidbar oder trennbar sind.

### Die Zukunft des Leuchtmittelrecyclings

Sicher ist, dass Leuchtmittel auch in Zukunft Elektronik enthalten werden und durch entsprechende Recyclingsysteme gesammelt und verwertet werden sollen. Schadstoffhaltige Leuchtmittel werden weiterhin anfallen. Ein Teil des Leuchtmittelrecyclings könnte mit dem Kleingeräterecycling fusionieren, ein anderer Teil wird, wie heute, spezifische Leuchtmittel-Recyclinganlagen benötigen. In den nächsten Jahren dürfte es für Leuchtmittelrecycler eine Herausforderung darstellen, dass innerhalb des SLRS-Systems Leuchtmittel mit Schadstoffen und schadstofffreie Leuchtkörper beim Recycling getrennt betrachtet werden müssen und es keine Vermischung geben darf. Der Sortieraufwand wird entsprechend steigen. Die vielfältige Entwicklung der Leuchtmittel erfordert bei den Recyclern erfahrendes Fachpersonal, mehr Zeit und mehr Platz. Die Notwendigkeit der Zusammenarbeit mit SLRS bleibt also trotz technologischem Wandel der Leuchtmittel bestehen.

Foto 1: Aussortierte LED-Lampen sind ohne erfahrenes Personal oft sehr schwer von Energiesparlampen oder Glühlampen zu unterscheiden. (Quelle: Flora Conte)

Foto 2 nächste Seite: Die Unterscheidung zwischen Glühlampen und SLRS-Leuchtmitteln ist schon heute eine Herausforderung. (Quelle: SLRS)



## Richtig



Alle Quecksilberdampf lampen,  
Natriumdampf lampen, Metallhalogenid-  
lampen, Energiespar lampen,  
Induktions lampen und LED-Lampen



Ohne Kartonverpackung!  
Ohne Kartonschachteln!  
Kein Abfall!



## Falsch



Alle Arten von Glühlampen



# Kreislaufwirtschaft beim Recycling von EAG: Sind wir auf dem richtigen Weg?

Heinz Böni und Rolf Widmer

Elektro- und Elektronikaltgeräte (EAG) enthalten eine Vielzahl von Stoffen mit den unterschiedlichsten Eigenschaften. Um die grosse Vielfalt an Funktionen zu gewährleisten, befinden sich in einem Mobiltelefon beispielsweise rund 40 verschiedene Metalle. Das Nebeneinander von ökonomisch wertvollen Stoffen sowie Stoffen, welche selten, aber unter Umständen ökonomisch nicht interessant sind, und Stoffen, die toxische oder gefährliche Eigenschaften aufweisen, macht das Recycling äusserst komplex.

Das Recycling von EAG verfolgt heute im Wesentlichen zwei Zielsetzungen: (1) die Rückgewinnung von Wertstoffen und (2) die Ausschleusung und umweltgerechte Verwertung oder Beseitigung von Schadstoffen.

In der Schweiz werden die gesammelten EAG in einem ersten Schritt manuell vorbehandelt, das heisst, es werden Bauteile und Komponenten entnommen, die besonders risikoreiche Schadstoffe und hohe Anteile an Wertstoffen enthalten. Die daraus resultierenden Abfälle werden anschliessend von Betrieben in der Schweiz mechanisch vorbehandelt, und die Fraktionen werden entweder in der Schweiz stofflich oder thermisch verwertet oder gelangen entweder direkt oder über eine Kette von Prozessen die Metalle und einzelne Kunststoffpolymere zurückgewonnen werden. Die Art und Qualität der Vorbehandlungsprozesse ist dabei entscheidend für den erreichbaren Grad der Rückgewinnung in den Endbehandlungsprozessen. Mit anderen Worten: Die Weichen, ob Stoffe am richtigen Ort landen und zurückgewonnen werden können oder verloren gehen, werden in den ersten Prozessschritten gestellt.

Die Normenreihe SN EN 50625 definiert administrative, organisatorische und technische Anforderungen, welche die gesamte Behandlungskette von EAG von der Sammlung bis zur endgültigen Verwertung oder Beseitigung regeln. Insbesondere werden darin auch quantitative Indikatoren zur Bewertung und Überwachung der Leistung der EAG-Behandlung festgelegt. Es gibt Zielwerte für die Entnahme von

schadstoffhaltigen Komponenten wie Kondensatoren oder Batterien, Grenzwerte für Schadstoffe wie polychlorierte Biphenyle (PCB) oder Cadmium (Cd) in den Rückständen der mechanischen Verarbeitung in der feinsten, nicht metallischen Fraktion, und es gibt Leistungsanforderungen für die Verwertung durch Zielwerte für Recycling- und Verwertungsquoten und Ausbeuten für Kupfer (Cu), Gold (Au), Silber (Ag) und Palladium (Pd) in spezialisierten Kupferhütten.

Zur Bestimmung des Rückgewinnungsgrades der stofflich oder energetisch verwertbaren Inhaltsstoffe von Elektroschrott werden anhand von standardisierten Versuchen Recycling- und Verwertungsquoten bestimmt. Die Recyclingquote (RQ) stellt die Gesamtmasse der zurückgewonnenen und stofflich verwertbaren Basismetalle und Kunststoffe in ein Verhältnis zur insgesamt verarbeiteten Masse an Geräten. Die Verwertungsquote (VQ) berücksichtigt zusätzlich zur RQ die Masse der thermisch verwertbaren Stoffe, das heisst derjenigen Stoffe, welche nicht stofflich verwertet werden können, welche aber einen nutzbaren Energieinhalt aufweisen, der andere Energieträger ersetzen kann. Bei EAG sind dies vor allem die Kunststoffe, welche Schadstoffgehalte über den gesetzlichen Grenzwerten aufweisen und welche deshalb thermisch verwertet werden müssen.

Beide Quoten sind somit Gesamtmassenanteile, welche wesentliche Qualitätsaspekte der EAG-Behandlung ausser Betracht lassen:

- Bei der RQ bestimmen vorwiegend die massenreichen Metalle wie Eisen (Fe), Kupfer (Cu) und Aluminium (Al) sowie die Kunststoffe die Quote. Das heisst, die massenmässig weniger bedeutenden Stoffe wie beispielsweise Gold (Au), Palladium (Pd) oder Silber (Ag) werden nicht erfasst. Entsprechend gibt die RQ keine Auskunft über den Grad der Rückgewinnung von massenmässig weniger bedeutenden Stoffen.
- Die erreichbaren Quoten sind von der Zusammensetzung des Inputmaterials abhängig, welche zeitlich und räumlich unabhängig von der Behandlungsleistung variieren. Das heisst, die RQ gibt keine Auskunft über den Rückgewinnungsgrad eines Behandlungsverfahrens (Verhältnis des zurückgewonnenen Zielstoffs zu seinem Vorkommen in den behandelten EAG).
- Die Umweltauswirkungen der Rückgewinnung einzelner Zielstoffe aus EAG werden nicht erhoben, obwohl insbesondere die Rückgewinnung von STM aus EAG in den meisten Fällen deutlich geringere Umweltbelastungen verursacht als deren Primärproduktion. Das heisst, die Recycling- und Verwertungsquoten (RVQ) geben keine Auskunft über den Umweltnutzen der Behandlung.

Um festzustellen, ob schadstoffhaltige Bauteile und Komponenten vor einem mechanischen Prozess aus den Geräten entfernt wurden, werden bestimmte Fraktionen auf diese Schadstoffe analysiert und mit Grenzwerten verglichen:

- Der Vergleich des Massenanteils eines Zielstoffs in einer Fraktion mit seinem Grenzwert ist unabhängig von dieser Fraktionsmasse. Das ist tauglich für eine Einzelmessung, jedoch untauglich, um den Überblick zu behalten. Denn es geht dabei die wichtige Information verloren, wie sich die Gesamtmasse des Schadstoffes auf alle Fraktionen verteilt, insbesondere auf diejenigen, bei denen der Schadstoff nicht mehr abgeschieden werden kann. Zum Beispiel ist auf den ersten Blick eine Staubfraktion mit einem PCB-Gehalt

von 60 ppm problematischer als eine Schredderleichtfraktion (SLF) mit einem PCB-Gehalt von 10 ppm. Berücksichtigt man jedoch die Fraktionsmassen (zum Beispiel 20 kg Staub und 2 000 kg RESH), wird ersichtlich, dass die Staubfraktion «nur» 1,2 g PCB, die SLF-Fraktion jedoch 10 g PCB enthält. Beide Fraktionen werden zur Zeit verbrannt, wodurch das gesamte PCB beseitigt wird. Störend ist, dass bei einem Grenzwert von 50 ppm die Überwachung in Bezug auf den grösseren PCB-Beitrag blind ist. Dieser Umstand wird bedenklich, wenn bedeutende PCB-Verschmutzungen unterhalb des Grenzwerts über Kunststofffraktionen dem Recycling zugeführt werden. Es besteht damit das Risiko, dass gefährliche Stoffe zusammen mit den Polymeren unbemerkt bzw. wissentlich recycelt und damit im Kreislauf gehalten werden.

- Die Beurteilung stützt sich auf eine geringe Anzahl an Schadstoffen ab. Zu den nicht überwachten Schadstoffen gehören Asbest, weitere bedenkliche Stoffe in Kondensatoren, chlorierte Paraffine, Phthalate, Antimon (Sb), Chrom (Cr) usw.

Die dargelegten Schwachstellen der heutigen Indikatoren lassen erkennen, dass diese ein unvollständiges, verzerrtes oder gar falsches Bild über die Qualität der Rückgewinnung von Wertstoffen und der Ausschleusung von Schadstoffen aus EAG ergeben und damit den Anforderungen an eine kreislauffähige Abfallwirtschaft nicht genügen. Eine solche muss sicherstellen, dass Zielstoffe bei gleicher Qualität im Kreislauf erhalten bleiben oder abgetrennt und umweltgerecht beseitigt werden. Um dieses Ziel zu erreichen, braucht es Indikatoren, welche sowohl die Zirkularität der Zielstoffe als auch deren Umweltauswirkungen beurteilen. Es ist nicht zwingend gegeben, dass die maximale Rückgewinnung von Wertstoffen auch die beste Umweltleistung aufweist. Indikatoren, welche den genannten Anforderungen gerecht werden, weisen einen positiven Lenkungseffekt in Richtung nachhaltige Kreislaufwirtschaft auf. Ziel der Weiterentwicklung der Indikatoren ist es, die EAG-Behandlung bezüglich der Rückgewinnung von Wertstoffen und der Ausschleusung von Schadstoffen unter Berücksichtigung der Umweltauswirkungen durch eine geeignete Methodik und geeignete Indikatoren zu verbessern.

# Das SRI-Programm geht in die zweite Runde

Andreas Bill und Heinz Böni

Als Mitglieder des beratenden Begleitgremiums wirkten SENS eRecycling und Swico in den Jahren 2014 bis 2018 bei der Umsetzung des vom Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO) finanzierten Sustainable-Recycling-Industries (SRI)-Programms mit. Seit Mitte 2019 wird dieses Programm nun in einer zweiten Phase über weitere vier Jahre fortgesetzt. In ihrer Funktion als Auftragsnehmerin und technisches Kompetenzzentrum übernimmt die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) dabei weiterhin Kernaufgaben.

Die langjährige Erfahrung und die positive Zusammenarbeit mit den Schweizer Systemen und Recyclern bilden eine wichtige Basis, welche es ermöglicht, die Entwicklung von nationalen E-Waste-Management-Systemen in den SRI-Partnerländern Kolumbien, Peru, Ägypten, Ghana und Südafrika wirkungsvoll zu unterstützen.

Die unkontrollierte Verwertung von Elektroschrott im sogenannten informellen Sektor führt in vielen Entwicklungs- und Schwellenländern zu hohen Umweltbelastungen und Gefahren für die Gesundheit der involvierten Personen. Gleichzeitig bietet die Verwertung von Elektroschrott in diesen Ländern jedoch auch vielen Menschen eine Lebensgrundlage. Insbesondere die Sammlung ist wegen des positiven Materialwerts von Elektroschrott oft effizient organisiert und birgt keine grossen Risiken. Auch werden viele Geräte repariert und intakte Komponenten aus defekten Geräten als Ersatzteile weiterverkauft, wodurch die Ressourcen auf einer höheren Ebene im Materialkreislauf gehalten werden als bei einem direkten Recycling. Die bestehenden Strukturen in Ländern, in welchen Elektroschrott hauptsächlich vom informellen Sektor verarbeitet wird, können in vielen Bereichen also durchaus positiv bewertet werden. Aus diesen Gründen wurde in den seit 2003 vom SECO finanzierten Programmen stets ein umfassender Ansatz gewählt und eine gemeinsame Entwicklung von institutionellen und privatwirtschaftlichen Kapazitäten unter Einbezug des informellen Sektors angestrebt.

Die zweite Phase des SRI-Programms<sup>1</sup> unter der Leitung der Empa<sup>2</sup> in Kooperation mit der World Resources Forum Association (WRFA)<sup>3</sup> und weiteren internationalen und nationalen Partnern baut weiterhin auf dem bisherigen Erfolgsmodell auf. Das übergeordnete Ziel des Programms ist es, vorteilhafte Rahmenbedingungen für die Entwicklung einer nachhaltigen Elektroschrottreycling-Industrie zu schaffen. Partnerländer der zweiten Phase sind Ghana, Ägypten, Südafrika, Kolumbien und Peru. In Zusammenarbeit mit der jeweiligen Regierung, privaten Industriegremien, Normenorganisationen und Recyclingpartnern werden unter der Länderkomponente des Programms die nachfolgenden allgemeinen Ziele verfolgt:

1. Erarbeitung einer nationalen Politik und eines gesetzlichen Rahmens im Hinblick auf die Handhabung von Elektroschrott
2. Festlegung von normativen Anforderungen und Konformitätskriterien im E-Waste-Recycling, inklusive des Aufbaus eines unabhängigen Auditsystems und der Ausbildung von Auditoren
3. Optimierung nachhaltiger Wertschöpfungsketten und Professionalisierung der Recyclingindustrie
4. Erarbeitung und Umsetzung von lokalen Best Practices für die Handhabung von problematischen Fraktionen

Die generelle Struktur bleibt dabei für alle Partnerländer dieselbe; die Aktivitäten werden jedoch individuell geplant und Schwerpunkte den jeweiligen Bedürfnissen angepasst.

Dadurch kann den unterschiedlichen Entwicklungsstadien des E-Waste-Managements in den Partnerländern gezielt Rechnung getragen werden.

Um die Zusammenarbeit und den Austausch zwischen SRI-Partnerländern und der internationalen Gemeinschaft zu stärken, beinhaltet die zweite Phase des Programms zusätzlich eine globale Komponente. Dadurch soll sichergestellt werden, dass Synergien – sowohl zwischen den Zielländern als auch mit anderen Programmen und Initiativen – optimal genutzt und Programmresultate gezielt aufgearbeitet, kommuniziert und öffentlich zugänglich gemacht werden.

Als eines der ersten Produkte dieser globalen Komponente wurde im Verlauf des letzten Jahres in Zusammenarbeit mit der StEP-Initiative<sup>4</sup> ein Handbuch zur Sortierung und Behandlung von Kunststoffen aus Elektroschrott erarbeitet<sup>5</sup>. Der Inhalt dieses Dokuments beruht auf den Erfahrungen und dem Prozesswissen, das während der ersten Programmphase insbesondere in Indien erarbeitet wurde (siehe auch Artikel zu SRI I im Fachbericht 2018) und später in der Form von Workshops und Trainings in weiteren SRI-Partnerländern zur Anwendung kam. Das Handbuch enthält generelle Informationen zu Kunststoffen und Additiven und zeigt auf, wie mit simplen Methoden relevante E-Waste-Kunststoffe sowohl erkannt wie auch sortiert und problematische Substanzen ausgeschleust werden können (siehe Abbildung). Weitere Kapitel behandeln mögliche nachfolgende Verwertungsprozesse und die Vermarktung von zurückgewonnenen Kunststoffen sowie die Handhabung und die Entsorgungsmöglichkeiten im Hinblick auf nicht marktaugliche und/oder kontaminierte Fraktionen im lokalen Kontext.

Durch die gezielte Aufarbeitung der Erfahrungen und Resultate aus SRI I in einem für die praktische Anwendung strukturierten und öffentlich zugänglichen Handbuch sollen die unter SRI entwickelten Methoden im Bereich Kunststoffverwertung über die Programmgrenzen hinausgetragen werden. Die Zusammenarbeit mit der StEP-Initiative erlaubte es zudem, dieses Dokument von Beginn an einem breiten Netzwerk von Organisationen und Stakeholdern zugänglich zu machen, welche in der Kunststoff- und E-Waste-Thematik aktiv sind. Unter der globalen Komponente von SRI II sollen auch weiterhin solche Partnerschaften gebildet und genutzt werden, um die in den SECO-finanzierten Programmen erarbeiteten Konzepte und Methoden im globalen Kontext zu skalieren.

<sup>1</sup> [www.sustainable-recycling.org](http://www.sustainable-recycling.org) – Sustainable Recycling Industries.

<sup>2</sup> [www.empa.ch/tsl](http://www.empa.ch/tsl) – Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Abteilung Technologie und Gesellschaft.

<sup>3</sup> [www.wrforum.org](http://www.wrforum.org) – World Resources Forum.

<sup>4</sup> [www.step-initiative.org](http://www.step-initiative.org) – Solving the E-waste Problem Initiative, an independent multi-stakeholder platform for designing strategies that address all dimensions of electronics in an increasingly digitized world.

<sup>5</sup> [www.sustainable-recycling.org/reports/processing-of-wEEE-plastics-a-practical-handbook](http://www.sustainable-recycling.org/reports/processing-of-wEEE-plastics-a-practical-handbook) – Link zum PDF.

**Worst Practices:** Verbrennung von Kabelkunststoffen zur Kupferrückgewinnung in Ghana. Prozess zur systematischen Erkennung und Sortierung von Elektroschrott-Kunststoffen.

**Second Life:** Defekte Geräte können oft repariert und auf Occasionsmärkten weiterverkauft werden.

# Delegierter Vollzug der Kantone – eine Erfolgsgeschichte

Roman Eppenberger und Alois Villiger

Die Delegation des Vollzugs der Kantone an Swico und SENS kann als Erfolgsgeschichte gewertet werden. Die enge Zusammenarbeit zwischen den Systemen und den Umweltämtern der Kantone ist für alle nur von Vorteil.

Seit dem 1. Juli 1998 sind die Anforderungen an die Entsorgung von elektrischen und elektronischen Geräten in der Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte (VREG) geregelt. Die für den praktischen Vollzug der Verordnung notwendigen Detailregelungen und insbesondere die technischen Anforderungen an eine umweltgerechte und ressourcenschonende Entsorgung wurden in verschiedenen Arbeitsgruppen mit Vertretern der Entsorgungsbranche, der Verbände und der Behörden erarbeitet und in einer Vollzugshilfe niedergeschrieben.

Die in der Erarbeitung der Vollzugshilfe etablierte Zusammenarbeit zwischen Swico und SENS als verantwortlichen Systembetreibern und den für die Bewilligung zuständigen Fachstellen des Kantons Zürich und Aargau wurde bei der praktischen Umsetzung erfolgreich weitergeführt. Sie wurde sogar weiter ausgebaut; die Kontrolle der Zerlegebetriebe wurde in den Leistungsumfang aufgenommen.

Basierend auf diesen guten Erfahrungen haben die Kantone Zürich und Aargau den beiden Organisationen Swico und SENS die Kontrollen der Betriebe im Bereich Elektro- und Elektronik-Recycling offiziell delegiert. Die Details der delegierten Kontrollaufgaben und der Berichterstattung an die kantonalen Fachstellen wurden in einem Vertrag zwischen Swico, SENS, dem Kanton Zürich und dem Kanton Aargau festgelegt.

Nun schon seit 2007 kontrollieren Swico und SENS sowohl die VREG-relevanten Aspekte als auch die gewässerschutzrechtlichen und lufthygienischen Bereiche. Seit 2011 kümmern sich SENS und Swico aktiver um die Erweiterung der Kantone für einen delegierten Vollzug. In den darauffolgenden Jahren gelang es erfolgreich, den Kreis der delegierenden Kantone um Thurgau, St. Gallen, Appenzell Ausserrhoden, Schaffhausen, Basel-Landschaft und Zug zu erweitern.

Ab 2015 kommt ein neues Thema auf den Tisch: Die CENELEC-Normenreihe SN/EN 50625 ist offiziell verfügbar und wird von Swico und SENS als Basis für die Audits in einem Pilotprojekt getestet.

Aufgrund der erfolgreichen Testphase auditiert Swico ab 2017 nur noch nach SN/EN 50625, und ab 2020 werden auch SENS-Audits nach dieser Normenreihe durchgeführt. Mit der Einführung der CENELEC-Normenreihe SN/EN 50625 mussten aber auch die Protokollvorlagen für die Kontrollaudits und das Auditoren-Manual den neuen Vorschriften angepasst werden. Da in der europäischen Normenreihe auch Vorgaben gemacht werden, die gegen gültiges Schweizer Recht verstossen oder die den Systemen zu wenig weit gehen, erstellte die Technische Kommission (TK) Swico/SENS ein zusätzliches Dokument (CENELEC-CH), in welchem die Differenzen festgelegt werden. Dieses Dokument wurde 2019 neu überarbeitet und umbenannt in «ergänzende Technische Vorschrift» (eTV). Alle erneuerten Dokumente wurden auch den Umweltämtern der Kantone zugestellt, um sie in der neuen Ausrichtung auf einen internationalen Industriestandard auf dem Laufenden zu halten.

Neu wurde auch die Kontrolle der Sammelstellen ins Aufgabengebiet der Delegation aufgenommen. Da Roger Gnos von Swico und Roman Eppenberger von SENS als Verantwortliche für Sammelstellen schon seit Langem an den Jahressitzungen mit den Kantonen teilnehmen, konnte diese Erweiterung schnell und einfach umgesetzt werden.

Ein regelmässiges Traktandum an den Jahressitzungen ist die Thematik der Lithium-Ionen-Akkus. Aufgrund der Gefahr von Bränden und des riskanten Umgangs mit diesen kraftvollen Batterietypen ist es notwendig, mehr Vorsicht im Umgang mit ihnen walten zu lassen und gleichzeitig auch mehr Schulung für alle Betriebe in der gesamten Sammelkette durchzuführen. Zusammenfassend führt die enge Zusammenarbeit zwischen den Systemen und den Umweltämtern der Kantone zu folgenden Vorteilen:

- verminderter Aufwand für kontrollierte Betriebe und kantonale Fachstellen
- systematische Kontrolle und Beurteilung der Betriebe aufgrund klar definierter Kontrollzyklen und -kriterien
- intensiver fachlicher Austausch zwischen Swico und SENS und den kantonalen Fachstellen, inklusive Diskussion von Optimierungsmöglichkeiten

Die rege genutzte Begleitung der Fachstellen der Kantone bei Audits von Recyclingbetrieben belegt, dass sie die kompetente Audittätigkeit der TK-Swico/SENS-Auditoren schätzen und dass diese gelebte, auf Freiwilligkeit basierte Zusammenarbeit ein absolut tragfähiges und modernes Hilfsmittel für die weitere Zukunft ist.



**Flora Conte**  
TK Swico/SENS, Carbotech AG

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



**Anahide Bondolfi**  
TK Swico/SENS, Abeco GmbH

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



**Michael Gasser**  
Swico Konformitätsbewertungsstelle  
SN EN 50625, Empa

Michael Gasser schloss seinen Master in Umweltnaturwissenschaften an der ETH Zürich ab. Er arbeitet seit 2014 als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Technologie und Gesellschaft an der Empa, wo er verschiedene Projekte im Bereich Recycling unterstützt und leitet. Seine Expertise umfasst insbesondere den Aufbau und die Überwachung von Recyclingsystemen in der Schweiz und in Entwicklungs- und Schwellenländern sowie die Verwertung von Kunststoffen. Er ist seit 2017 Teil der TK SENS/Swico. Er erfasst die jährlichen Stoffflüsse und auditiert Swico-Recycler seit 2018.



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

Niklaus Renner studierte Umweltnaturwissenschaften an der ETH Zürich. Seit 2007 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter bei der IPSO ECO AG in Rothenburg (ehemals Roos + Partner AG, Luzern) tätig. Im Rahmen diverser Studien befasst er sich mit der Umweltverträglichkeit des Altmetall- und Altgeräte-recyclings. Für die Stiftungen SENS und SLRS war er unter anderem an einer Erhebung zum Quecksilbergehalt von Fraktionen der Leuchtmittelverarbeitung beteiligt. Daneben widmet er sich dem Monitoring des Umweltschutzes, der Pflege des Legal-Compliance-Tools LCS sowie altlasten- und bodenschutzrechtlicher Gutachtertätigkeit.



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

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



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

Sein Diplom als Umweltnaturwissenschaftler 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 des Büros für Umweltchemie GmbH. Er beschäftigt sich mit den Gesundheitsgefahren und den Auswirkungen der Bautätigkeit und der Abfallverwertung auf die Umwelt.



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

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



**Alois Villiger**  
Pensionär

Nach Studium und Doktorat an der Abteilung für organische Chemie der ETH Zürich arbeitete Alois Villiger während sechs Jahren als analytischer Chemiker an der EMPA St. Gallen. Anschliessend leitete er die frisch gegründete Schweizerische Gesellschaft der Entsorgungsunternehmen für Sonderabfälle (GESO) in Emmenbrücke. Von 1988 bis zu seiner Pensionierung im Jahre 2014 war er in verschiedenen Funktionen in der Abteilung Abfallwirtschaft des Amtes für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) des Kantons Zürich tätig. Zu seinen Aufgabengebieten gehörte die Betreuung der Entsorgungsunternehmen von elektrischen und elektronischen Geräten im Kanton Zürich. Als Behördenvertreter war er auch in verschiedenen Gremien und Arbeitsgruppen tätig, die sich mit der praktischen Umsetzung und der Weiterentwicklung der gesetzlichen Regelungen zur VREG befassten.



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

Rolf Widmer schloss sein Studium als Dipl. El.-Ing. (MSc. ETH EE) sowie sein Nachdiplomstudium NADEL (MAS) an der ETH in Zürich ab. Er forschte 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 Elektroschrottmanagements 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.



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

Roger Gnos ist seit 1991 im Recycling verwurzelt und erlebte und gestaltete die Entwicklung im Elektroaltgeräte-Recycling tatkräftig mit. Fast 20 Jahre war er als Betriebsleiter in einem E-Waste verarbeitenden Betrieb tätig. Seit rund acht Jahren ist er bei Swico Recycling für die Beratung der Sammelstellen und als Gefahrgutbeauftragter tätig. Ihn fasziniert die Technik, aber auch die Menschen, welche hinter dem Recycling stehen.



**Dr. Geri Hug**  
TK Swico/SENS, IPSO ECO AG

Nach seinem Chemiestudium mit anschliessender Dissertation am Organisch-Chemischen Institut der Universität Zürich war Geri Hug wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter bei der IPSO ECO AG in Rothenburg (ehemals Roos+Partner AG, Luzern). Von 1994 bis 2011 war er Partner, ab 1997 auch Geschäftsführer der IPSO ECO 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 Produkteökoanalysen 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. Seit März 2019 steht er der TK SENS/Swico noch für Projektarbeiten zur Verfügung.



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

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

### Internationale Links

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

Das WEEE-Forum (Forum for Waste Electrical and Electronic Equipment) ist der europäische Verband von 40 Systemen zur Sammlung und zum Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten.

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

Solving the E-waste Problem (STEP) ist eine internationale Initiative 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 Mitglied der Initiative.

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

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

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

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

### Nationale Links

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

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

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

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

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

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

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

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

### Kantone mit delegiertem Vollzug

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### Kontakt

Stiftung SENS

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

Swico

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

Stiftung Licht Recycling Schweiz (SLRS)

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

SENS Konformitätsbewertungsstelle

EN SN 50625 Serie

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

Swico Konformitätsbewertungsstelle

SN EN 50625 Serie

c/o Empa  
Heinz Böni  
Abteilung Technologie und Gesellschaft  
Lerchenfeldstrasse 5  
9014 St. Gallen  
Telefon +41 58 765 78 58  
[heinz.boeni@empa.ch](mailto:heinz.boeni@empa.ch)

### Impressum

Herausgeberin

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

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 Online-Publikation sowie als PDF downloadbar.

Konzept, Grafik

SUAN Conceptual Design GmbH  
[www.suan.ch](http://www.suan.ch)

© 2020 SENS, Swico, SLRS

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