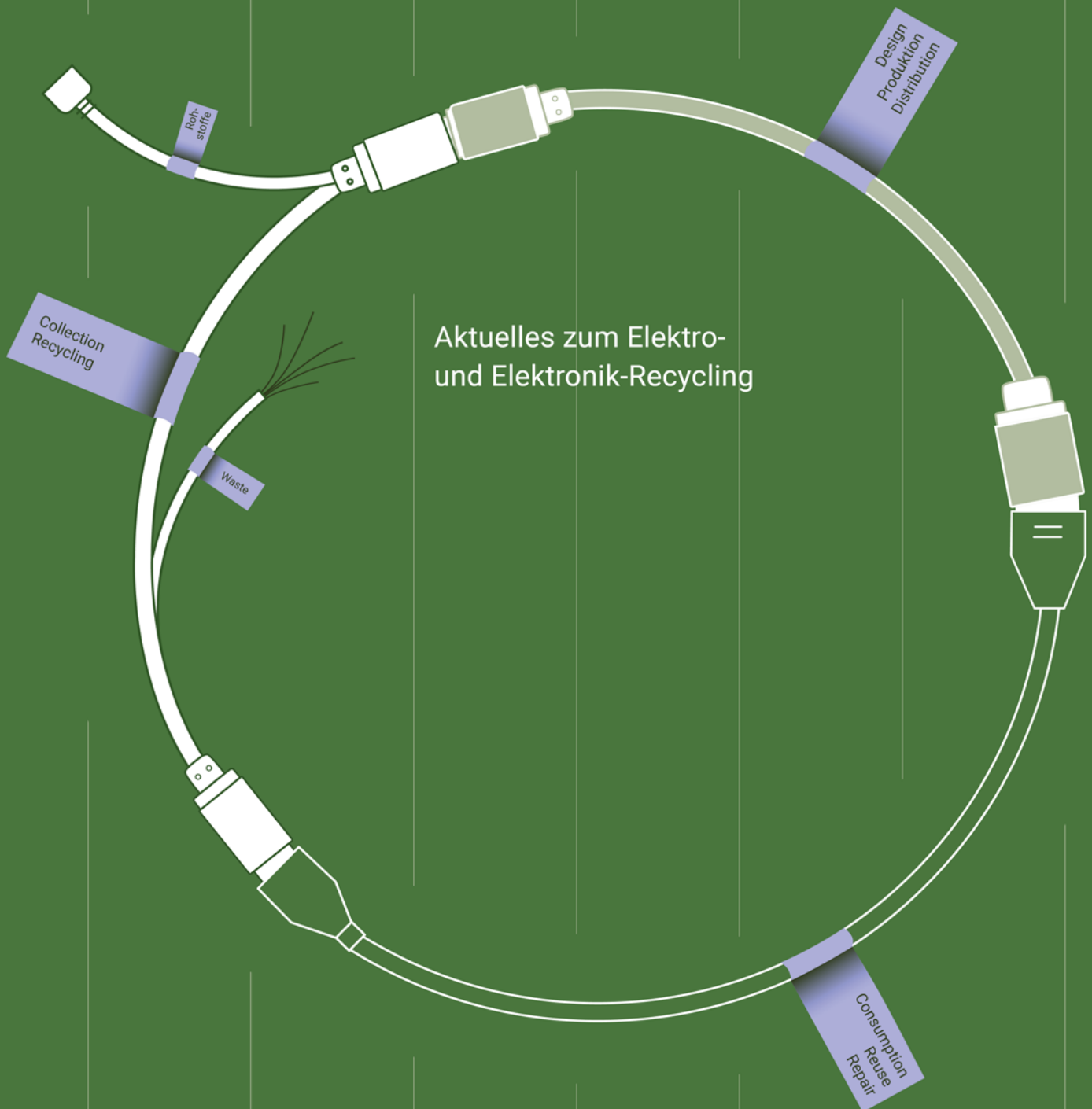


Swico und SENS

FACHBERICHT 2023



Inhalt

1	Vorwort	5	11	Vollzugshilfe	34
	Recycling im Brennpunkt			Kreislaufwirtschaft bei der EAG-Entsorgung – die BAFU-Vollzugshilfe zum Stand der Technik setzt neue Massstäbe	
2	Porträt Recyclingsysteme	6	12	15 Jahre WEEE-Forum	36
	Swico und SENS kompetent und nachhaltig			EPR Grand Challenge – The WEEE Forum celebrates its twentieth anniversary	
3	Technische Kommission Swico/SENS	8	13	e-conseg	40
	Merkblätter und Empfehlungen zu Vorschaltgeräten und Lithium-Batterien			Für eine optimierte kreislauffähige EAG-Behandlung der Zukunft	
4	Mengen 2022	10	14	EVA-Projekt; Elektronikverwertung Altfahrzeug	42
	Verarbeitete Mengen nehmen leicht ab			Kreislaufwirtschaft im Automobilssektor – Resultate aus dem Projekt EVA II	
5	Umweltleistung von Swico durch das Recycling	14	15	Lithium Batterien	44
	Das Recycling von Elektronikgeräten leistet einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz			Lithium-Metall-Batterien in EAG Unterscheidung und Erfahrungen aus der Praxis	
6	Transparente Recyclingquote von Flachbildschirmen	18	16	Kondensatoren in Kleingeräten	48
	Materialrückgewinnung und Recyclingquoten bei Flachbildschirmen			Das Alter der Elektrogeräte im Recycling	
7	Vollmechanische Verarbeitung von Flachbildschirmen	20	17	Pervasive Elektronik	50
	Einführung, Optimierung und Freigabe einer neuen Recyclinganlage			«Pervasive Electronics» – die zunehmende Durchdringung unserer Alltagsgegenstände mit elektronischen Komponenten	
8	Verarbeitung von Kühlgeräten	24		Autorinnen und Autoren	
	Komplexer Behandlungsprozess zur Rückgewinnung klimaschädlicher Gase aus Wärmeüberträgergeräten			Links	
9	Zwei neue Kühlgeräte-Recyclinganlagen	28		Kontakte und Impressum	
	Zwei brandneue Anlagen in der Kühlgeräte-Recyclinglandschaft				
10	Fachkräftemangel in Zerlegebetriebe	32			
	Fachkräfte- und Personalmangel in der Entsorgungs- und Recyclingbranche				

Swico und SENS kompetent und nachhaltig

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, Büro, Unterhaltungselektronik, Telekommunikation, grafische Industrie sowie Mess- und Medizintechnik, beispielsweise Kopierer, Drucker, Fernsehapparate, MP3-Player, Fotokameras, Handys, usw.

Eine enge Zusammenarbeit mit der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa), einer Forschungs- und Dienstleistungsinstitution für Materialwissenschaften und Technologieentwicklung innerhalb des ETH-Bereichs, trägt entscheidend dazu bei, dass Swico hohe und schweizweit einheitliche Qualitätsstandards bei allen Entsorgungsdienstleistungen durchsetzen kann.

SENS eRecycling ist eine unabhängige, neutrale und nicht gewinnorientierte Stiftung und tritt nach aussen mit der Marke SENS eRecycling auf. Als Expertin für die nachhaltige Wiederverwertung von ausgedienten Elektro- und Elektronikgeräten in und um das Haus, Leuchtmitteln und Leuchten, Photovoltaik-Systemen sowie Fahrzeug- und Industriebatterien trägt die Stiftung SENS entscheidend dazu bei, zukunftsweisende Massstäbe im eRecycling zu setzen.

Dazu arbeitet sie 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 SENS eRecycling dafür ein, dass das Recycling dieser Geräte im Einklang mit ökonomischen und ökologischen Grundsätzen stattfindet.

SWICO

SENS eRecycling

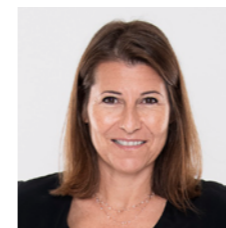
Recycling im Brennpunkt

Der Klimawandel belegt den ersten Platz im Sorgenbarometer der Schweizer Bevölkerung, und damit wächst auch die öffentliche Aufmerksamkeit für den ökologischen Fussabdruck von Produkten und Dienstleistungen. Dieser ist bei der Herstellung von Elektro- und Elektronikgeräten (EAG) hoch, weshalb hier die Schliessung der Stoffkreisläufe von besonderer Bedeutung ist.

Zu Recht – und zu unserer Freude – gerät das Recycling von EAG in den Brennpunkt von Gesellschaft und Politik. Die Branchenorganisationen SENS und Swico haben einen beeindruckenden Leistungsausweis vorzuweisen, der in der Vergangenheit möglicherweise zu wenig Beachtung erhalten hat. Mit dem erhöhten Publikumsinteresse erhalten wir die Chance, unsere Transparenzbemühungen, zu welchen der vorliegende Fachbericht zählt, sowie unsere stetigen Verbesserungen und Innovationen beim Recyclingprozess bekannt zu machen.

In diesem Sinne blicken wir mit Zuversicht auf die bevorstehenden politischen Entwicklungen. Dieses Jahr befasst sich das Parlament nämlich mit der Revision des Umweltschutzgesetzes (USG) mit der Absicht, es um Grundsätze der Kreislaufwirtschaft zu erweitern. SENS und Swico unterstützen dieses Anliegen seit dem ersten Tag und prüfen sinnvolle und zielführende Massnahmen, um die Schliessung der Kreisläufe zu vervollständigen. Aufgrund der erhöhten internationalen Anforderungen an die umweltfreundliche Herstellung von Elektro- und Elektronikgeräten wird die Wiederverwendung von rezykliertem Material abermals an Bedeutung gewinnen.

Mit dem jährlichen Fachbericht erfüllen wir als privatwirtschaftlich geführte Organisationen freiwillig hohe Sorgfalts- und Transparenzpflichten. Wir wünschen allen interessierten Leserinnen und Lesern aus Gesellschaft, Politik und insbesondere der Verwaltung gute Lektüre und spannende Erkenntnisse!



Judith Bellaiche
Swico



Pasqual Zopp
SENS

Swico und SENS kompetent und nachhaltig

Seit über 25 Jahren stellen die zwei Rücknahmesysteme Swico und SENS eRecycling die ressourceneffiziente Rücknahme und Wiederverwertung sowie die fachgerechte Entsorgung von elektrischen und elektronischen Geräten sicher.

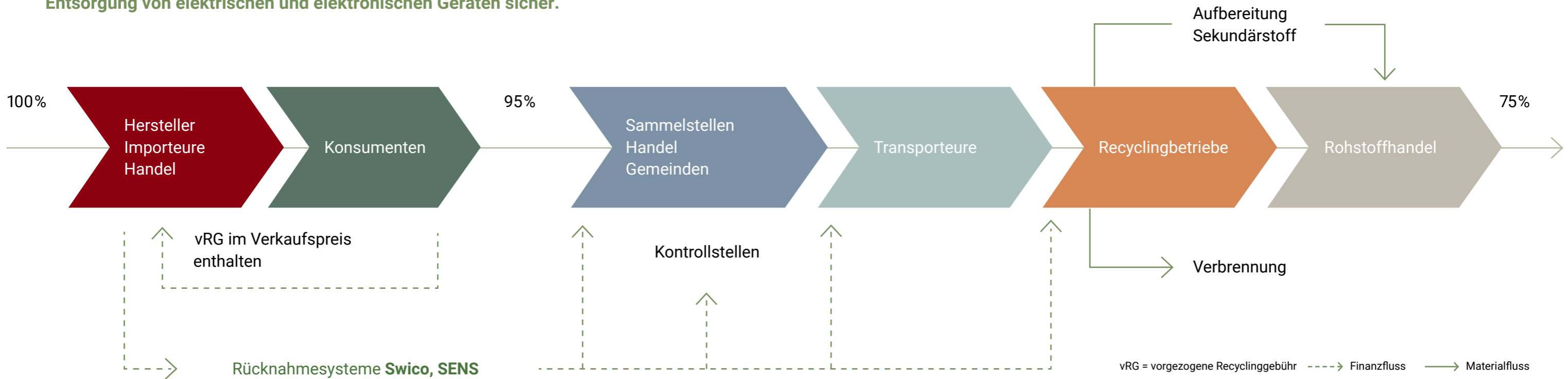


Abbildung 1: Die Rücknahmesysteme im Überblick

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

Im Jahr 2022 wurden von den zwei Systemen rund 121'000 Tonnen ausgediente elektrische und elektronische Geräte entsorgt. Damit haben Swico und SENS auch bedeutend dazu beigetragen, dass wertvolle Ressourcen wieder in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden konnten. Mit der internationalen Vernetzung der zwei Organisationen auf europäischer Ebene – beispielsweise als Mitglied des WEEE-Forums (Forum for Waste Electrical and Electronic Equipment) – helfen sie mit, auch grenzüberschreitend Massstäbe beim Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten zu setzen.

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

Merkblätter und Empfehlungen zu Vorschaltgeräten und Lithium-Batterien

Heinz Böni und Roman Eppenberger

Im vergangenen Jahr wurden Empfehlungen zum Umgang mit Lithiumbatterien bei der Demontage in Zerlegebetrieben erarbeitet. Diese dienen dazu, die Arbeitssicherheit zu verbessern und die Umwelt vor schädlichen Einwirkungen zu schützen. Zusätzlich stand einmal mehr – oder immer noch – die Thematik der polychlorierten Biphenyle PCB in Elektro- und Elektronikgeräten als ein wichtiges Thema im Zentrum der Arbeiten. Dazu wurde von der TK Sens ein separates Merkblatt verfasst.

PCB in Vorschaltgeräten

PCB sind schlecht abbaubare Schadstoffe, welche schon in sehr kleinen Mengen für Mensch und Tier gefährlich sind. Obwohl der Einsatz von PCB seit 1986 verboten ist, werden in Elektroaltgeräten (EAG) weiterhin PCB-haltige Kondensatoren gefunden. Sie befinden sich heute hauptsächlich in Vorschaltgeräten (VG) aus Leuchten. Es ist daher sehr wichtig, diese Kondensatoren zu entfernen, bevor man EAG recycelt.

Nicht fachgerechte entnommene PCB-haltige Kondensatoren aus Vorschaltgeräten sind einer der wahrscheinlichsten Gründe für die immer wieder festgestellten erhöhten PCB-Gehalte in den Feinfraktionen aus der mechanischen Verarbeitung von EAG. Gleichzeitig sind sie schwierig zu erkennen. Deshalb hat SENS eRecycling ein Merkblatt über den Umgang mit PCB-haltigen Kondensatoren erstellt¹. Dieses hilft beim Erkennen und bei der Entfernung von kapazitiven Vorschaltgeräten, welche PCB-verdächtige Kondensatoren enthalten. Dies im Gegensatz zu den elektronischen Vorschaltgeräten, welche keine Kondensatoren aufweisen.

Umgang mit Lithium-Batterien bei der Demontage

Im Zusammenhang mit wiederholt auftauchenden Fragen und Unsicherheiten zum Umgang mit Lithium-Batterien (LiB) bei der Demontage wurden von der TK Swico/SENS Empfehlungen erarbeitet und vor Kurzem veröffentlicht²: LiB-haltige EAG sind schonend zu demontieren. Dabei sind Kurzschlüsse durch Schläge, Druck, Deformation, Perforation etc. zu vermeiden. Für die Entfernung von LiB aus EAG sind spezifische Demontageplätze einzurichten. Diese sind mit geeignetem Werkzeug auszustatten. Bei LiB mit Gefahrenpotenzial, weil sie beschädigt sind oder eine hohe Energiedichte aufweisen, müssen die hervorstehenden Pole abgeklebt oder in Plastikbeutel verpackt werden. Falls eine Lithium-Batterie gebläht ist, ist diese in einen Behälter mit Sand oder Vermiculit zu geben, damit sie isoliert ist. Bei einer Entladung von Pouch-Zellen in Wasser oder Salzlauge müssen Vorkehrungen für den Umgang mit möglicherweise entstehenden Gasen getroffen und das Wasser als Sonderabfall entsorgt werden (LVA Code 16 10 01 (S)). Dabei gilt, falls nicht mittels Analyse belegt werden kann, dass die Einleitbedingungen in die Kanalisation eingehalten sind.

Die Anweisungen geben auch detaillierte Empfehlungen zur Lagerung der entnommenen Batterien.

¹ [«Umgang mit PCB-haltigen Vorschaltgeräten» \(2022\) \(pdf\)](#)

² [«Empfehlungen im Umgang mit Lithiumbatterien bei der Demontage» \(2022\) \(pdf\)](#)

Nachfolgelösung für das Stoffflusserfassungstool
Da mit dem Erlass der neuen VREG Klarheit über die Zukunft der Systeme und die Zuständigkeit für die Auditierung herrscht, wurde das Projekt «Toocy Nachfolge» wieder aufgenommen.

Im vergangenen Jahr wurde ein Anforderungskatalog an die Nachfolgelösung entwickelt. Das Ziel ist es, die Erfassung der Stoffflussdaten so schnell wie möglich mit der Nachfolgelösung durchführen zu können.

Auf Seite der Auditoren gab es im vergangenen Jahr keine Veränderungen. Das Auditteam umfasst derzeit neun Auditoren und Auditorinnen: Andreas Bill, Anahide Bondolfi, Heinz Böni, Manuele Capelli, Stefanie Conrad, Flora Conte, Niklaus Renner, Daniel Savi und Thekla Scherer.



Richtiger Umgang mit der Demontage von Lithium-Batterien. (Bild: Solenthaler Recycling)

Verarbeitete Mengen nehmen leicht ab

Fabian Elsener und Flora Conte

Die verarbeitete Menge an Elektro- und Elektronikgeräten (EAG) ist seit 2020 rückläufig. Der Rückgang ist besonders auf die Miniaturisierung der EAG zurückzuführen. Zudem wurden weniger Kühl-, Gefrier- und Klimageräte verarbeitet. Bei den Elektrogrossgeräten sind die Mengen leicht gestiegen, was durch einen Rückgang der Elektrokleingeräte kompensiert wurde.

Im Jahr 2022 haben die Swico- und SENS-Recyclingbetriebe rund 121'000 Tonnen EAG verarbeitet. Im Vergleich zum Vorjahr bedeutet dies eine Abnahme um 5% (Tabelle 1 und Abbildung 1). Die Menge ist leicht tiefer als der langjährige Durchschnitt von rund 125'000 Tonnen. Die Menge der Elektronikgeräte (-15%) nimmt entsprechend dem langjährigen Trend weiter ab, unter anderem aufgrund des Rückgangs von schweren Röhrenbildschirmen von Computermonitoren und Fernsehern. Auch die Menge an Kühl-, Gefrier- und Klimageräten nahm im Vergleich zum Vorjahr um rund 6% ab. Bei den Elektrogrossgeräten ist eine leichte Zunahme von 2% zu beobachten. Im gleichen Verhältnis nahm die Mengen an Elektrokleingeräten ab.

Auch in diesem Jahr wurde die Menge an verarbeiteter Photovoltaikausrüstung erneut übertroffen. Dies liegt neben dem Ausbau erneuerbarer Energien daran, dass viele PV-Module, welche im Jahr 2021 durch Hagel beschädigt wurden, erst 2022 recycelt wurden. Die Menge von Nicht-VREG-Geräten, welche nicht in den Listen der Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte (VREG) aufgeführt sind, hat im Vergleich zum Vorjahr um 5% abgenommen.

Wertstoffverwertung

Aus den verarbeiteten EAG werden durch manuelle und mechanische Verarbeitung Wert- und Schadstofffraktionen erzeugt (Abbildung 2).

Jahr	Elektrogrossgeräte	Kühl-, Gefrier- und Klimageräte	Elektrokleingeräte	Elektronikgeräte	Leuchtmittel	Photovoltaik	Nicht-VREG-Geräte	Total Tonnen/Jahr
2009	30 400	15 300	14 900	47 300	1 100		1 200	110 200
2010	30 700	15 900	15 400	50 700	1 130		3 500	117 400
2011	27 800	16 800	16 300	51 300	1 110		5 200	118 500
2012	30 300	17 500	18 800	55 500	960		6 000	129 100
2013	30 600	16 700	22 300	53 200	1 100		4 000	127 900
2014	29 400	17 200	23 900	52 000	1 100		3 000	126 600
2015	32 900	18 100	25 000	51 900	1 100	100	3 000	132 100
2016	32 500	19 200	27 900	49 000	1 100	100	1 900	131 800
2017	28 100	19 400	26 700	46 000	970	300	1 300	122 800
2018	34 200	19 900	27 600	41 900	1 100	300	1 000	125 900
2019	35 800	19 900	28 700	41 000	1 000	300	1 000	127 600
2020	37 100	20 100	29 800	40 600	1 000	200	1 000	129 800
2021	35 300	20 200	31 300	36 900	1 000	500	1 900	127 100
2022	36 100	18 900	30 700	31 500	1 000	1 000	1 800	121 000
Veränderung ggb. Vorjahr	2 %	-6 %	-2 %	-15 %	0 %	100 %	-5 %	-5 %

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

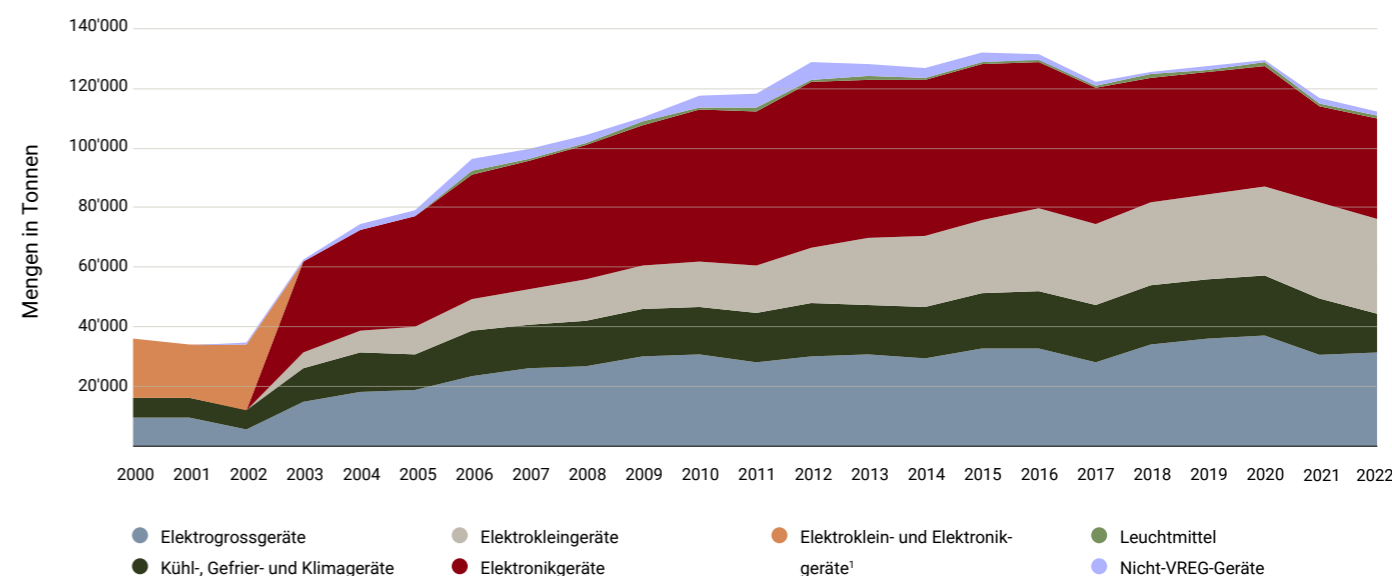


Abbildung 1: Entwicklung der verarbeiteten Gerätemengen in der Schweiz in Tonnen

Die mengenmässig bedeutendste Wertstofffraktion bilden die Metalle mit 59%. Kunststoff-Metall-Gemische (21%) und Kunststoffe¹ (8%) folgen dahinter. Der Anteil an Kabel und Glas macht jeweils rund 2% der gesamten Wertstoffmenge aus. Die besonders wertvollen Leiterplatten entsprechen ca. 1.1% der Gesamtmenge.

Die Fraktionen aus den Recyclingbetrieben werden einer weiteren Verarbeitung zugeführt. Dort werden sie stofflich oder thermisch verwertet. Die Recyclingbetriebe haben für die weitere Verarbeitung Stoffflussnachweise zu erbringen, welche die Folgebehandlung dieser Fraktionen dokumentieren. Einzelne Folgeabnehmer werden von den Auditor*innen der TK SENS Swico in unregelmässigen zeitlichen Abständen auditiert.

Eisenmetalle werden in der Schweiz oder der EU verarbeitet. Kunststoff-Metall-Gemische werden weiter aufgetrennt. Einzelne Misch-Fraktionen gelangen weiterhin direkt in die thermische Verwertung, wobei dieser Anteil dank neuer Verarbeitungsmöglichkeiten ständig abnimmt. Auch Glasfraktionen sowie Kabel, Leiterplatten und Batterien werden speziellen Verwertungsverfahren (oft in der EU) zugeführt.

Schadstoffentfrachtung

Der Anteil an erzeugten Schadstofffraktionen macht rund 1% der Gesamtmenge aus (Abbil-

dung 2). Die Schadstoffentfrachtung gehört neben der Rückführung von Wertstoffen in den Materialkreislauf zur Hauptaufgabe der Recyclingbetriebe. Die Schadstoffe werden entweder in Zerlegebetrieben händisch entfernt oder mit spezialisierten Verfahren mechanisch abgetrennt. So werden zum Beispiel PCB-verdächtige Kondensatoren aus Haushaltgrossgeräten oder Vorschaltgeräten sowie Batterien aus kleinen EAG manuell entfernt.

Die Schadstoffentfrachtung und der Umgang mit den Schadstoffen müssen stetig an die veränderten Technologien und neusten Erkenntnisse 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 zuverlässige Qualitätssicherungssysteme voraus.

Trends in der Zerlegung

Um einen Trend bei der manuellen Zerlegung sichtbar machen zu können, zeigt Abbildung 3 die Menge der Fraktionen Batterien, Kondensatoren und Leiterplatten relativ zur Gesamtmenge über die Jahre. So wird deutlich, dass der Anteil – oft manuell – separierter Leiterplatten tendenziell sinkt. Dies deutet daraufhin, dass Leiterplatten einerseits immer weniger wertvoll sind, und andererseits, dass die Geräte weniger tief zerlegt

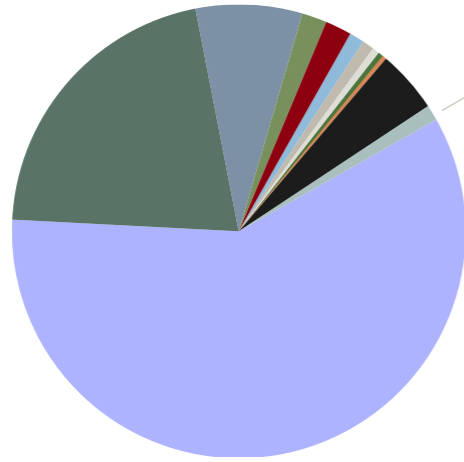
¹ Kunststoffe beinhalten sowohl verwertete als auch nicht verwertete Kunststoffe wie z.B. Schredderleichtfraktionen.



4 Mengen 2022

Wertstoffe

- 59.0% Metalle
- 21.0% Kunststoff-Metall-Gemisch
- 8.0% Kunststoffe
- 2.0% Kabel
- 2.0% Glas
- 1.1% Leiterplatten
- 0.8% schadstoffentfrachtete Geräte
- 0.5% Bildröhren
- 0.0% Tonerkartuschen
- 0.0% Metall aus Photovoltaik
- 4.0% übrige Stoffe
- 1.0% Schadstoffe



Schadstoffe

- 0.726% Batterien
- 0.123% Kondensatoren
- 0.100% Öl
- 0.067% Kälte- und Treibmittelgemische
- 0.040% Leuchtstoff
- 0.030% Asbesthaltige Geräteteile
- 0.008% Quecksilberhaltige Komponenten
- 0.003% Ammoniak (NH₃)
- 0.001% Glasbruch
- 0.021% Andere schadstoffhaltige Rückstände

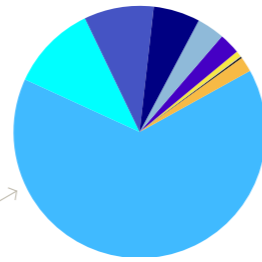


Abbildung 2: Zusammensetzung der erzeugten Fraktionen in % des Gewichts im Jahr 2022. Das Kuchendiagramm rechts entspricht der Aufteilung der Schadstoffe, die rund 1% der gesamten Zusammensetzung ausmachen.

werden, bevor sie mechanisch verarbeitet werden. Zusätzlich ist zu erkennen, dass der Anteil an Batterien ansteigt. Es kann davon ausgegangen werden, dass batteriebetriebene Geräte zunehmen. Beim Anteil der entfernten Kondensatoren ist in den letzten drei Jahren eine leichte Abnahme zu beobachten.

Entwicklung bei den Elektronikgeräten

Swico untersucht in regelmässigen Abständen die Mengen und die Art von Elektronikgeräten im Rücklauf. Dazu führt Swico Warenkorbanalysen und Verarbeitungsversuche von Produktgruppen durch (Tabelle 2). Im Jahr 2022 hat Swico 40'085 Tonnen Elektronikgeräte zurückgenommen, das sind im Vergleich zum Vorjahr 7% weniger. Die zurückgenommenen Massen und Stückzahlen von CRT-Monitoren und -Fernsehern sinken weiter und setzen so den langjährigen Trend fort. Die Masse an zurückgenommenen Flachbildschirm-monitoren und -fernsehern ist im Vergleich zum Vorjahr um rund 10% gesunken, obwohl die Stückzahl nur um 3% sank. Die Stückzahl der Mobiltelefone und Unterhaltungselektronik steigt weiter. Da die Durchschnittsgewichte der Mobiltelefone und Unterhaltungselektronik gesunken sind, resultierte trotzdem ein Rückgang der Masse von fast 10% bzw. 6%. Bei den restlichen Fraktionen wie PC, Laptops, Drucker, Kopiergeräte und

sonstige IT-Geräte nahm die gesammelte Masse ab, was auf einen Rückgang der Stückzahlen zurückzuführen ist.

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

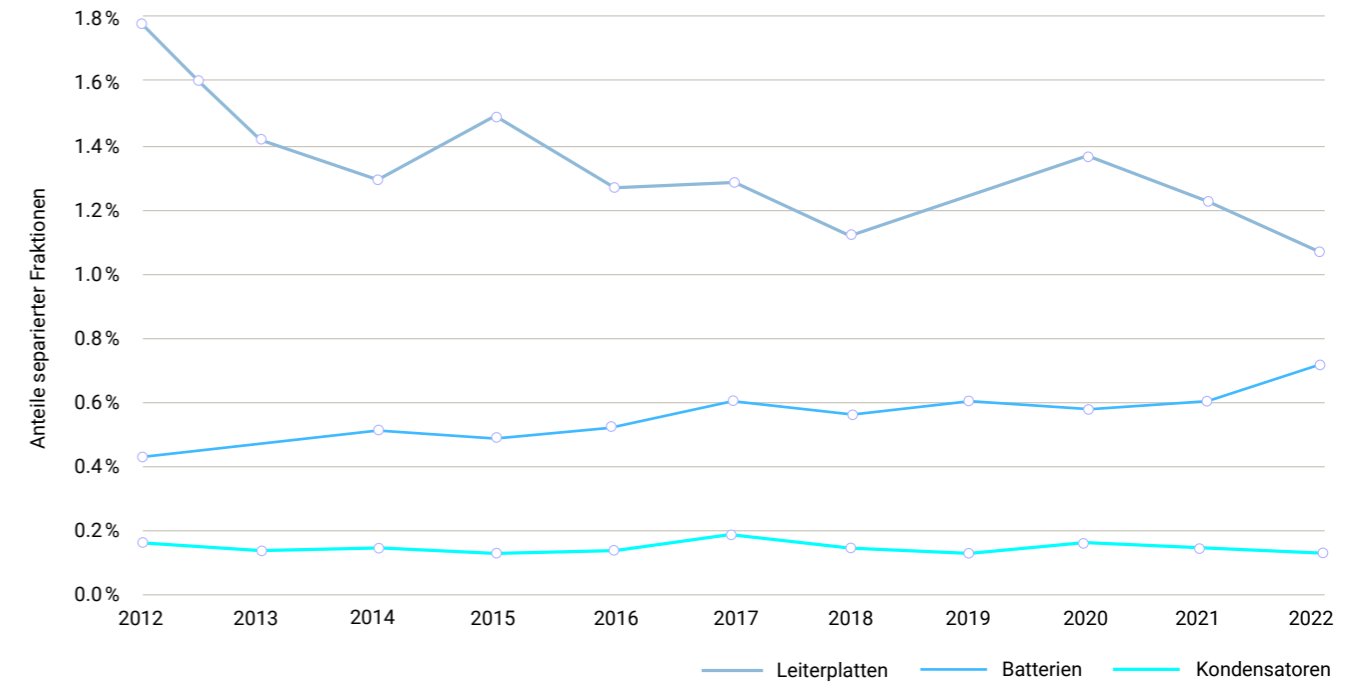


Abbildung 3: Entwicklung der separierten Batterien, Kondensatoren und Leiterplatten relativ zur Gesamtmenge

Gerätetyp	Anzahl ⁴	Durchschnittsgewicht	Metalle	Kunststoffe	Metall-Kunststoff-Gemische	Kabel	Glas und/oder LCD-Module	Leiterplatten	Schadstoffe	Weiteres ⁵	Total	Zu-/Abnahme gegenüber 2021
PC Monitor CRT	9	17,0	22	30	14	4	65	13	0	1	150	-9%
PC Monitor FPD ¹	521	6,5	1 206	1 207	73	42	501	239	35	84	3.387	-12%
PC/Server	325	11,0	2 940	207	10	109		298	11		3.575	-5%
Laptop	443	2,2	286	285	100	5	86	142	67	4	975	-12%
Drucker	422	10,8	1 615	2 452	281	25	31	79	1	74	4.558	-9%
Grosskopierer/Grossgeräte	32	137,3	2 390	164	1 570	79	3	36	38	112	4.392	-8%
IT gemischt ²	867	2,4	1 112	77	767	37	2	16	18	52	2.081	-3%
CRT-Fernseher	38	25,9	97	201	33	3	635	12	1	1	982	-9%
FPD-Fernseher	350	22,9	3 873	1 442	845	110	703	673	89	279	8.015	-6%
UE gemischt ³	3 760	2,6	5 271	359	3 552	179	5	77	85	249	9.776	-6%
Telefon mobil	1 015	0,1	22	47			7	29	27		132	-11%
Telefon Rest	1 100	1,7	1 017	67	673	34	1	15	16	47	1.870	-7%
Foto/Video	218	0,7	73	5	53	3	0	1	1	4	142	-11%
Dental											52	-20%
Total in Tonnen			19 926	6 543	7 969	630	2 039	1 630	389	907	40 085⁶	-7%
Total in Prozent			50 %	16 %	20 %	2 %	5 %	4 %	1 %	2 %	100 %	

¹ FPD: Flachbildschirme, verschiedene Technologien (LCD, Plasma, OLED,...)

² IT-Geräte, gemischt, ohne Monitore, PC/Server, Laptops, Drucker, Grosskopierer/Grossgeräte

³ Unterhaltungselektronik, gemischt, ohne TV-Geräte

⁴ Hochrechnung

⁵ Verpackungs- und andere Abfälle, Tonerkartuschen

⁶ Diese Zahl ist grösser als die 31'500 Tonnen Elektronikgeräte in Tabelle 1, da darin auch Geräte enthalten sind, welche die A-Unterzeichner über Direktverträge entsorgt haben. Zudem ist in Tabelle 1 die verarbeitete Menge zu sehen und hier die gesammelte Menge.

Tabelle 2: Gesammelte Swico Mengen und Zusammensetzung nach Gerätetyp (2022), Quelle: Fabian Elsener, Carbotech, auf der Basis von Verarbeitungs- und Warenkorbanalysen Swico (2022)

Das Recycling von Elektronikgeräten leistet einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz

Heinz Böni

Mit der immer schneller fortschreitenden gesellschaftlichen und technologischen Entwicklung geht ein hoher Rohstoffverbrauch einher. Unsere Infrastruktur und Konsumgüter werden dadurch Lagerstätten von Rohstoffen, welche bei der Herstellung der Produkte durch energieintensive und umweltschädliche Methoden aus der Erde gewonnen werden. Vor diesem Hintergrund wird die Bedeutung der Rückgewinnung von Rohstoffen und das Wiedereinbringen in den Wirtschaftskreislauf zu einer zentralen Aufgabe. «Urban Mining» ist zwingend notwendig, um den Rohstoffverbrauch zu reduzieren. Swico, der Wirtschaftsverband der ICT und Online-Branche in der Schweiz, leistet mit dem Recycling ausgedienter Elektronikgeräte einen wesentlichen Beitrag, um Stoffkreisläufe zu schliessen und die Folgen des Klimawandels zu reduzieren.

Im kommenden Jahr feiert das Recycling ausgedienter Elektronikgeräte im Swico-Recyclingsystem das 30-jährige Jubiläum. Die Schweiz ist mit den Systemen von Swico und SENS ein Pionier in Europa. Sie hat früh – und vor einer gesetzlichen Verpflichtung – begonnen, die Hersteller von Elektro- und Elektronikgeräten in die Pflicht zu nehmen. Diese sollten mit der Rücknahme und dem Recycling der Geräte die erweiterte Produzentenverantwortung wahrnehmen.

Was bei Swico im Jahre 1994 mit wenigen Unternehmen begann, ist heute ein Rücknahmesystem mit 620 Konventionsunterzeichnern, 600 offiziellen Abgabestellen, 6'000 Abgabemöglichkeiten im Handel und aktuell rund 43'000 Jahrestonnen gesammelter Geräte. Für die Verarbeitung der Elektronikgeräte arbeitet Swico in der ganzen Schweiz mit acht Recyclingpartnern zusammen. Diesen angeschlossen sind rund 80 Zerlegebetriebe, welche aus den Geräten potenziell schadstoffhaltige Komponenten entnehmen sowie

wertstoffhaltige Bauteile wie Leiterplatten entfernen. Insgesamt sind im gesamten Rücknahmesystem inkl. Management, Logistik und Auditierung gegen 2'000 Arbeitsplätze¹ angesiedelt. Damit ergibt sich ein filigranes Netz von Partnern, welches die urbane Mine Elektronikgeräte bewirtschaftet. Dabei werden zwei Hauptziele verfolgt: die Rückgewinnung wertvoller Rohstoffe aus den Geräten und die umweltgerechte Entsorgung der schadstoffhaltigen Komponenten. Mit diesen Zielen wird auch ein wesentlicher Beitrag an die Reduktion der CO₂-Emissionen durch die Rückführung verschiedener Metalle und Kunststoffe in den Wirtschaftskreislauf geleistet.

Grosse Mengen zurückgewonnener Metalle und Kunststoffe

Aus den im Jahre 2021 gesammelten 46'000 Jahrestonnen Elektronikgeräte wurden wichtige Rohstoffe zurückgewonnen (siehe Tabelle 1)².

- Mehr als 16'000 t Industriemetalle wie Eisen, Aluminium und Kupfer
- Ca. 4'700 t stofflich verwertbare Kunststoffe
- Ca. 1 t Edelmetalle wie Gold, Silber und Palladium

¹ Grobe Schätzung

² Daten aus Batchversuchen und Jahresstatistiken (vgl. Fachberichte und Jahresberichte Swico)

Betrachtet man einen Zeitraum von zehn Jahren (2012–2021) ergeben sich riesige Mengen zurückgewonnener Metalle und Kunststoffe.

- 196'000 t Eisen (entspricht zehn Eiffeltürmen)
- 15'500 t Aluminium
- 16'600 t Kupfer (entspricht 106 KKL-Dächern)
- 55'000 t verwertbare Kunststoffe
- 1'600 kg Gold (entspricht 410'000 Eheringen)
- 8'300 kg Silber

Abbildung 1 zeigt den Verlauf der zurückgewonnenen Industriemetalle Eisen, Aluminium und Kupfer sowie der wichtigsten Edelmetalle Gold, Silber und Palladium über einen Zeitraum von zehn Jahren.

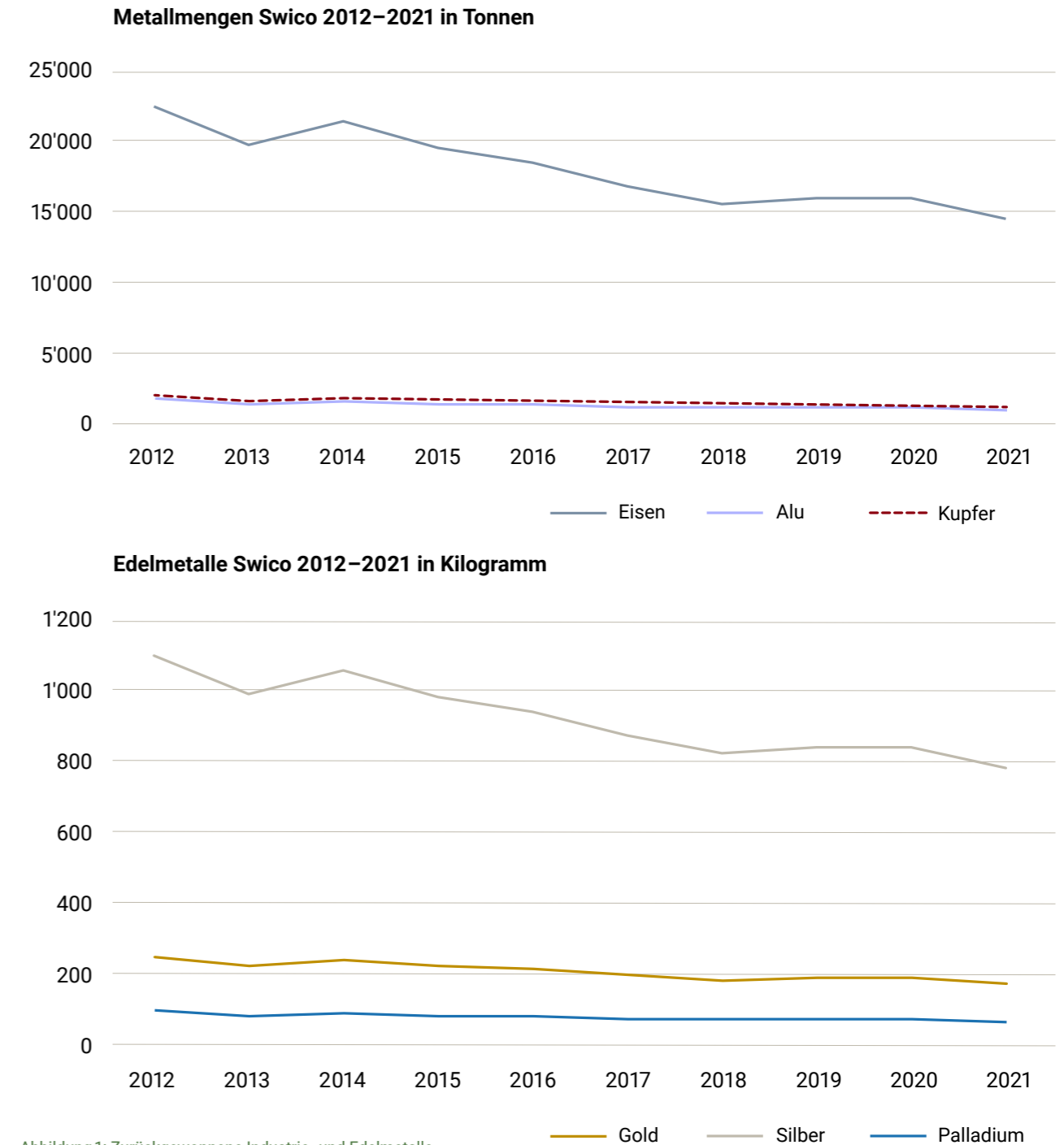


Abbildung 1: Zurückgewonnene Industrie- und Edelmetalle im Swico-System 2012–2021



5 Umweltleistung von Swico durch das Recycling ausgedienter Elektronikgeräte, inkl. Verwertungskurve

Schadstoffe aus dem Kreislauf ausschleusen

Zusätzlich werden schadstoffhaltige Komponenten aus den Geräten entfernt. 2021 waren dies unter anderen (siehe Abbildung 2)³:

- Ca. 263 t Batterien
- Ca. 63 t Kondensatoren mit potenziell umweltgefährdenden Substanzen
- Ca. 8 t quecksilberhaltige Komponenten aus Hintergrundbeleuchtungen
- Ca. 91 t Bleiglas aus alten Röhrenbildschirmen

Über einen Zeitraum von zehn Jahren waren es insgesamt rund 2'800 t Batterien, 750 t Kondensatoren, 6'600 t Bleiglas und 44 t quecksilberhaltige Komponenten.

Recycling als zentraler Beitrag zur Reduktion von CO₂-Emissionen

Der Beitrag des Recyclings an die Reduktion der CO₂-Emissionen ist enorm. Durch die Rückgewinnung der Metalle Eisen, Alu, Kupfer, Gold, Silber und Palladium, welche primäre Rohstoffe ersetzen, wurden 2021 theoretisch⁴ rund 3 Millionen Tonnen CO₂-Emissionen eingespart (siehe Tabelle 1). Dies entspricht ca. einem Fünftel der CO₂-Emissionen der Treibstoffemissionen aus dem Verkehr im selben Jahr⁵. Dabei sind bei dieser Schätzung weitere Metalle sowie die Kunststoffe noch nicht eingerechnet. Zu berücksichtigen sind zusätzlich die positiven Umweltauswirkungen durch die Entnahme und umweltgerechte Entsorgung der schadstoffhaltigen Komponenten.

Ausgeschleuste schadstoffhaltige Komponenten Swico 2012–2021 in Tonnen

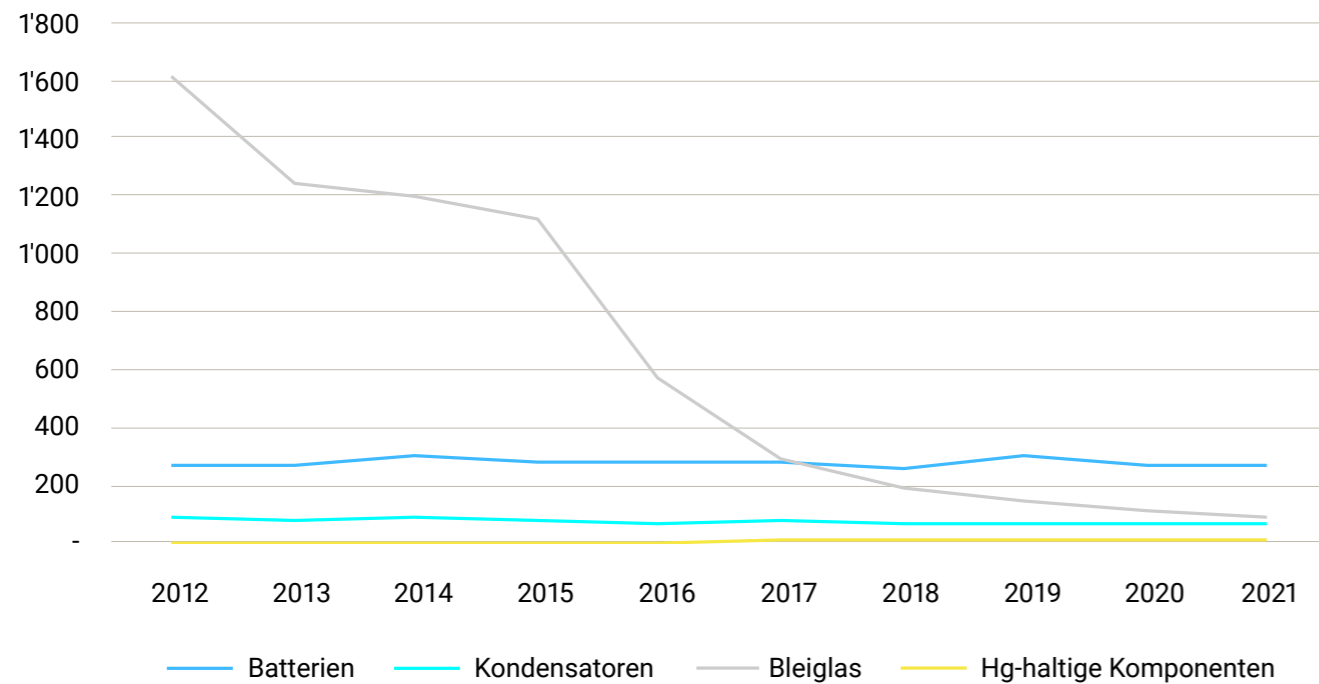


Abbildung 2: Ausgeschleuste schadstoffhaltige Komponenten im Swico-System 2012–2021

³ Der berechnete Anteil der schadstoffhaltigen Komponenten entspricht dem gesamtschweizerischen Durchschnitt (inkl. Geräte SENS).

⁴ Die CO₂-Emissionen durch das Recycling wurden nicht berücksichtigt, da diese um Größenordnungen kleiner sind als diejenigen aus dem Primärabbau der Metalle.

⁵ Quelle: Bundesamt für Umwelt, 2021 wurden 14.81 Mio. t CO₂ durch den Verkehr emittiert.

CO₂-Einsparungen durch Rückgewinnung von Metallen 2012–2021 in (t CO₂-eq) ohne Gold

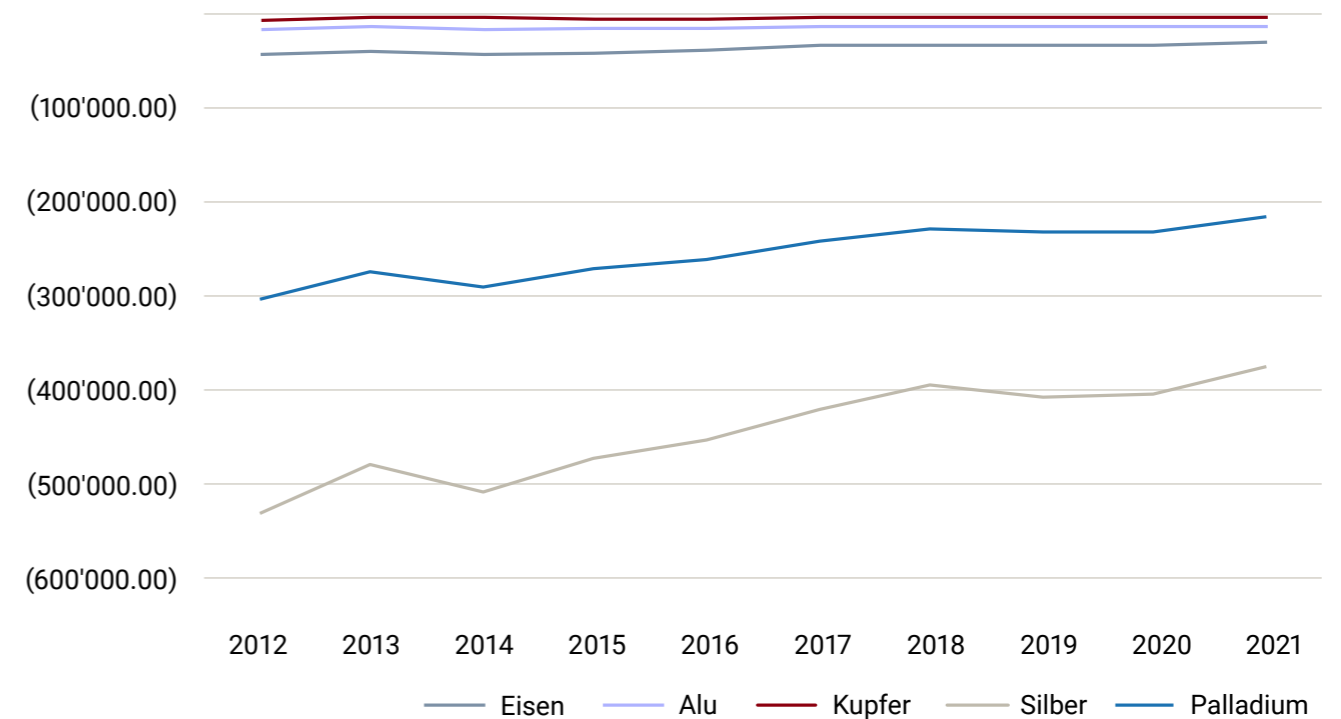


Abbildung 3: CO₂-Einsparungen aufgrund der Rückgewinnung der wichtigsten Sekundärrohstoffe im Swico-System 2012–2021 (ohne Gold; Gold allein macht ca. 80% der CO₂-Einsparungen aus)

2021			
Eisen	[t CO ₂ -eq]	-30'822.78	1.02 %
Alu	[t CO ₂ -eq]	-9'320.94	0.31 %
Kupfer	[t CO ₂ -eq]	-1'882.18	0.06 %
Gold	[t CO ₂ -eq]	-2'405'249.52	79.26 %
Silber	[t CO ₂ -eq]	-373'005.64	12.29 %
Palladium	[t CO ₂ -eq]	-214'337.51	7.06 %
CO₂-Einsparungen		3'034'619.00	

Tabelle 1: CO₂-Einsparungen aufgrund der Rückgewinnung der wichtigsten Sekundärrohstoffe im Swico-System 2012–2021 (inkl. Gold)

Abbildung 3 zeigt den Verlauf der CO₂-Einsparungen im Swico-System über die letzten zehn Jahre.

Rund zwei Drittel der Rohstoffe gehen wieder in den Wirtschaftskreislauf zurück

Im Rücklaufsystem von Swico werden insgesamt rund 66% der enthaltenen Materialien als Sekundärmaterialien wieder in den Wirtschaftskreislauf gebracht. Dies umfasst insbesondere Kupfer, Aluminium und Eisen, aber auch Edelmetalle wie

Gold sowie weitere fein verteilte Metalle. Von den restlichen 34% (vor allem Kunststoffe) werden 80% energetisch genutzt. Über die gesamte Menge müssen knapp 7% endgültig beseitigt werden.

Materialrückgewinnung und Recyclingquoten bei Flachbildschirmen

Manuele Capelli und Heinz Böni

In der Schweiz werden Bildschirmgeräte seit bald 30 Jahren fachgerecht gesammelt und rezykliert. Dabei können wertvolle Rohstoffe zurückgewonnen und schadstoffhaltige Komponenten entsorgt werden. Zur Bestimmung der Qualität der Behandlung von Elektronikgeräten werden als Teil der Swico-Branchenlösung bei Recyclingunternehmen Batchversuche durchgeführt. Diese Versuche geben Rückschlüsse über das Recyclingpotenzial solcher Geräte.

Seitdem Röhrenbildschirme von Flachbildschirmen (Flat Panel Display, FPD) verdrängt wurden, hat eine fortlaufende Entwicklung der Flachbildschirmtechnologie stattgefunden. FPD der ersten Generationen enthalten als Hintergrundbeleuchtung CCFL-Röhren. CCFL steht für Cold Cathode Fluorescent Lamp. Es sind dünne, längliche Glasröhren, welche ein weisses Licht ausstrahlen und im hinteren Bereich des Bildschirms verbaut sind. Diese Geräte wurden von FPD mit LED als Hintergrundbeleuchtung abgelöst, welche zur Beleuchtung LEDs – light emitting diodes – verwenden. Die neueste Technologie stellen OLED Geräte dar, welche mit organischen LEDs ausgestattet sind.

Schadstoffentnahme

Was für den Nutzer eines PC Monitors oder eines Fernsehgerätes keine Rolle spielt, ist bei deren Behandlung äusserst wichtig. CCFL FPDs enthalten in den Glasröhren den äusserst giftigen Schadstoff Quecksilber. Wie im Fachbericht 2020 beschrieben, wird die Menge Quecksilber in solchen Fernsehgeräten auf 64 bis 200 mg geschätzt. Damit das Quecksilber nicht freigesetzt oder auf restliche Bestandteile verteilt wird, müssen die Glasröhren entweder manuell ausgebaut oder in einer teil- oder vollmechanischen Anlage behandelt werden. So kann das Quecksilber in einem geschlossenen Prozess kontrolliert von den restlichen Materialien abgetrennt werden. Die manuelle Entnahme geschieht in der Schweiz in eigens dafür eingerichteten Zerlegebetrieben für EAG. In LED- sowie OLED-Flachbildschirmen

ist kein Quecksilber enthalten. Die Schadstoffentnahme und die dadurch erreichte umweltschonende Behandlung stellen einen signifikanten Anteil der Recyclingkosten dar. Durch die Erhebung des vorgezogenen Recyclingbeitrages kann die Finanzierung einer korrekten Behandlung sichergestellt werden.

Mechanische Behandlung

Die vom Quecksilber befreiten FPD-Bildschirme sowie quecksilberfreie LED- und OLED-Bildschirme können in einer spezialisierten unter Unterdruck betriebenen Recyclinganlage mechanisch behandelt werden: Sie werden geschreddert und es entstehen nach einer mechanisch-optischen Trennung verschiedene Wertstofffraktionen. Diese werden in Rückgewinnungsanlagen transportiert. Zum Beispiel wird eine Fraktion, welches praktisch reines Eisen enthält, in ein Stahlwerk verfrachtet, um sekundäres Eisen zu gewinnen.

Stoffflüsse und Bestandteile

Wie Abbildung 2 zeigt, bestehen Bildschirme aus einer Reihe von Bestandteilen wie Eisen, Kupfer, Aluminium, Leiterplatten, auf denen Gold und Silber enthalten sind, sowie verschiedene hochwertige Kunststoffe wie einer Plexiglasplatte. All diese Materialien werden im Swico-System zurückgewonnen. Schadstoffbelastete Kunststoffe sowie die Flüssigkristallanzeige sind technisch nicht rezyklierbar und werden in einer KVA verbrannt. Schadstoffhaltige Bestandteile wie Kondensatoren und CCFL-Röhren werden umweltgerecht vernichtet. Insgesamt werden bei

Bildschirmen 60 bis 80% der Masse in den Kreislauf zurückgeführt. Bei den Metallen Eisen, Aluminium und Kupfer liegt die Rückgewinnungsquote bei über 90%. Bei Kunststoffen können aufgrund

der Verwendung von flammhemmenden Zusatzstoffen ca 40 bis 60% stofflich verwertet werden.

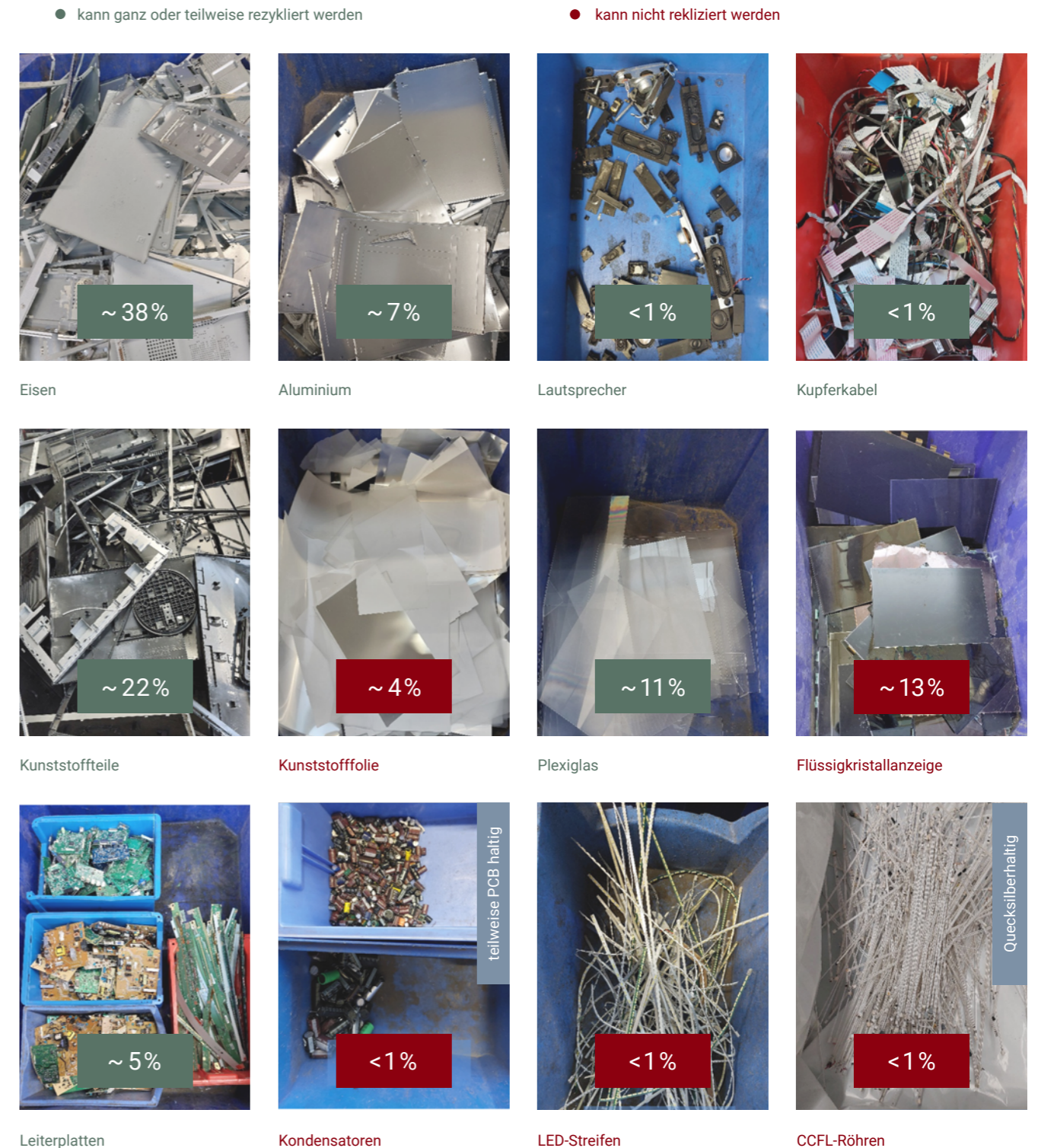


Abbildung 2: Zusammensetzung in Massenprozenten von Flachbildschirmen, Mittelwerte aus 73 LED-Geräten und 177 FPD mit CCFL-Geräten, Quelle: Batchversuch 2022 Altola AG

Einführung, Optimierung und Freigabe einer neuen Recyclinganlage

Andreas Bill, Heinz Böni und David Wampfler

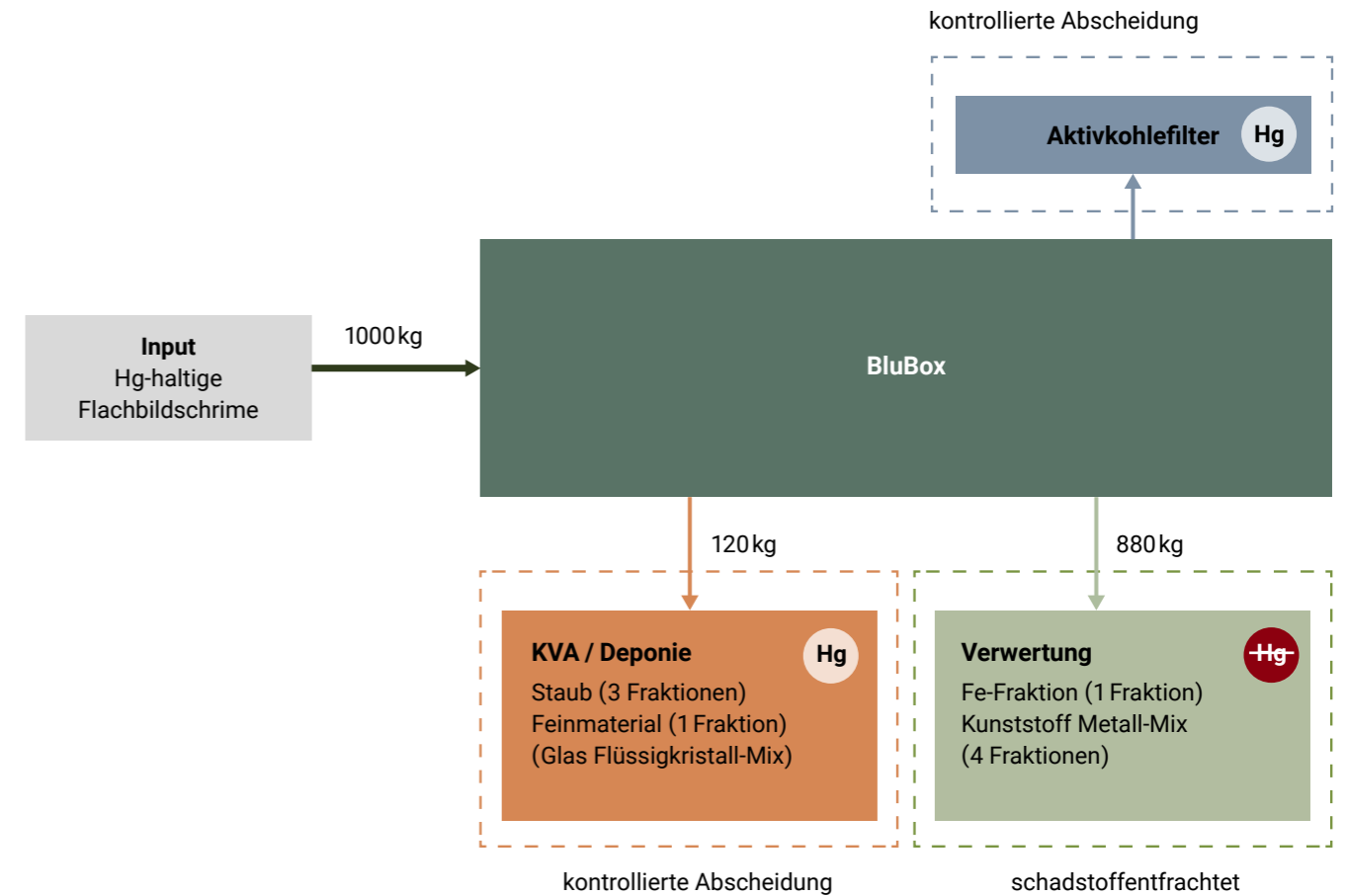
Quecksilberhaltige Hintergrundbeleuchtungen stellen eine grosse Herausforderung bei der Weiterverarbeitung von Flachbildschirmgeräten dar. In der Regel ist das Quecksilber in filigranen Glasröhrchen enthalten. Diese werden schweizweit in den Zerlegebetrieben mit grossem Aufwand händisch entnommen und als separate Fraktion einer fachgerechten Entsorgung zugeführt. Auf der Suche nach einem effizienteren Verfahren nahm Roger Blesi, Direktor von Thévenaz-Leduc SA, einer Tochterfirma der Groupe BAREC, im Jahr 2020 eine BluBox-Anlage der dritten Generation in Betrieb. Diese ermöglicht eine vollmechanische Verarbeitung.



Abbildung SEQ Abbildung * ARABIC 1: Die BluBoxAnlage von THL in Moudon VD

Das EAG Recycling in der Schweiz erfolgt gemäss dem Standard SN EN 50625. Dieser schreibt vor, dass bei der Schadstoffentfrachtung keine schadstoffhaltigen Bauteile beschädigt oder zerstört werden dürfen. Es sei denn, die freigesetzten Schadstoffe können während der Behandlung in einem unterscheidbaren Strom abgeschieden werden. Bei der vollmechanischen Verarbeitung von Flachbildschirmen entstehen gas- und staubförmige Quecksilberemissionen. Diese sind sehr

mobil und können sowohl in die Umwelt als auch in die Wertstofffraktionen gelangen. Um dies zu verhindern, werden die Bildschirme in der neuen Anlage unter Unterdruck geschreddert und der Luftstrom über Aktivkohle- und HEPA-Filter gereinigt. Gemäss Angaben des Herstellers können dadurch alle Normvorgaben eingehalten werden.



Unabhängige Konformitätsbewertung

Die Freigabe einer neuen Anlage im Swico-SENS-Recyclingsystem erfolgt nicht nur aufgrund der Angaben des Herstellers, sondern bedarf einer Prüfung durch die zuständige Konformitätsbewertungsstelle. Im September 2020 fand das Erstaudit mit Batchversuch statt. Beim Audit wurden die betrieblichen Vorgaben geprüft, wobei unter anderem auch die SUVA miteinbezogen wurde. Der Batchversuch wurde als Stresstest gefahren. Als Eingangsmaterial wurden ausschliesslich quecksilberhaltige Bildschirme (keine Plasma- oder LED-Bildschirme) mit einem Anteil von 75 Gewichtsprozent TV-Geräten verwendet. Dadurch wurde eine Extremsituation simuliert, um sicherzustellen, dass die Anlage auch mit einem überdurchschnittlichen Schadstoffinput umgehen kann. Während der Verarbeitung wurden Proben aller Ausgangsfraktionen genommen und im Anschluss zur Analyse ins Labor geschickt. Für die Beurteilung einer konformen Schadstoffabschleusung kamen zwei Kriterien zur Anwendung:

1. Schadstoff-Grenzwert von 0.5mg Quecksilber pro kg in der schadstoffentfrachteten, feinsten, geschredderten Mischfraktion. Diese muss gemäss Standard als Referenzfraktion zur Über-

prüfung einer genügenden Schadstoffentfrachtung beprobt werden.

2. Konsequentes Abscheiden von Quecksilber in den dafür vorgesehenen Zielfraktionen bestehend aus Aktivkohlefilter, Stäuben und Feinfraktion (siehe Abbildung 2).

Resultate

Kriterium 1: Die Resultate der Laboranalysen zeigten Überschreitungen des Hg-Grenzwertes von 0.5mg/kg in der feinsten sowie zwei weiteren schadstoffentfrachteten Mischfraktionen.

Kriterium 2: Die Effizienz des Aktivkohlefilters wird durch Messungen der Abluft kontinuierlich überprüft und sichergestellt. Eine Bilanzierung der Abscheidungsleistung ist jedoch nicht möglich. Um eine konsequente Schadstoffabscheidung zu gewährleisten, muss das Quecksilber, welches nicht im Aktivkohlefilter aufgefangen wird, in den dafür vorgesehenen Feinfraktionen aufkonzentriert werden. Ein unkontrolliertes Verteilen auf die verwertbaren Fraktionen ist nicht zulässig. Die Überprüfung der konsequenten Schadstoffabscheidung erfolgt anhand eines

7 Vollmechanische Verarbeitung von Flachbildschirmen

Vergleichs des messbaren Quecksilberaustrags in schadstoffentfrachteten und schadstoffhaltigen Fraktionen (ohne Aktivkohlefilter). Die Laboranalysen zeigten, dass nur 33% des Quecksilbers, welches nicht über den Aktivkohlefilter abgeschieden wird, in den dafür vorgesehenen Feinfraktionen aufkonzentriert wird, während 67% in den verwertbaren Fraktionen verbleibt.

Recycling- und Verwertungsquoten: Neben der Schadstoffentfrachtungsleistung sollten im Batchversuch auch die Recycling- und Verwertungsquoten berechnet werden, um festzustellen, ob der vollmechanische Prozess die entsprechenden Richtwerte erreicht. Beim Batchversuch wurde eine Recyclingquote von 66.7% und eine Verwertungsquote von 84% erreicht. Diese Werte liegen über den im Schweizer System angewandten Richtwerten für Flachbildschirme (65% respektive 75%).

Die Resultate des Batchversuchs zeigten, dass der vollmechanische Prozess gute Recycling- und Verwertungsquoten aufweist, jedoch insbesondere der quecksilberhaltige Staub ungenügend in den dafür vorgesehenen Fraktionen aufkonzentriert wird. Weil ein relevanter Quecksilberaustausch auf die Wertstofffraktionen stattfindet, konnte die Anlage zu diesem Zeitpunkt nicht als konform beurteilt werden.

Optimierungsarbeiten

Unter der Leitung von David Wampfler machte sich Thévenaz-Leduc (THL) ab März 2021 daran, die Anlage zu optimieren und weiterzuentwickeln. Drei Monate später war man für die Wiederholung des Batchversuchs bereit. Der Luftfluss bei Materialein- und -ausgängen war optimiert worden. Elektrostatische Ladungen konnten neutralisiert und dadurch Staubanhaftungen von den Kunststoffen gelöst werden. Zusätzlich wurden Massnahmen zur verbesserten Kontrolle der Luftfeuchtigkeit sowie weitere Anpassungen beim Betrieb der Anlage vorgenommen.

Im Juli 2021 wurde ein erneuter Stresstest mit der optimierten Anlage durchgeführt. Die Resultate konnten sich sehen lassen: Der Hg-Grenzwert wurde problemlos in allen schadstoffentfrachteten Fraktionen erreicht (0.15 bis 0.33 mg/kg) und die Abscheidungsleistung konnte entscheidend gesteigert werden. Nach der Hauptentfrachtung

via Aktivkohlefilter konnte neu zusätzlich 80% des Restquecksilbers abgeschieden werden, während dieser Wert zuvor noch bei 33% lag.

Freigabe und kontinuierliche Überwachung

Basierend auf den Resultaten des zweiten Batchversuches wurde die Anlage im August 2021 durch die Konformitätsbewertungsstelle von Swico zum regulären Betrieb freigegeben. Vorgabe war, dass die Anlage in den jährlichen Auditprozess aufgenommen wird und regelmässig Batchversuche durchgeführt werden. Seither findet in Moudon ein gemeinsames Swico-SENS-Audit statt, da auf der Anlage neben Flachbildschirmen auch Hg- und LED-haltige Leuchtmitter verarbeitet werden. Beim Audit werden vom Anlagenbetreiber auch die neusten Erkenntnisse aus dem Tagesbetrieb mitgeteilt und gemeinsam mit den Auditoren besprochen.

Eigene Versuche von THL hatten gezeigt, dass durch die parallele Verarbeitung von Leuchtmittern im räumlich getrennten Mischer der Anlage während dem Schreddern der Bildschirme eine Verbesserung der Entfrachtungsleistung bei den Leuchtmittern erzielt werden kann. Beim Audit 2022 wurde vereinbart, dass dies durch einen gemeinsamen Swico-SENS-Batchversuch ganzheitlich untersucht werden sollte. Der Batchversuch wurde im März 2023 wie bisher als Stresstest durchgeführt. Als Ergänzung wurden während des Schredderns der Bildschirme zwei Tonnen stabförmige Leuchtmitter im Mischer behandelt. Die Recyclingquote bei den Flachbildschirmen lag bei 68%, die Verwertungsquote bei 82%. Auch der Quecksilbergrenzwert bei den Wertstofffraktionen wird weiterhin eingehalten, die Werte waren jedoch leicht höher als 2021. Für eine mögliche Freigabe zur parallelen Verarbeitung muss ausgeschlossen werden können, dass eine Querkontamination in die Wertstofffraktionen der Flachbildschirmverarbeitung stattfindet. Mit den bis anhin verfügbaren Daten kann dies noch nicht abschliessend beurteilt werden. Aktuell finden daher weitere Abklärungen in enger Zusammenarbeit mit der Konformitätsbewertungsstelle statt.



Endfraktionen und Vormaterial zur weiteren Verarbeitung auf der optischen Sortieranlage

Fazit

Mit dem Ziel einer vollmechanischen Verarbeitung von quecksilberhaltigen Flachbildschirmen hat sich die Firma THL einer grossen Herausforderung gestellt. Der Weg bis zur Freigabe der neuen Anlage durch die Konformitätsbewertungsstelle von Swico war lang und steinig. Denn die Anlage genügte in dem Zustand, in dem sie vom Hersteller gekauft wurde, den Anforderungen des Standards SN EN 50625 nicht. Durch ein hohes Engagement und zahlreiche Optimierungen konnte die Schadstoffabscheidung entscheidend gesteigert werden und die eigens adaptierte BluBox Mitte 2021 den Betrieb aufnehmen. Dies ist ein Erfolg – sowohl für THL als auch für das Swico-SENS-Recyclingsystem. Durch dessen Kontrollmechanismen konnte die Qualität in der Verarbeitung sichergestellt werden, ohne die Innovation im Recycling zurückzubinden.

Komplexer Behandlungsprozess zur Rückgewinnung klimaschädlicher Gase aus Wärmeüberträgergeräten

Niklaus Renner und Thekla Scherer

2022 wurde in der Schweiz über eine Dreitmillion mit Polyurethan (PU) geschäumte Wärmeüberträger in einer der drei grossen Recyclinganlagen umweltverträglich verarbeitet. Zusätzlich wurden rund 50'000 sogenannte «Stufe 1»-Geräte wie ungeämmte Entfeuchtungsgeräte oder Wärmepumpentumbler behandelt.

Entwicklung der Gerätetypen im Recycling

Insgesamt nahm 2022 die Anzahl verarbeiteter Polyurethan-geschäumter Geräte um 8% auf 342'000 ab, während sie bei den «Stufe 1»-Geräten wie Wäschetrockner, Geschirrspüler, Entfeuchter oder Klimageräte mit 53'000 in etwa konstant zum Vorjahr blieb. Gesamthaft wurden 18'800 Tonnen Wärmeüberträger umweltgerecht verarbeitet.

High-Tech-Verarbeitungsprozess auf zwei Stufen

In der ersten Stufe werden das im Kompressor und Kältekreislauf von Wärmeüberträgergeräten befindliche Öl sowie das gasförmige Kältemittel mit einem Zangen- oder Bohrkopfsystem abgesaugt. Kondensatoren und – nur noch selten anzutreffen – Quecksilberschalter werden händisch entfernt. Ein Anlagenmodul der ersten Stufe besteht im Wesentlichen aus Vakuumpumpen und Kältemaschinen, einer Öl-Entgasungseinheit sowie dem Druckgasleitungssystem zur Überführung des Kältemittelgemisches in Druckgastanks.

Ungeschäumte «Stufe 1»-Geräte werden nach der Kältemittelextraktion in Anlagen mit konventioneller Zerkleinerungstechnik (Hammermühle, Rotorschere, etc.) weiter aufbereitet.

Nach dem Absaugvorgang werden die geschäumten Gehäuse der zweiten Verarbeitungsstufe der Kühlgeräte-Recyclinganlage zugeführt: Diese beginnt mit der mechanischen Zerkleinerung, wobei der Materialstrom über gasdichte Schredder geführt wird. Modernste Trenntechnik (Sichter, Magnete,

Wirbelstromabscheider etc.) ermöglicht die Auftrennung in sehr sortenreine Eisen-, Nicht-eisenmetall- und Kunststofffraktionen sowie PU-Schaum.

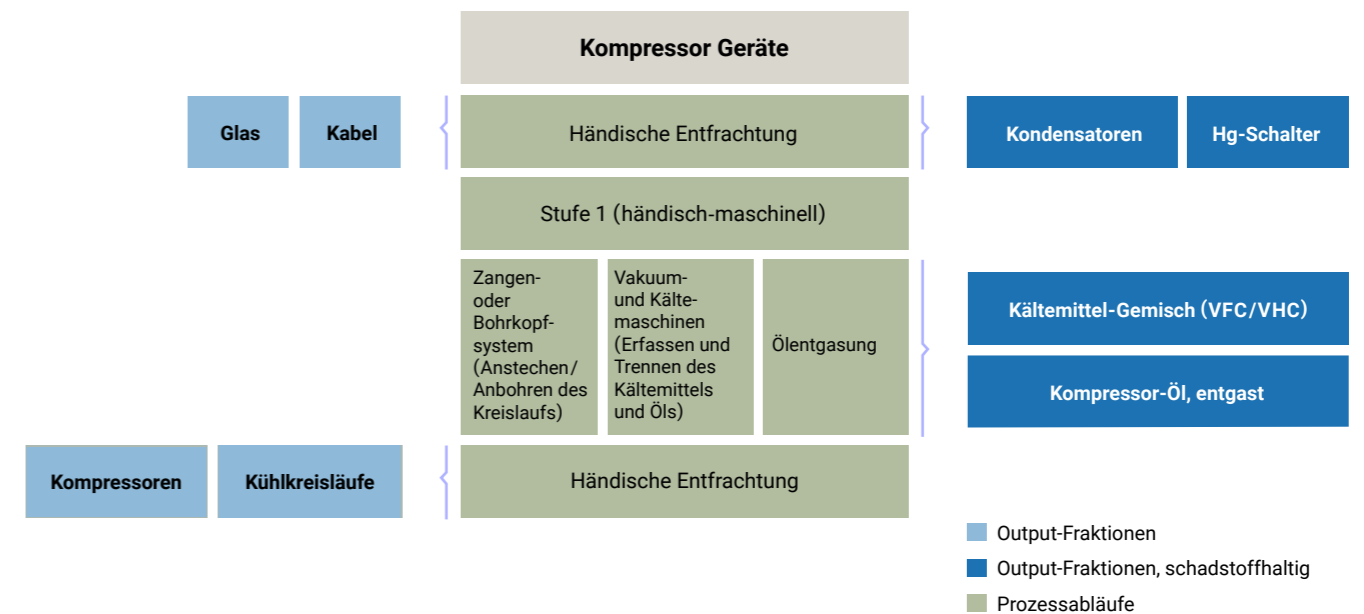
Bei PU-isolierten Geräten steht neben der Metall- und Kunststoffrückgewinnung vor allem die kontrollierte Rückgewinnung der Treibmittel aus dem Schaum im Fokus. Hierfür ist nach der beschriebenen Separierung des PU-Schaums von den übrigen Schredderfraktionen eine prozesstechnisch höchst anspruchsvolle PU-Aufbereitung mit Poren- und Matrixentgasung sowie Prozessluftbehandlung mit Treibmittelfassung und -kondensation notwendig. Dafür wird der PU-Schaum während der gesamten mechanischen Zerkleinerung porenentgast. Dabei werden die in den Schaumzellen befindlichen Treibmittel aufgefangen. Danach erfolgt durch Temperatureinwirkung die Matrixentgasung, bei welcher auch die in der Polyurethanstruktur gefangenen Treibmittelmoleküle freigesetzt werden. Das abgesaugte Gasgemisch wird auf Aktivkohlefiltern adsorbiert, mit Hilfe von Wasserdampf regeneriert und via Kältemaschine kondensiert. Das verflüssigte Treibmittelgemisch wird in Druckgastanks gepumpt, um – analog zu den Kältemitteln – in einer Hochtemperaturverbrennungsanlage entsorgt zu werden. Sämtliche mechanischen Verarbeitungsschritte finden in einer Inertatmosphäre statt. Der dafür notwendige Stickstoff wird meistens vor Ort durch Luftzerlegung erzeugt (Sauerstoffanreicherung).

Alternativ zu den beschriebenen Aktivkohlefiltern gibt es sogenannte Kryogen-Systeme, wo unter Auslassung einer Aktivkohlefilterstufe Flüssigstickstoff als Kälteüberträger für die Kryokondensation dient. Nach diesem Prinzip funktionierte die Anlage der Kühlteg AG.

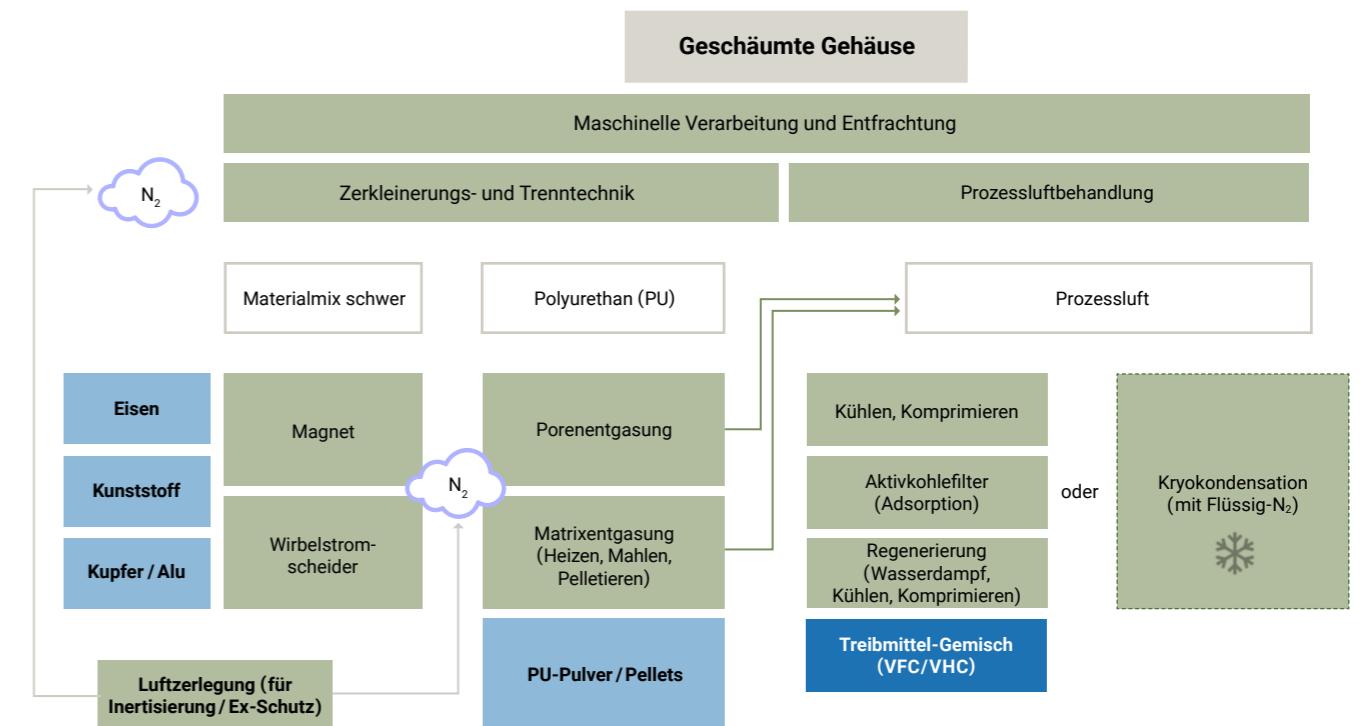
Die schematische Darstellung (Abbildung 1) zeigt die wichtigsten Prozessschritte in der Übersicht.

Abbildung 1: Wärmeüberträgerverarbeitung: Prozessschemen Stufe 1 und Stufe 2.

Stufe 1 – Kältemittel-Absaugung aus den Kompressoren



Stufe 2 – Rückgewinnung der Treibmittel aus dem PU-Schaum



8 Verarbeitung von Kühlgeräten

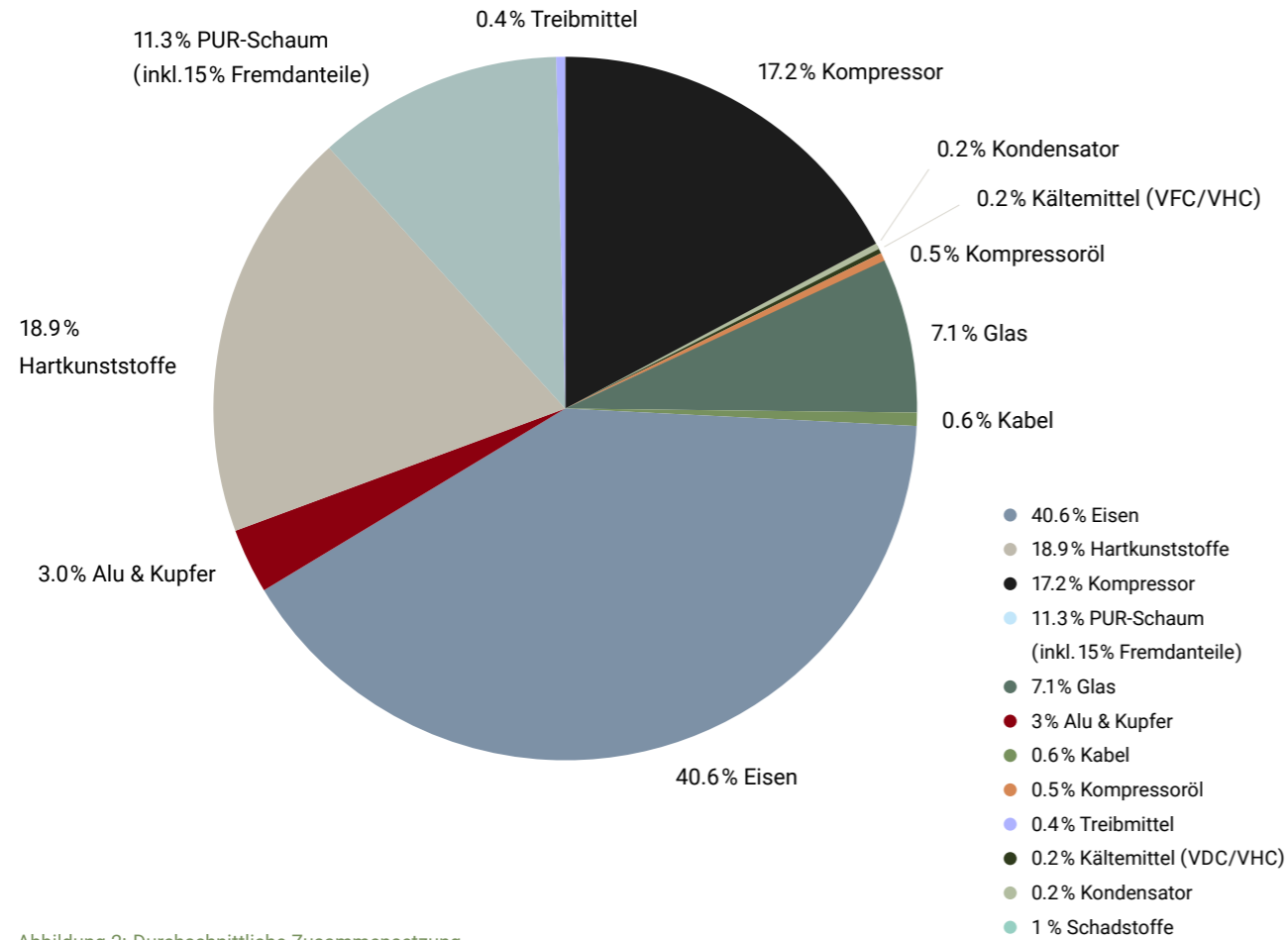


Abbildung 2: Durchschnittliche Zusammensetzung eines Haushaltskühlgeräts

Zusammensetzung eines entsorgten Kühlgeräts
Abbildung 2 zeigt einen Überblick über die durchschnittliche Zusammensetzung eines entsorgten Kühlgeräts, berechnet aus Daten der vergangenen drei Jahre diverser Leistungstests auf Recyclinganlagen.

Anteile VFC¹-/VHC²-Geräte

Nachdem sich 2013 die Anteile der zwei Kältemitteltypen noch exakt die Waage hielten, machen 2022 bei den auf Stufe 1 behandelten Altgeräten jene, deren Kompressoren mit den klimafreundlicheren Kohlenwasserstoffen (VHC) betrieben wurden, 72 % aus. Auf Stufe 2 beträgt der aktuelle Geräteanteil, dessen PU-Isolation mit VHC geschäumt wurde, bereits 80 %. Beide Aufwärts-

trends setzen sich beständig fort. Geräte mit ammoniakhaltigem Absorbersystem sind auf sehr tiefem Niveau weiter rückläufig (aktuell unter 2%).

Zurückgewonnene Gasmengen

2022 wurden bei den Wärmeüberträgern, die auf beiden Prozessstufen verarbeitet wurden, folgenden Rückgewinnungsmengen erzielt.

- Kältemittel: 53 Gramm pro Gerät (-13%)
- Kompressoröl: 118 Gramm pro Gerät (-5%)
- Treibmittel: 35 Gramm pro Kilogramm PU-Schaum (-1%)

¹ VFC: volatile fluorocarbons (z.B. R-11, R-12, R-134a u. a.)

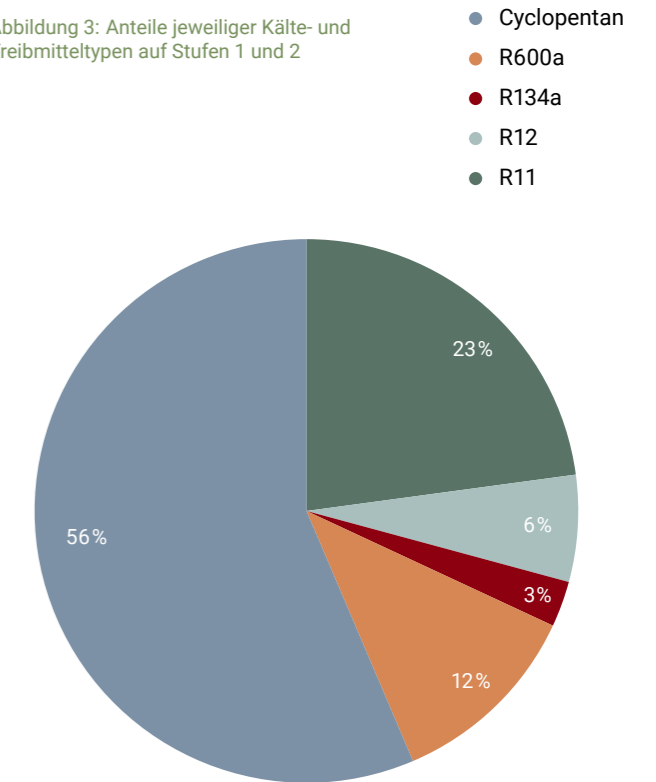
² VHC: volatile hydrocarbons (z.B. Isobutan R-600a oder Cyclopentan)

Die Gründe für die beobachteten rückläufigen Mengen liegen einerseits in der sich beständig verringern Dichte der Kälte- und Treibmittelmischungen. Andererseits spielen die gesunkenen Leistungen der zwei End-of-Life-Anlagen eine Rolle, welche zum Zeitpunkt der Publikation des vorliegenden Fachberichts ausser Betrieb sein werden. (Siehe Artikel zu den zwei neuen Anlagen auf Seite 28-31).

Die aus noch intakten Kühlkreisläufen sowie der PU-Isolation aller geschäumten Geräte zurückgewonnenen Kälte- und Treibmittel (2022: rund 80 Tonnen) setzen sich heute zu über zwei Dritteln aus klimafreundlichen Gasen zusammen (Abbildung 3).

Damit ist auch gesagt: Noch immer enthält rund ein Drittel der rückgewonnenen Kälte- und Treibmittel klimaschädigende Substanzen wie etwa R-11 und R-12. Die Kühlgeräte-Recyclinganlagen leisten also auch weiterhin einen unverzichtbaren Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz.

Abbildung 3: Anteile jeweiliger Kälte- und Treibmitteltypen auf Stufen 1 und 2



Wärmeüberträgergeräte sind für den Anlagenleistungstest bereitgemacht.

Zwei brandneue Anlagen in der Kühlgeräte-Recyclinglandschaft

Niklaus Renner

In der letztjährigen Ausgabe des Fachberichts informierten wir über markante Veränderungen im Schweizer Anlagenpark: Zwischen Herbst 2022 und Frühjahr 2023 nahmen oder nehmen gleich zwei neue Kühlgeräte-Recyclinganlagen der Firmen Immark AG und E. Flückiger AG ihren Betrieb auf. Nachfolgend erfahren Sie, wie der aktuelle Stand ist.



Neuer Produktionsstandort der Immark AG Aarwangen BE.

Immark AG Aarwangen setzt europaweit neue Massstäbe

Nach einjähriger Bauzeit weihte die Immark AG im Herbst 2022 den neuen Standort in Aarwangen BE ein. Dort spezialisierte sich die Immark AG auf das Recycling von Kühlgeräten und nahm dafür eine der europaweit modernsten Recyclinganlagen in Betrieb.

Die Immark AG ist Schweizer Marktleader im Bereich der Entsorgung und Wiederverwertung von Elektronikschrott und seit 2010 Teil der Thommen Group. In Aarwangen eröffnete die

Immark AG im Herbst 2022 den vierten Standort. Am neuen Ort steht die fachgerechte Entsorgung und das Recycling von Kühlgeräten und weiteren Kompressorgeräten im Zentrum. Konzipiert und gebaut wurde die Anlage von der bayrischen Erdwich Zerkleinerungs-Systeme GmbH mit grosser Unterstützung durch erfahrene Immark-Fachleute.

Als Pionier hat die Immark AG bereits 1991 die erste Recyclinganlage für Kühlgeräte in der Schweiz installiert, damals mit einer Kapazität von 20 Geräten pro Stunde. Die neue Anlage hat die zehnfache Kapazität, kann also bis zu 200 Geräte pro Stunde verarbeiten. Diese europaweit einzigartige Kapazität war Voraussetzung, um die bestehenden zwei Kühlgeräte-Recyclinganlagen in Rothrist und in Schattdorf ersetzen zu können. Gearbeitet wird auf zwei komplett autark betreibbaren Linien sowie weiterhin im Einschichtbetrieb.

Recyclinganlage nach dem neuesten Stand der Technik

In der ersten Verarbeitungsstufe wird das Kältemittel-Ölgemisch unter Vakuum abgesaugt. Das Öl wird vom Kältemittel getrennt und zusätzlich entgast. In der zweiten Stufe werden die Geräte mit Vorzerreissern und Hammermühlen in 35mm kleine Stücke zerkleinert. Dabei wird das in der Polyurethanschaum-Isolation (PUR) enthaltene Treibmittel freigesetzt und abgesaugt. Der separierte PUR-Schaum wird durch eine Pelletieranlage restentgast. Das abgesaugte Treibmittelgemisch wird mit einer Aktivkohlanlage erfasst, kondensiert und in der Hochtemperaturverbrennung unschädlich gemacht. Der für den Explosionsschutz in der Anlage benötigte Stickstoff wird selbst erzeugt.

Rückgewinnung der Rohstoffe

Das vom PUR-Schaum befreite Material wird durch ein ausgeklügeltes System von Magnetabscheidern, Sieben, Wirbelstromscheidern und Dichtentrenntischen in Metalle und Nichtmetalle getrennt. All dies gewährleistet gemäss Auskunft des Herstellers die Erreichung der gemäss SN EN 50625-2-3 und den eTV von Swico/SENS geforderten Mindestwerte bezüglich Gas-Rückgewinnungs- und Verwertungsquote.

Neue Produktionshalle mit eigener Stromgewinnung

Die neue Verarbeitungshalle bietet eine Grundfläche von fast 3'000m² und hat ein Volumen von circa 40'000m³. Dank einer Photovoltaikanlage von 2'400m² bezieht die Immark AG einen Teil des Strombedarfs von der Sonne und nutzt die Wärmerückgewinnung aus dem Betriebsprozess für die Heizung und die Warmwassererzeugung.

Projekt mit Leuchtturmcharakter

Der Aufbau des neuen Standorts von Immark AG ist das grösste Projekt in der Firmengeschichte der Thommen Group – und auch eines der grössten des bayrischen Familienunternehmens Erdwich. Arbeitsplätze in der Schweiz sicherzustellen und vor allem die Wertschöpfung im Inland zu behalten, ist ein grosses Anliegen und ein wichtiger Bestandteil der Thommen-Firmenphilosophie. Die Umsetzung der neuen Recyclinganlage habe Leuchtturmcharakter, sagt Sabine Krattiger, Geschäftsführerin der Immark AG. Und sie ergänzt: «Es haben sich bereits viele Delegationen von Recyclingunternehmen aus ganz Europa angemeldet, welche ein Projekt in derselben Grössenordnung realisieren möchten.»

➔ www.immark.ch



Erdwich-Kühlgeräte-Recyclinganlage der Immark AG. Mitte: Oberes Anlagendeck mit Absaugstationen, links: Geräteaufgabe in die zweite Verarbeitungsstufe, im Hintergrund die N2-Erzeugungsanlage.



URT-Kühlgeräte-Recyclinganlage der E. Flückiger AG im Aufbau. Links: Wirbelstromabscheider, rechts: Pelletkühler.

E. Flückiger AG: Neue Anlage an altem Standort

Nach rund 22-jährigem Anlagenbetrieb musste sich der Verwaltungsrat der Kühltreg AG 2020 Gedanken über den Bau einer neuen Anlage machen. Die Thommen Group entschied, eine solche am Standort Aarwangen BE zu etablieren. Die E. Flückiger AG entschloss sich, den Standort in Rothrist weiterzuführen – ebenfalls mit einer neuen Anlage und unter eigener Ägide.

Am Standort der E. Flückiger AG werden seit Anfang der 90er-Jahre Kühlgeräte recycelt. Nach einer Erweiterung und Modernisierung der ursprünglichen Anlage in Rothrist erfolgte 2001 der Zusammenschluss mit den Recyclingfirmen Immark AG Regensdorf und Kaufmann AG Thörishaus: Die Kühltreg AG wurde gegründet. Um die Kapazität zu steigern und die Rückgewinnung der Kälte- und Treibmittel zu optimieren, wurde im gleichen Jahr eine leistungsfähige Anlage der Firma URT Umwelt- und Recyclingtechnik GmbH in Betrieb genommen. Mit der Übernahme der Immark AG sowie der Kaufmann AG Thörishaus durch die Thommen Group in den Jahren 2009 resp. 2015 besass diese fortan den Hauptanteil

der Kühltreg-Aktien. Die E. Flückiger AG blieb weiterhin zu einem Drittel Miteigentümerin. Getrennt von der Thommen Group hat sich die E. Flückiger AG, womit Kühltreg als Konstrukt aus Thommen + Flückiger eben Geschichte war.

Höhere Leistung, bewährte Anlagentechnik

Der Aufbau der neuen Anlage durch den Hersteller URT Umwelt- und Recyclingtechnik GmbH am Standort Rothrist wird im April 2023 abgeschlossen sein. Sie wird mit einer Kapazität von 100 Geräten pro Stunde leistungsfähiger als die bisherige Anlage sein. Dank Trappings der Gase auf Aktivkohlefiltern fällt der Energieverbrauch niedriger aus als bei der seit September 2022 ausser Betrieb genommenen Kryogen-Anlage. Damit verbessert sich der CO₂-Footprint pro zu entsorgendes Altkühlgerät stark. Anlagensicherheit und Automatisierungsgrad entsprechen mit der neuen Anlage dem neuesten Stand der Technik. Die jahrelange Erfahrung im Aufbau und in der Wartung von Kühlgeräte-Recyclinganlagen macht die Herstellerfirma zu einem weltweit führenden Anbieter.

Energetische Vorteile dank einer einzigen Zerkleinerungsstufe

Gemäss Hersteller ermöglicht das URT-Verfahren mit nur einer Zerkleinerungsstufe eine effiziente Auftrennung der Gerätekarossen in Eisen- und Nichteisenmetalle, Polyurethanschaum und

Kunststoffe. Anforderungen an die Reinheit der einzelnen Output-Fractionen, wie von SENS bzw. der SN EN 50625-2-3 gestellt, können gemäss Anlagenlieferant sicher eingehalten werden. Die spezifische Zerkleinerungsleistung, der Energieverbrauch pro Altkühlgerät, ist niedrig und beträgt ca. 1.8kW pro Altkühlgerät. Ausserdem wird dank der Verwendung von nur einem Zerkleinerungsaggregat auch der Stickstoffbedarf für die Inertisierung reduziert.

Kontinuität in Bezug auf Standort und Personal

E. Flückiger AG setzt somit die bisherige erfolgreiche Zusammenarbeit mit der URT Umwelt- und Recyclingtechnik GmbH fort. Das Team wartet gemäss Aussage seiner Geschäftsführerin Janine Flückiger begeistert auf den Betriebsbeginn der neuen Anlage und freut sich riesig über die Eigen-

ständigkeit und Zukunftssicherung im Bereich Kühlgeräterecycling. Weiter sagt sie: «Die ideale verkehrstechnische Lage – 5 Minuten ab Autobahnausfahrt, dazu eigener Bahnanschluss – machen die E. Flückiger AG zu einem attraktiven Recyclingpartner. Das motivierte Personal, das wir zum Teil von Kühltreg AG übernehmen konnten, verfügt über grosse Erfahrung in der Kühlgeräteentsorgung. Diese Faktoren bilden gemeinsam einen unschlagbaren Wert.»

➔ www.flag.ch



URT-Kühlgeräte-Recyclinganlage der E. Flückiger AG im Aufbau.

Links: Pelletierpresse, rechts: Kunststoff-/Aluminium-Austragband auf der Wirbelstromanlage.

Fachkräfte- und Personalmangel in der Entsorgungs- und Recyclingbranche

Von Stefanie Conrad und Anahide Bondolfi

Der Index des Fachkräftemangels hat im Jahr 2022 einen Rekordwert erreicht. Der starke wirtschaftliche Aufschwung nach der Corona-Pandemie hat zu einer ebenso starken Nachfrage nach Personal geführt. Mit der gestiegenen Nachfrage sanken auch die Arbeitslosenzahlen deutlich. Diese Entwicklung stellt die Entsorgungs- und Recyclingbranche vor grossen Herausforderungen, welche bei den Recyclingbetrieben von SENS und Swico besonders spürbar ist. Denn viele SENS- und Swico-Recycler arbeiten häufig eng mit Zerlegebetrieben (ZB) zusammen, deren Mitarbeitende aus dem zweiten Arbeitsmarkt kommen.

Engpässe bei Zerlegebetrieben

Wegen der – erfreulicherweise – sinkenden Arbeitslosenquote und sozio-ökonomischer Entwicklungen entstehen in den ZB oft personelle Engpässe. Gleichzeitig ist die manuelle Entfrachtung von Elektro- und Elektronikaltgeräten (EAG), die in den ZB durchgeführt wird, sehr arbeitsintensiv. In Anbetracht des aktuellen Fachkräfte- und Personalmangels sind die damit verbundenen Herausforderungen und Auswirkungen im Recycling von EAG bedeutend.

Anpassungen in Zerlegebetrieben

Wie viele andere ZB schafft die DOCK Gruppe AG Arbeitsplätze für Menschen, die lange ohne Arbeit waren. Sie bietet ein arbeitsmarktnahes Umfeld mit realen Arbeitsplätzen. Als Partner u.a. von Solenthaler Recycling AG (SOREC AG) zerlegt die Dock Gruppe AG in mehreren Betrieben EAG. Heinz Guntli, zuständig für die strategische Unternehmensentwicklung bei der DOCK Gruppe AG, zeigt verschiedene Gründe für die Engpässe bei den Zerlegekapazitäten auf: «Die Veränderungen im Arbeitsmarkt haben auch auf die Betriebe der DOCK Gruppe AG spürbare Auswirkungen. Vor allem die Corona-Situation und die Ukraine-Krise haben schonungslos aufgezeigt, welchen Herausforderungen wir uns alle in Bezug auf Lieferketten, demografische Entwicklung, technische Weiterentwicklungen und auf das Verständnis in Bezug auf den eigenen Bedarf stellen müssen.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Miniaturisierung der elektronischen und elektrischen Geräte, die inzwischen häufig batteriebetrieben sind. Die Schadstoffentfrachtung dieser Geräte wird dadurch immer komplexer und aufwändiger.» Als Folge davon wird in den ZB der SOREC AG meistens nur noch die zwingend notwendige Schadstoffentfrachtung durchgeführt.

Manuelle Zerlegung als Kernelement für EAG-Recycling

Aufgrund der schwierigen Wirtschaftslage und der technischen Entwicklung ist der Trend in Richtung Optimierung und Mechanisierung bei der Sortierung und bei der Zerlegung von EAG deutlich sichtbar. Aber auf manuelle Zerlegearbeiten kann nach heutigem Stand der Technik im EAG-Recycling nicht verzichtet werden. Schon die Triage erfordert ein geschultes, menschliches Auge. Sollte der Personalmangel andauern oder gar weiter zunehmen, kommt auch die Optimierung der manuellen Prozesse in der Zerlegung von EAG an ihre Grenzen.

Auch Anne-Claude Imhoff, Co-Geschäftsführerin der leBird GmbH, welche soziale Zerlegebetriebe betreut, hält fest: «Unser Hauptpartner musste die Kapazitäten der Zerlegearbeiten an die Personalkapazitäten anpassen.» Die manuelle Zerlegung von EAG ist von entscheidender Bedeutung für die Rückgewinnung von Wertstoffen und die



Die Arbeit in den Zerlegebetrieben. (Foto: Swico)

Abtrennung von Schadstoffen. Anne-Claude Imhoff meint weiter: «Es ist wichtig, dass die Rahmenbedingungen für Zerlegertätigkeiten von EAG auch in Zukunft gesichert sind. Dazu gehören insbesondere das Engagement der Sozialverbände und deren Unterstützung durch die öffentliche Hand sowie eine ausreichende Vergütung durch die Einrichtungen, die die Vorauszahlungen verwalten.»

Mögliche Entwicklungen

Es gibt jedoch nicht nur Betriebe, die Arbeitsplätze im Bereich der Zerlegung von EAG für Arbeitssuchende anbieten, sondern auch ZB, in denen Menschen mit körperlichen oder geistigen Behinderungen, Suchtkranke oder Asylbewerber betreut werden. Die wirtschaftlichen Veränderungen haben auch einen starken Einfluss auf die Anzahl der Arbeitsplätze in diesen Bereichen. Durch verstärkte öffentlich-private Zusammenarbeit könnte diesen Entwicklungen und dem Personalbedarf besser Rechnung getragen werden. Darüber hinaus werfen diese Veränderungen in der Verfügbarkeit von Arbeitskräften die Frage auf, wie ein Gleichgewicht zwischen Arbeitsplätzen auf dem primären und dem sekundären Arbeitsmarkt hergestellt werden kann.

Das Sortieren erfordert ein geschultes menschliches Auge. (Foto: Swico)



Kreislaufwirtschaft bei der EAG-Entsorgung – die BAFU-Vollzugshilfe zum Stand der Technik setzt neue Massstäbe

Heinz Böni

Auf den 1. Januar 2022 trat die revidierte Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte, kurz VREG, in Kraft. Artikel 13 legt fest, dass das Bundesamt für Umwelt als Aufsichtsbehörde eine Vollzugshilfe zum Stand der Technik erstellt. Diese ging am 3. März 2023 als Entwurf bei interessierten Kreisen in die Anhörung.

Eine Vollzugshilfe richtet sich in erster Linie an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert die umweltrechtlichen Vorgaben des Bundes und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfe, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen. Andere Lösungen sind auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind.

Gemäss Artikel 3 der VREG bezeichnet der Stand der Technik den aktuellen Entwicklungsstand von Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen, der bei vergleichbaren Anlagen oder Tätigkeiten im In- oder Ausland erfolgreich erprobt ist oder bei Versuchen erfolgreich eingesetzt wurde. Dieser kann nach den Regeln der Technik auf andere Anlagen oder Tätigkeiten übertragen werden. Er ist für einen mittleren und wirtschaftlich gesunden Betrieb der betreffenden Branche wirtschaftlich tragbar.

Die Empa wurde mit der Erarbeitung des Entwurfs der Vollzugshilfe betraut. Sie hat sich dabei in einigen Bereichen auf die seit 2014 bestehende schweizerische Normenreihe SN EN 50625 zur Sammlung, Logistik und Behandlung von Elektro- und Elektronikaltgeräten abgestützt. Die Anforderungen, welche im Entwurf der Vollzugshilfe festgelegt werden, gehen jedoch in einigen Bereichen auch darüber hinaus.

Auch Funktionen sollen zurückgewonnen werden

Die Vollzugshilfe fasst im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft mit den Entsorgungsgrundsätzen «Bereich der Entsorgung» mit drei Rückgewinnungszielen weiter als die Normenserie SN EN 50625. Die drei Ziele sind die Rückgewinnung der enthaltenen Funktionen durch Vorbereitung zur Wiederverwendung der EAG, die Rückgewinnung von Materialien durch Recycling oder andere stoffliche Verwertungen sowie die Rückgewinnung der enthaltenen Energien durch energetische Verwertung.

In der Normenserie SN EN 50625 liegt dagegen der Fokus auf der Rückgewinnung von Materialien und Energien. Dabei wird die Vorbereitung zur Wiederverwendung der Recyclingquote zugerechnet. Die Sorgfaltspflichten bei der Handhabung der Geräte schliesst auch die Möglichkeit einer Wiederverwendung ein.

Energiespeicher im Fokus der betrieblichen Risiken

Der unsachgemässe Umgang mit Energiespeichern hat in Recyclingbetrieben verschiedene Brandereignisse ausgelöst. Deshalb sind für den Umgang aufgrund der betrieblichen Risiken, welche von Energiespeichern ausgehen, in der Vollzugshilfe klare Vorgaben festgehalten. Die Normenserie SN EN 50625 stellt keine diesbezüglichen Anforderungen. Dem Brandrisiko im

Umgang mit Energiespeichern, insbesondere beim Schüttguttransport von Geräten mit Lithiumbatterien, wurde 2014 noch kaum Bedeutung geschenkt.

Keine Schüttguttransporte von Elektro- und Elektronikaltgeräten

In Anlehnung an die Ausführungen zur Thematik der Energiespeicher ist der Transport von Schüttgut explizit untersagt. Eine Ausnahme wird ermöglicht, wenn vorgängig ein Entsorgungsunternehmen alle gefährlichen Bestandteile und Stoffe (z.B. Lithium-Ionen-Batterien) nach dem Stand der Technik entfernt hat. Die Normenserie SN EN 50625 hält lediglich fest, dass EAG mit der erforderlichen Sorgfalt behandelt und gelagert werden müssen. So wird die Abgabe von Schadstoffen in Luft, Wasser oder Boden als Folge von Beschädigungen und/oder Bruch vermieden.

Werthaltige EAG möglichst zerstörungsfrei vorbehandeln

Das Ziel der Verarbeitung von EAG ist nebst der Entnahme von schadstoffhaltigen Komponenten eine möglichst hohe Wertstoffausbeute. Gemäss der Vollzugshilfe sollen dafür die Verfahren entsprechend ausgelegt und betrieben werden. Die wertstoffhaltigen Bestandteile wie hochwertige Leiterplatten, reine Metalle oder Teile mit seltenen technischen Metallen (wie z.B. Neodym-Magnete) oder technische Kunststoffe (wie z.B. PMMA aus Flachbildschirmen) werden möglichst frühzeitig und vollständig separiert. Danach werden sie der finalen Verwertung zugeführt. Dies bedingt unter Umständen eine gerätespezifische Triage und zerstörungsfreie Vorbehandlungen. Auch eine mechanische Verarbeitung von EAG mit ähnlichen Zusammensetzungen und ähnlichem Verhalten in einem gemeinsamen Behandlungsstrom im selben Verarbeitungsprozess sind denkbar. Die Normenserie SN EN 50625 stellt auch dazu keine Anforderungen.

Seltene Technologiemetalle beim Vorhandensein von Verfahren zurückgewinnen

Die Vollzugshilfe macht Anforderungen an die Rückgewinnung von seltenen Technologiemetallen und fordert deren stoffliche Verwertung, sofern es dafür entsprechende Verfahren gibt. Die Normenserie SN EN 50625 stellt ausser für Gold, Silber, Platin, Palladium und Kupfer keine diesbezüglichen Anforderungen.

Detailliertere Dokumentations- und Meldepflichten

In der Vollzugshilfe sind detaillierte Anforderungen an die Entsorgungsunternehmen bezüglich der Dokumentation der Materialflüsse auf der Basis einer einheitlichen Klassierung der Ein- und Ausgänge festgeschrieben. Sie gehen weiter und sind detaillierter als die Anforderungen der Normenreihe SN EN 50625. Durch Erfassung aller Ein- und Ausgänge besteht eine vollständige Transparenz zu den Materialflüssen. Die Materialbuchhaltung dient zur Berechnung der betrieblichen Kennzahlen und der Plausibilisierung einer adäquaten Schadstoffausschleusung und Ressourcenrückführung gemäss aktuellem Stand der Technik. Auch die Vorbereitung der Auditierung, die Durchführung von Studien und die Erstellung der anonymisierten jährlichen Berichterstattung werden dadurch ermöglicht.

Im Gegensatz dazu stellt die Normenreihe SN EN 50625 eher generelle Anforderungen an die Dokumentation ohne Festlegung einer einheitlichen Klassierung der Ein- und Ausgänge.

Die Vollzugshilfe wird nach Abschluss der Anhörung finalisiert und soll am 1. Januar 2024 in Kraft treten.

EPR Grand Challenge – das WEEE-Forum feiert sein 20-jähriges Jubiläum

Pascal Leroy

Am 7. Dezember 2022 versammelte das WEEE-Forum auf seiner EPR Grand Challenge-Konferenz über 170 Vertreter und Vertreterinnen der Wertschöpfungskette für Elektroschrott, um über die nächsten Schritte für die erweiterte Herstellerverantwortung (extended producer responsibility, EPR) zu diskutieren. Dabei gab es einen doppelten Anlass zum Feiern: 20 Jahre EAG-Gesetzgebung und 20 Jahre WEEE-Forum, das ursprünglich gegründet wurde, um europäische Organisationen zu vertreten, die sich mit der Herstellerverantwortung für Elektroschrott befassen, mittlerweile jedoch 49 solche gemeinnützigen Unternehmen auf der ganzen Welt vertritt.



Die Grundsatzrede wurde von EU-Umweltkommissionar Virginijus Sinkevičius gehalten, der über die Erfolge der Europäischen Union im Bereich Elektroschrott-Management sprach. Er dankte dem WEEE-Forum für dessen Arbeit in den vergangenen Jahren, während er gleichzeitig betonte, dass der Weg noch lang sei: «Trotz der Verbesserungen gelangen zu viele Altgeräte gar nicht erst in Einrichtungen für ihre Verwertung oder Reparatur. Sie werden in der hintersten Ecke einer Schublade vergessen, illegal exportiert oder es werden wertvolle Teile entnommen, was häufig

zu Umweltverschmutzungen führt. Unsere grösste Herausforderung besteht somit darin, dem entgegenzuwirken. Dazu müssen wir zusammenarbeiten und eine stärker kreislauforientierte Wirtschaft aufbauen.» Während der Konferenz wurden vier Herausforderungen der Branche vorgestellt und von Expertengruppen diskutiert, um entsprechende Lösungen zu finden.

Umsetzung der Kreislaufwirtschaft

Die weltweite gesellschaftliche Herausforderung des Elektroschrotts erfordert ein gemeinsames

Vorgehen. Die Sammelsysteme bringen zahlreiche Massnahmen auf den Weg, damit die Bürger und Bürgerinnen ihre elektrischen Geräte tatsächlich zurückgeben. Doch die Herausforderung, die Kreislaufwirtschaft in die Praxis umzusetzen und Kreislaufgesellschaften zu schaffen, in denen die Wiederverwendung, Reparatur und das Recycling elektronischer Produkte zum sozialen Standard werden, erfordert einen ganzheitlichen Ansatz innerhalb der Wertschöpfungskette mit neuen Geschäftsmodellen und Strategien. Valérie Guillard, Professorin an der Universität Paris-Dauphine, hinterfragte die psychologischen Aspekte des Umstiegs auf kreislauforientierte Verhaltensweisen: «Warum ist es für Verbraucher und Verbraucherinnen so schwierig, ihr Konsumverhalten zu ändern? Weil der Konsum unserem Leben, unserem Handeln und unseren sozialen Beziehungen einen Sinn verleiht.» In einem weiteren Beitrag beschrieb Bruno Vermoesen von BSH Home Appliances, wie viel auf der Produktionsseite bereits unternommen wird, z. B. durch den Einsatz recycelter Materialien und die Vermeidung wichtiger Rohstoffe.

Umsetzung der Herstellerverantwortung auf internationaler Ebene

Elektroschrott ist der am schnellsten wachsende Abfallstrom der Welt und daher ein weltweites Problem. Jan Vlak, Vorsitzender des WEEE-Fo-

rum, erklärte in seiner Eröffnungsrede: «Meiner Meinung nach benötigen wir ein Übereinkommen nach Pariser Vorbild, das eine internationale Regelung, ein weltweites Sekretariat, eine Partnerschaftsstruktur und einen globalen Vertrag umfasst, oder eine andere Art von UN-Initiative, um mehrere entscheidende Bereiche des Elektroschrott-Managements und damit verbundene EPR-Programme abzudecken.» Vanessa Gray von der Internationalen Fernmeldeunion der Vereinten Nationen fügte hinzu: «Nicht nur die Hersteller, sondern alle relevanten Akteure, einschliesslich Regierungsbehörden, Verbraucher und Verbraucherinnen sowie Recyclingunternehmen, müssen im EPR-System eine Rolle spielen, um die Sammlung von Elektroschrott erfolgreich zu steigern.»

Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft

Ohne sicheren und nachhaltigen Zugang zu Rohstoffen besteht die Gefahr, dass Europa sein Ziel, der erste klimaneutrale Kontinent zu werden, nicht erreicht. Guillaume Pitron, französischer Journalist und Autor des Bestsellers «The Rare Metals War», beschäftigte sich mit den Fragen, wie der Markt zum Sammeln von Elektroschrott den Zugang zu kritischen Rohstoffen erleichtern und Europa weniger abhängig von Drittländern machen kann. Er erläuterte auch die wirtschaftlichen, politischen und ökologischen Herausforderungen im Zusammenhang mit der Verwen-





derung von Seltenerdmetallen und wies darauf hin, dass es «in der Geschichte keine Energiewende gegeben habe, die nicht mehr Metalle und Mineralien erforderte, und dass die Umstellung auf grüne Energie keine Ausnahme sei.»

Eine neue Vision für die EPR in künftigen EAG-Rechtsvorschriften

In Europa werden offiziell 55 % des erzeugten Elektroschrotts gesammelt und gemeldet. Andere Teile der Welt weisen deutlich langsamere Wachstumsraten in diesem Bereich auf und die weltweit gemeldete durchschnittliche Sammelrate beträgt lediglich 17 %. Der in Europa gesammelte Elektroschrott wird auch nach höheren Standards verwertet als in den anderen Teilen der Welt. Dies ist vor allem den 20-jährigen EPR-Rechtsvorschriften in ganz Europa zu verdanken. Rechtsvorschriften müssen jedoch – beruhend auf den Erfahrungen der letzten zwei Jahrzehnte – aktualisiert werden, um sie an die neuen Marktgegebenheiten anzupassen. Es bestand auch Einigkeit darüber, dass sich alle Akteure und Akteurinnen für eine Verbesserung der Rechtsvorschriften einsetzen. Dabei vertritt ein Grossteil die Meinung, dass eine Verordnung anstelle einer Richtlinie den Vorteil hätte, dass die Spielregeln in allen Mitgliedstaaten gleich sind – ohne dass sich aus der Umsetzung in nationales Recht Unterschiede ergeben. Dies dürfte einer der entscheidenden Faktoren sein, damit die künftigen EAG-Rechtsvorschriften die gewünschte Wirkung erzielen.

Bericht über EAG-Ströme wurde eingeführt

Eine in Partnerschaft zwischen dem Ausbildungs- und Forschungsinstitut der Vereinten Nationen

(UNITAR) und dem WEEE-Forum und dessen Mitgliedern erarbeitete Veröffentlichung wurde ebenfalls auf der Veranstaltung vorgestellt. Das Dokument enthält wichtige Statistiken über die EAG-Ströme und Sammelquoten in den 27 EU-Mitgliedstaaten, Norwegen, dem Vereinigten Königreich, der Schweiz und Island von 2010 bis 2021. Aus der Studie geht unter anderem hervor, dass die Menge der in diesen Ländern in Verkehr gebrachten Elektro- und Elektronikgeräte von 9,8 Mio. Tonnen im Jahr 2010 auf 13,3 Mio. Tonnen im Jahr 2019 (25,2 kg/Einwohner) gestiegen ist. Bei den erzeugten Elektro- und Elektronik-Altgeräten ist ein Anstieg um 2,1 Mio. Tonnen von 8,3 Mio. Tonnen im Jahr 2010 auf 10,4 Mio. Tonnen (19,6 kg/Einwohner) im Jahr 2021 zu verzeichnen. Die dokumentierte formelle Sammlung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten zeigt einen Anstieg um 1,8 Mio. Tonnen von 3,8 Mio. Tonnen im Jahr 2010 auf 5,6 Mio. Tonnen (10,5 kg/Einwohner) im Jahr 2021. Weitere Statistiken finden Sie im [vollständigen Dokument](#).

Erfahren Sie mehr über unsere Veranstaltung und unsere Vision. All unsere Berichte und Veröffentlichungen sind [hier](#) zugänglich, einschliesslich der Dokumente [20 years on](#) und [Response to the Call for Evidence in view of the evaluation of WEEE legislation](#).



Für eine optimierte kreislauffähige EAG-Behandlung der Zukunft

Andrea Wehrli, Kirsten Remmen und Heinz Böni

Wenn EAG auf eine kreislauffähige Weise behandelt werden, werden die natürlichen Ressourcen geschont und die Umweltbelastungen reduziert. Welche Faktoren muss eine Beurteilungsmethodik beinhalten, um eine zielgerichtete, zukunftsorientierte und umsetzbare Kreislaufwirtschaft bei EAG zu fördern und unterstützen?

Ziele einer kreislauffähigen Behandlung von EAG

Eine kreislauffähige Behandlung von Elektroaltgeräten (EAG) erfordert eine Strategie, die drei grundsätzliche Ziele verfolgt: die Schaffung geschlossener Kreisläufe, die Vermeidung von Gesundheitsschäden und die Maximierung des ökologischen Nutzens.

Die Empa führt im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU) das Projekt e-conseg durch. Dabei wird eine Beurteilungsmethodik entwickelt, welche die Grundlagen bereitstellt, um den Grad der Erreichung dieser Ziele bestmöglich zu erfassen. Gleichzeitig soll diese möglichst praxisnah und im Kontext unterschiedlicher technischer, finanzieller und regulatorischer Rahmenbedingungen anwendbar sein. Die Beurteilungsmethodik baut auf den drei Behandlungszielen auf und umfasst Beurteilungsgrößen, die sich je nach betrieblichen Aktivitäten und Betrachtung der Systemebene (betrieblich oder national) unterscheiden.

Geschlossene Kreisläufe

Die Daten zu den Massenflüssen von Produkten, Komponenten und Stoffen bilden die Basis für eine umfassende Beurteilung. Informationen zum Input ermöglichen eine Schätzung des Rückgewinnungspotenzials, während Informationen zum Output Verluste und die tatsächlichen Rückgewinnungsmöglichkeiten aufzeigen. Die Daten zu den Gehalten sind von Bedeutung, um Frachten und Verluste zu berechnen. Verluste können auf verschiedene Faktoren zurückzuführen sein: zum Beispiel Fehlwürfe in andere Abfallströme, Separierung in nicht optimale Behandlungsströme oder Emissionen und

Verluste in den Behandlungsprozessen. Das Erreichen geschlossener Kreisläufe muss im Kontext der beiden anderen Ziele beurteilt werden, nämlich der Vermeidung von Gesundheitsschäden und der Maximierung des ökologischen Nutzens.

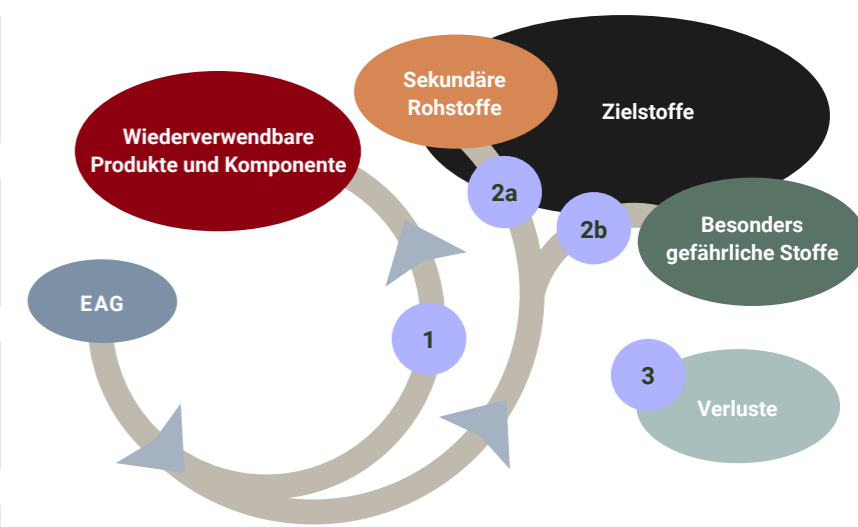
Schadstoffe sind zu priorisieren

Die Separierung und Aufkonzentrierung von Zielstoffen mit einem hohen Schadenspotenzial ist gegenüber Wertstoffen zu priorisieren. Neben den gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerten sollen zusätzlich die Verluste von Schadstoffen in dafür nicht vorgesehenen Output-Fractionen bestimmt und beurteilt werden. Daraus können mögliche Vermeidungsmassnahmen festgelegt werden.

Die komplexe Welt des ökologischen Nutzens

Die Generierung von ökologischem Nutzen in der Behandlung von EAG ist komplex und hängt von der gesamten Wertschöpfungskette ab, inklusive der Herstellung und des Konsums. Idealerweise werden Produkte und Komponente möglichst lange (wieder-)verwendet und die Stoffe bei der Rückgewinnung in einem dichten System so separiert und aufkonzentriert, dass keine Verluste entstehen, und diese als hochwertige Stoffe wieder in der Herstellung Anwendung finden können. Um strategische Entscheidungen zugunsten des ökologischen Nutzens zu fördern, werden unter anderem die Materialflüsse mit Umweltdaten hinterlegt, um das Potenzial und die Generierung von ökologischem Nutzen transparenter zu gestalten.

- 1 **Verwertungsweg 1:** EAG gelangen als Produkt oder als Komponente in die Vorbereitung zur Wiederverwendung.
- 2a **Verwertungsweg 2a:** Ein Zielstoff in EAG endet in der Rückgewinnung für sekundäre Rohstoffe.
- 2b **Verwertungsweg 2b:** Ein Zielstoff in EAG endet in der separaten Behandlung für die stoffliche oder energetische Verwertung oder Beseitigung.
- 3 **Verluste:** Stoffe in EAG gehen entlang der Verwertungswege verloren.

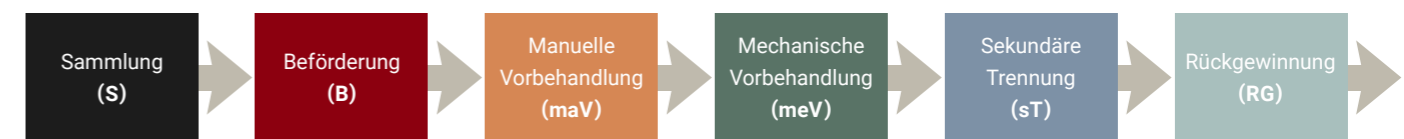


Beurteilung auf betrieblicher und nationaler Ebene

Die Optimierung der Kreislauffähigkeit von EAG muss auf betrieblicher und nationaler Ebene ganzheitlich betrachtet werden und die technischen, ökonomischen und weiteren relevanten Aspekte sind zu berücksichtigen. Ein weiterer wichtiger Ansatz für eine fördernde Beurteilung ist der Einbezug von kontinuierlichen Verbesserungen und Massnahmen, die ein Betrieb ergreift. Auf betrieblicher Ebene orientieren sich die Beurteilungsgrößen an den Prozessen und an den Möglichkeiten respektive den limitierenden und nicht beeinflussbaren Rahmenbedingungen. Im Vordergrund steht dabei die Ausschöpfung des ökologischen Potenzials vor dem Hintergrund einer betrieblichen Gesamtbetrachtung. Diese umfasst die energieeffiziente Rückgewinnung möglichst vieler Zielstoffe, die Priorisierung von ökologisch bedeutenden Stoffen und Möglichkeiten zur Wiederverwendung von EAG.

Die Beurteilung auf nationaler Ebene baut auf den Daten der einzelnen Prozesse und Betriebe auf. Hierbei ist es unerlässlich, dass der Input, die Verwertungswege, der Output und die Verluste über die gesamte Kette hinweg erfasst werden. Nur so kann ein realistisches Bild erhalten und eine fundierte Leistungsbeurteilung auf nationaler Ebene vorgenommen werden.

Die neue Beurteilungsmethodik soll Betriebe und Behörden dahingehend unterstützen, die richtigen Massnahmen zu identifizieren und zu ergreifen, um den ökologischen Nutzen der EAG-Kreislaufwirtschaft kontinuierlich zu optimieren. Das Projekt e-conseg dauert bis Mitte 2024.



$$KLF_{\text{Stoffl. Rückg.}}(z) = S(z) * B(z) * maV(z) * meV(z) * sT(z) * RG(z)$$

Die Kreislauffähigkeit eines Zielstoffs (z) für die stoffliche Rückgewinnung (KLF_{Stoffl. Rückg.}) basiert auf den Leistungen der Sammlung (S), der Beförderung (B), der manuellen Vorbehandlung (maV), der mechanischen Vorbehandlung (meV), der sekundären Trennung (sT) und der Rückgewinnung (RG).

Kreislaufwirtschaft im Automobilsektor – Resultate aus dem Projekt EVA II

Manuele Capelli und Charles Marmy

In einem Projekt des Bundesamtes für Umwelt BAFU untersucht die Empa seit einigen Jahren die Verwertung von eingebetteten elektronischen Geräten (EEG) aus Fahrzeugen. Die Arbeiten stehen im Kontext der neuen Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte (VREG). Als wichtiger Teil des Projekts wurden die Kosten sowie der Umweltnutzen bei einer Demontage von EEG und einer separaten Behandlung im Elektroschrott-Recycling-system untersucht.

Wie in vielen Geschäftsbereichen geht die Entwicklung auch im Automobilsektor hin zu stärker vernetzten und smarteren Produkten. Moderne Personenwagen enthalten eine Vielzahl an Fahrerunterstützungshilfen, Unterhaltungs- sowie auch Komfort-Features. Diese waren noch vor einigen Jahren nur im Premiumsegment zu finden. Dieser Trend resultiert in einer stetig wachsenden Anzahl an eingebetteten elektronischen Geräten (EEG). Wie auch andere elektronische Geräte der Heim-elektronik enthalten EEG in Fahrzeugen komplexe Bauteile wie beispielsweise Leiterplatten mit Prozessoren oder kleine Elektromotoren für verschiedene Bewegungsfunktionen. Die darin enthaltenen wertvollen Metalle wie Kupfer oder Gold gehen im aktuellen Recyclingsystem teilweise verloren, da die EEG bisher nicht in den Geltungsbereich der VREG fielen und daher nicht separat in auf Elektroschrott spezialisierten Anlagen recycelt wurden.

Ziele der neuen VREG

Im Rahmen der Revision der VREG wurde der Geltungsbereich erweitert und umfasst nach Artikel 2 unter anderem nun auch elektronische Bestandteile in Fahrzeugen (EEG). Dies jedoch unter zwei Bedingungen: Die separate Entsorgung der EEG muss mit verhältnismässigem Aufwand möglich sein. Ausserdem soll deren stoffliche Verwertung nach heutigem Stand der Technik

ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich tragbar sein. Dies wurde im Rahmen des Projekts EVA II der Empa untersucht.

Wirtschaftlich tragbar?

Die Kosten setzen sich aus drei Teilen zusammen: den Ausbaurkosten, also den Kosten für die Demontage der EEG aus den Altfahrzeugen; den Kosten des Transports sowie den Kosten der Rückgewinnung der Rohstoffe. Aufgrund der hohen Lohnkosten in der Schweiz fallen die Ausbaurkosten am stärksten ins Gewicht. Dies insbesondere, weil eine Fachperson benötigt wird, welche weiss, wo die EEG im Fahrzeug zu finden sind. Zwischen den Geräten bestehen aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung und deren Lage im Fahrzeug beträchtliche Unterschiede in Bezug auf deren Wert sowie Ausbaurkosten. Ergebnisse der Modellrechnungen zeigen Kosten je nach Gerätetyp zwischen 3 und 20 CHF. Beim Ausbau aller EEG pro Altfahrzeug liegen die Nettokosten ungefähr bei 200 CHF. Dabei ist der Erlös durch den Materialwert aller ausgebauten Geräte pro Altfahrzeug bereits einberechnet.

Das Verhältnis zwischen Materialwert und Verwertungskosten ist aufgrund schwankender Rohstoffpreise sowie der Entwicklung im Mix von Altfahrzeugen variabel. Der Trend zur Elektromobilität könnte die wirtschaftliche Tragbarkeit

begünstigen, da Elektrofahrzeuge einfacher im Aufbau sind, was die Ausbaurkosten reduzieren wird. Zudem enthalten sie bestimmte E-Auto-spezifische EEG, welche als besonders wertvoll eingeschätzt werden.

Deutliche Emissionsreduktionen

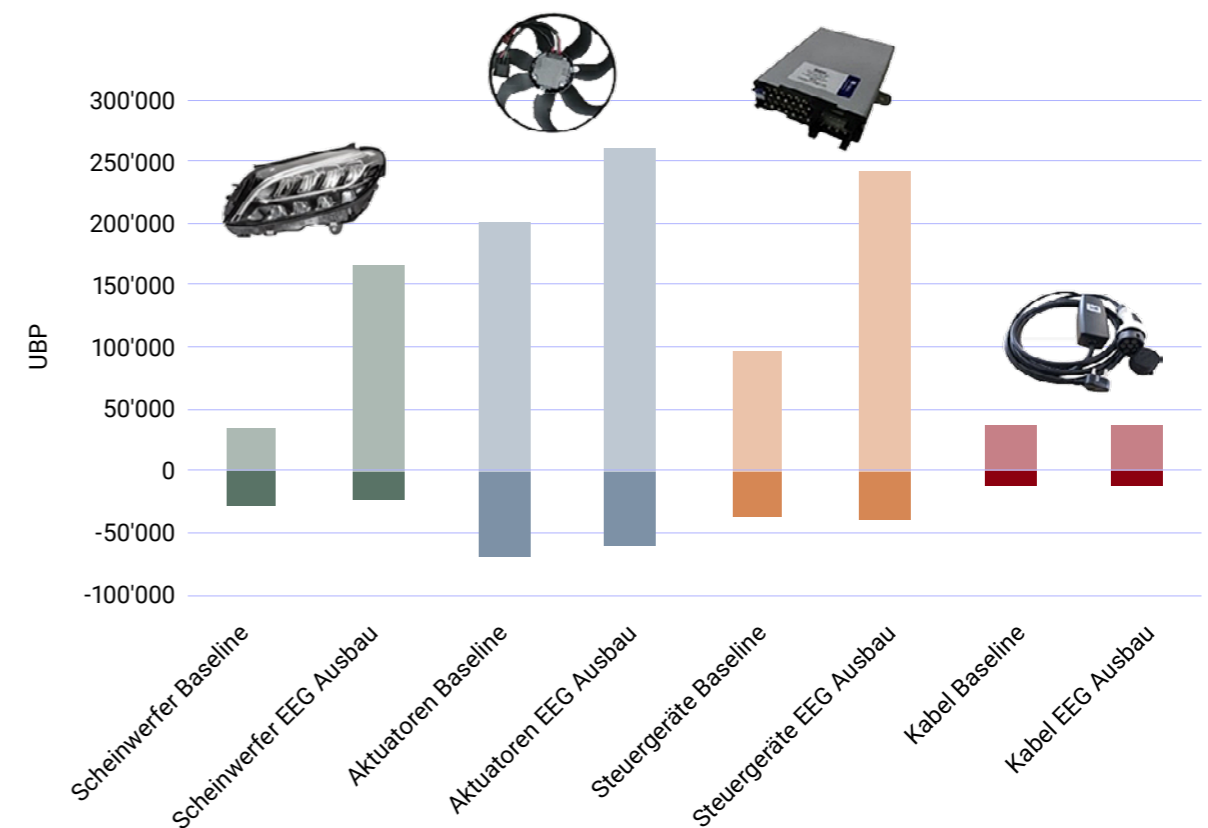
Die Ökobilanz-Resultate zeigen, dass die zweite Voraussetzung der VREG – ökologisch sinnvoll – erfüllt werden kann. Dabei werden die zwei Szenarien «kein Ausbau der Geräte (Baseline) und Rückgewinnung der Rohstoffe» und «Separierung der EEG (EEG-Ausbau) und Rückgewinnung der Rohstoffe» in Bezug auf deren Umweltbelastung über alle Prozesse miteinander verglichen. Aufgrund der erhöhten Rückgewinnungsquote infolge niedrigerer Verluste verschiedener Metalle wie Gold, Kupfer oder Aluminium können durch die Substitution von Primärmaterialien Treibhausgasemissionen eingespart werden. Die vermiedene Umweltbelastung ist nach heutiger Datenlage vier- bis fünfmal höher als der zusätzliche Aufwand, der bei der separaten Verwertung der EEG entsteht (siehe Abbildung).

In Richtung Kreislaufwirtschaft

Mit der Ausweitung der VREG auf Elektrogeräte in Fahrzeugen setzt die Schweiz im Fahrzeugsektor ein Zeichen in Richtung Kreislaufwirtschaft. Die Ergebnisse der Studie zeigen die verbesserte Rückgewinnung verschiedener Materialien aus EEG, wenn diese separat behandelt werden. Die Kosteneffizienz ausgedrückt als Umweltnutzen pro Franken liegt in einem ähnlichen Bereich wie bei PET oder Haushaltelektronik. Die Umstellung des Systems benötigt keine neue Behandlungsinfrastruktur, die EEG können im existierenden Elektroschrottrecyclingsystem der Schweiz behandelt werden. Mit der Behandlung der EEG sinkt der Umweltfussabdruck der Fahrzeuge durch die erhöhte Rückgewinnung wertvoller Sekundärressourcen.

Weiterführende Informationen

- [«Recycling of electric components from passenger vehicles \(EVA\)» \(pdf\)](#)
- [«Art. 13 Vollzugshilfe des BAFU»](#)



Vergleich Verhältnis Umweltnutzen (helle Balken) mit Recyclingaufwand (dunkle Balken) pro kg für die verschiedenen EEG-Kategorien in Betrachtung mit Umweltbelastungspunkten (UBP).

¹ EVA = Elektronik-Verwertung Altfahrzeuge

Lithium-Metall-Batterien in EAG

Unterscheidung und Erfahrungen aus der Praxis

Flora Conte

Die Gefahren der Lithium-Batterien im EAG-Recycling sind mittlerweile wohlbekannt. Während im Umgang mit Lithium-Ionen-Batterien laufend viele Erfahrungen gesammelt werden können, wirft das Thema Lithium-Metall-Batterien bei den Recyclingpartnern Fragen auf, für die es bis jetzt nicht immer eine eindeutige Antwort gab. Der Wissensaustausch mit der Praxis zur Erkennung von Lithium-Metall-Batterien und zum Schutz gegen deren Risiken ist hierzu deshalb sehr wichtig.

Lithium-Metall-Batterien (LiMe) sind eine Unterkategorie der Lithiumbatterien. Es handelt sich um Primärzellen, also nicht-aufladbare Batterien, die eine hohe Energiedichte¹ aufweisen und besonders langlebig sind. Entsprechend werden sie dort angewendet, wo das Wiederaufladen oder Auswechseln der Batterien zu vermeiden ist. Da die Eigenschaften der LiMe-Batterien im Kontext der Sammlung, Demontage oder des Recyclings andere Risiken mit sich bringen, ist es wichtig, sie in der Praxis von Lithium-Ionen-Batterien unterscheiden zu können. Denn LiMe sind hochreaktiv, erzeugen bei Beschädigung toxische Gase und verhalten sich bei Stress (Kurzschluss, Druck) anders als Lithium-Ionen-Batterien. Nicht nur der Kontakt mit Wasser ist problematisch, auch der «Popcorn-Effekt» kann zu unangenehmen Überraschungen führen.

Sehr selten und sehr häufig?

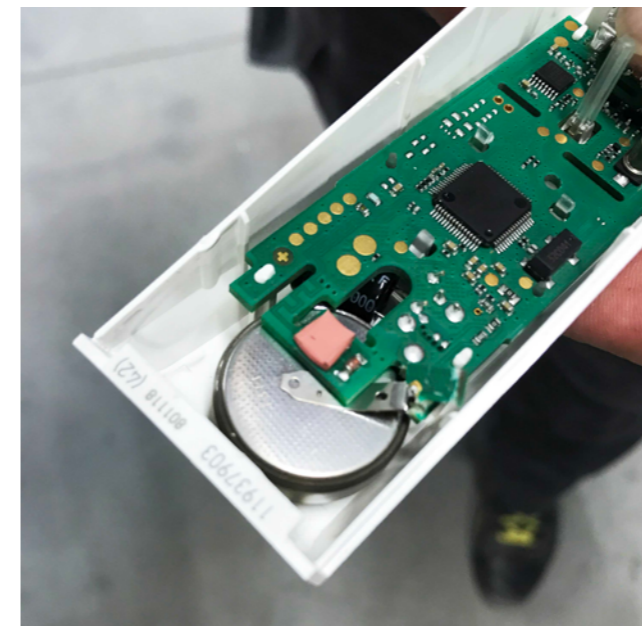
In der Praxis führt das Thema rund um LiMe-Batterien oft zu vielen Fragen und Unklarheiten. Sind LiMe-Batterien so selten, dass man sie eh kaum antrifft, oder sind sie sehr häufig, aber viel harmloser als man sagt? Der Hauptgrund für diese Frage ist, dass der Begriff «LiMe-Batterien», obschon eine Unterkategorie der Lithium-Batterien, ein Überbegriff für verschiedene Gruppen an

Batterien mit unterschiedlichen Eigenschaften ist. Von den wohlbekanntesten Lithium-Knopfzellen bis zur äusserst seltenen Anwendung im medizinischen oder militärischen Bereich – die Bandbreite der LiMe-Batterien ist gross und so auch deren Gefahrenspektrum. Neben der hohen Energiedichte im Vergleich zu Lithium-Ionen-Batterien kommt es auch auf die Energiemenge und auf die Rahmenbedingungen an.

LiMnO₂ vs. LiSOCl₂

Zwei Kategorien von LiMe-Batterien sind, relativ gesehen, häufig vertreten, sodass sie in die SENS- und Swico-Sammelstellen und zu den Recyclingpartnern gelangen: Lithium-Mangandioxid (LiMnO₂) und Lithium-Thionylchlorid-Batterien (LiSOCl₂). LiMnO₂-Batterien: Diese findet man oft in Form von Knopfzellen sowie in AA- oder AAA-Batterien. Sie werden in Kameras, Uhren oder als Backup-Batterie für Speicherchips, aber auch oft in Defibrillatoren verwendet. Zerlegebetriebe und Sammelstellen treffen also täglich auf LiMnO₂-Batterien. LiMnO₂-Knopfzellen sind zwar oft gut versteckt, aber durch ihre flache Form und silberne Farbe einfach zu erkennen. Zylindrische LiMnO₂-Batterien werden in der Schweiz unter bekannten Markennamen wie Varta oder Duracell als Alternative zu klassischen Alkali-Batterien verkauft.

LiSOCl₂-Batterien: Diese oft zylindrischen Batterien werden in industriellen, ferngesteuerten und medizinischen Anwendungen eingesetzt. So befinden sich diese in Feuermeldern, Parkhaus-Anzeigen, Wasser-, Gas-, Heizungs- oder Stromzählern. Das sind keine besonders häufig vorkommenden Geräte. Doch wenn sie in Recyclingbetrieben vorkommen, dann oft gleich mehrmals, wenn zum Beispiel ein ganzes Gebäude renoviert oder saniert wurde. Bei LiSOCl₂-Batterien sind häufig vertretene Marken die Firma SAFT (weisse Farbe mit grüner Schrift) und Tadiran (violette Batterie). Andere in der Schweiz erhältliche Marken für LiSOCl₂ sind Jauch oder EVE. LiSOCl₂-Batterien sind meistens gefährlicher als LiMnO₂-Batterien, da sie eine höhere Menge an metallischem Lithium enthalten und schnell hochentzündliche und toxische Gase freisetzen können².



LiMe-Batterien aus einem Funk-Heizkostenverteiler (Foto: Carbotech)

Weitere Kategorien für LiMe-Batterien sind Lithium-Eisensulfid-Batterien (LiFeS₂), die im Bereich Fotografie eingesetzt werden (z.B. Marke Energizer). Die sehr gefährlichen Lithium-Schwefeldioxid-Batterien (LiSO₂) werden meistens im militärischen Bereich verwendet. Der Hersteller von SAFT verkauft auch LiSO₂-Batterien. Zudem werden Lithium-Iod-(Li-I₂) und Lithium-Kohlenstoffmonofluorid-Batterien (Li-(CF)_n) im medizinischen Bereich benutzt.



Heizmessgeräte werden zur Seite gelegt und beschriftet. (Foto: GADPlus)

LiMe-Gefahren bei der Demontage

Für Sabine Krattiger, Geschäftsführerin der Immark AG, besteht in der Praxis die Hauptgefahrenquelle durch LiMe-Batterien in der Demontage von Elektro- und Elektronikgeräten (EAG). Dort können «Monofractionen» entstehen. Mit Monofraction ist gemeint, dass mehrere ähnliche oder gleiche LiMe-Batterien zusammen gelagert werden.

Frau Krattiger berichtet von einem Fall in einem Zerlegebetrieb, der sie und ihre Mitarbeitenden geprägt hat: «Eine grössere Menge an Funk-Heizkostenverteiler wurde, wahrscheinlich nach einer Sanierung von Wohnungen, in einem Zerlegebetrieb schadstoffentfrachtet. Die demontierten, relativ kleinen zylindrischen Batterien wurden gemeinsam im Batteriefass in Vermiculit-Schichten gelagert. Trotz der Schichtung in Vermiculit muss ein Kontakt zwischen den Batterien stattgefunden haben. Als die Batterien reagierten, blieb das Fass geschlossen. Jedoch wurde es so heiss, dass die Holzpalette, auf der das Fass stand, zu brennen begann. Gewarnt hat uns nicht der Brandmelder, sondern der Einbrecherschutz. Denn im Fass hat es heftig geknallt. Wichtig und gut war in diesem Zusammenhang, dass unsere Mitarbeitende das Fass – wie vorgeschrieben –

¹ «Fire Hazard Analysis for Various Lithium Batteries» (pdf)

² «Amerex Lithium/Thionyl Chloride Battery (LiSOCl₂) Safety Data Sheet» (pdf)

³ «BU-106a: Choices of Primary Batteries» (pdf)

mit fest verschlossenem Deckel gelagert hatten. Dadurch konnte ein Ausbreiten des Brandes durch aus dem Fass springende Funken vermieden werden.» Um solchen Vorfällen vorzubeugen, haben Zerlegebetriebe begonnen, Lithium-Metallhaltige EAG in mehrfacher Ausführung zu separieren und klar zu beschriften.

Fliegende Knopfzellen

Da Knopfzellen in Elektro- und Elektronikgeräten allgegenwärtig sind, kann deren Ansammlung auch ausserhalb von Zerlegebetrieben vorkom-



Abgeklebte Lithium-Knopfzellen verhindern bei grösseren Mengen Kurzschlüsse (Foto: soRec)

men. So berichtete ein Supermarkt, dass beim Ersatz von Batterien in elektronischen Preislables viele Knopfzellen zusammen in einen Eimer geworfen wurden. Sehr schnell überraschte der durch Kurzschlüsse entstandene «Popcorn-Effekt» die Mitarbeitenden.

«Das ist auch unsere Erfahrung», berichtet Dieter Offenthaler, ehemaliger Geschäftsleiter von Batrec, heute selbstständiger Berater. «Wenn Lithium-Knopfzellen miteinander in direkten Kontakt kommen und Kurzschlüsse entstehen (beispielsweise in loser Schüttung), dann springen sie wie Knallfrösche durch den Raum. Befindet sich brennbares Material im Umkreis, kann sich so das Feuer schnell zu einem grossen Brand ausweiten.» Brennbares Material ist in einer Sammelstelle oder in einem Recyclingbetrieb meistens vorhanden: Kunststoffe, Papier, Holz, Altöl etc. Wenngleich die Menge Lithium pro Knopfzelle gering ist und entsprechend auch die entladene Energie, so sind die «explodierenden» Knopfzellen doch sehr heiss. Dort, wo die Knopfzelle hinspringt, kann schnell ein Brand ausgelöst oder ein Mensch verletzt werden.

Gefahren einschätzen

Für grössere Mengen Knopfzellen, die gleichzeitig anfallen, wird von allen Seiten empfohlen, die Knopfzellen abzukleben oder sie in dicken Schichten Vermiculit zu lagern, um Kurzschlüsse zu vermeiden. In Vermiculit besteht jedoch die Gefahr, dass die kleinen Knopfzellen beim Transport verrutschen und sich berühren. In jedem Fall ist es sehr wichtig, das Batteriefass zu schliessen, um einen allfälligen «Popcorn-Effekt» kontrollieren zu können.

Für Dieter Offenthaler ist es hingegen nicht sehr besorgniserregend, dass zylindrische LiMnO_2 -Batterien im gemischten Batteriefass zusammen mit Alkalibatterien landen. Denn auch im Fall eines Kurzschlusses besteht keine Nähe zu akut brennbarem Material.

Ganz anders sieht es für ihn bei den oft ebenfalls zylindrischen LiSOCl_2 -Batterien aus. Diese seien im Alltag der Recycler am gefährlichsten. Unter Druck durch Beschädigung oder bei einem Kurzschluss wird eine hohe Menge Energie freigesetzt. Dabei entstehen relevante Mengen an toxischen Gasen, wie unter anderen Schwefeldioxid (SO_2). «Man muss bei der Sortierung sehr gut aufpassen», warnt Markus Stengele (Leiter Qualität, Umwelt, Sicherheit bei SOREC Gossau SG). «Man kann sich bei den Symbolen auf den Batterien schnell täuschen. LiSO_2 -Batterien finden sich häufig in Defibrillatoren und sind mit dem durchgestrichenem Mülltonnensymbol und Pb für Blei gekennzeichnet. Die Kennzeichnung erfolgt aufgrund des Batteriegesetzes, weil die Batterie mehr als 0,004 Massenprozent Blei enthält. Dies hat zur Folge, dass so gekennzeichnete Batterien unter Umständen zu den Bleibatterien sortiert werden. Die Folge davon sind Transporte von Bleibatterien, die Lithiumbatterien enthalten.» Im Zweifel gibt auch das Gewicht der Batterie einen Hinweis, ob es sich bei der Batterie überhaupt um eine Pb-Batterie handeln kann – diese sind in der Regel deutlich schwerer als andere Batterien.

Auf Nummer sicher gehen

Die verschiedenen Typen LiMe-Batterien erhöhen also die Komplexität im Umgang mit Lithium-Batterien und das Spektrum der möglichen Gefahren und Ereignisse. Sie zu kennen und zu erkennen kann Schäden vorbeugen.

Einen Punkt können sich Mitarbeitende bei der Sammlung oder Demontage merken: Lieber auf Nummer sicher gehen. Dieter Offenthaler hält fest: «Bei Zweifeln hilft die Isolation der LiMe-Batterien in Sand oder viel Vermiculit. Das Abdecken oder Abkleben der freistehenden Pole vermeidet Kurzschlüsse, alternativ kann die Batterie auch einzeln in einen Plastikbeutel verpackt werden. Ein fest geschlossener Behälter beugt vor unkontrollierten Projektilen vor. Es darf in der Nähe von Menschen oder brennbarem Material kein Kontakt mit Wasser entstehen, da sich sonst hoch entzündlicher oder explosiver Wasserstoff bildet. Nur beim Batterierecycler, in kontrollierter Umgebung mit Fachpersonen und nach jeglicher Art von Transport, kann Wasser verwendet werden, um LiMe-Batterien zu fluten und so zu entladen.»

Die sehr gefährlichen LiSOCl_2 -Batterien kommen häufiger als erwartet vor. Hier gilt es, sich mögliche Anwendungen dieser Batterien zu merken und EAG, welche diese enthalten, vor der Demontage zu identifizieren und von Anfang an mit geeigneten Vorsichtsmassnahmen zu behandeln.



LiSOCl_2 -Batterien der Marken SAFT und Tadiran (Foto: Inobat)

Das Alter der Elektrogeräte im Recycling

Daniel Savi

Für die grossangelegte Kondensatorenstudie von SENS und Swico wurden über 3000 Kondensatoren aus Haushalt-Grossgeräten, Wärmeüberträgern und Mikrowellen gesammelt und klassiert. Die gewonnenen Daten ermöglichen unter anderem eine Altersbestimmung von Haushaltgrossgeräte und Wärmeüberträger im Recycling.

Kondensatoren erlauben Altersbestimmung

Für die Altersbestimmung wurde das Alter von 967 Kondensatoren aus Haushaltgrossgeräten und 183 Kondensatoren aus Wärmeüberträgern bestimmt. Dies ist möglich, weil auf diesen Kondensatoren oft das Herstellungsjahr aufgedruckt wurde. In der Fertigung von Elektro- und Elektronikgeräten werden die Lager seit Jahren so klein wie möglich gehalten. Es ist darum plausibel, wenn angenommen wird, dass die Geräte nicht wesentlich später produziert wurden als die Kondensatoren, die sie enthalten. In der Untersuchung wurden darum das Baujahr des Geräts mit dem Jahr der Kondensatorenherstellung gleichgesetzt.

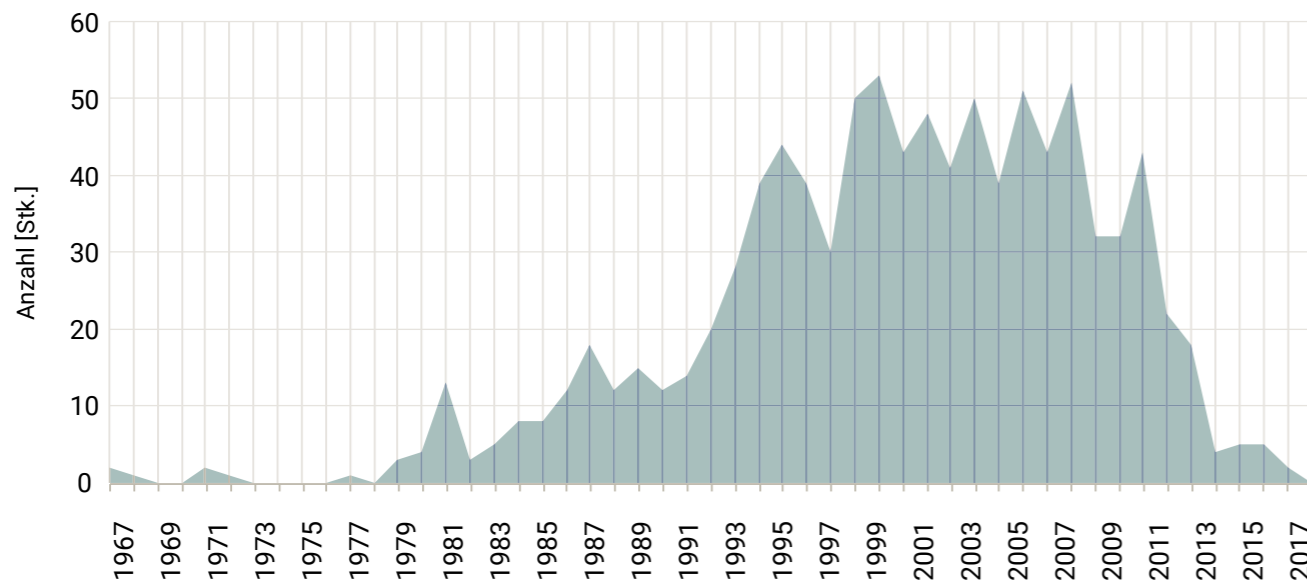
Haushaltgrossgeräte sind unterschiedlich lange in Gebrauch

Die Kategorie der Haushaltgrossgeräte umfasst Kochherde, Geschirrspüler, Waschmaschinen,

Tumbler und andere Geräte vergleichbarer Grösse. Die Kondensatoren stammen vorwiegend aus den erstgenannten Gerätetypen. In Abbildung 1 ist die Anzahl gefundener Kondensatoren für jedes Herstellungsjahr eingetragen. Es zeigt sich eine Spitze von zirka 1994 bis 2010. In dieser Zeitspanne befinden sich 75% der ausgewerteten Kondensatoren. Aus den Daten ergibt sich ein mittleres Kondensatorenalter von 17 Jahren. Weil die Proben 2017 genommen wurden, ergibt das einen mittleren Produktionszeitpunkt im Oktober 1999. Der älteste Kondensator in der Auswertung war 50 Jahre alt. Die Daten lassen sich weiter statistisch auswerten. Abbildung 2 zeigt die Daten innerhalb einer Normalverteilung. Damit lässt sich abschätzen, wie unsicher die Altersbestimmung in etwa ist. Dazu wurde die Standardabweichung der Daten berechnet. Diese beträgt rund acht Jahre. Die meisten Haushalt-

Abbildung 1: Die Herstellungsjahre der Kondensatoren in Haushaltgrossgeräten. Die Geräte wurden 2017 ins Recycling abgegeben.

Anzahl Kondensatoren aus Haushaltgrossgeräten



Verteilung Gerätealter SENS-Haushaltgeräte

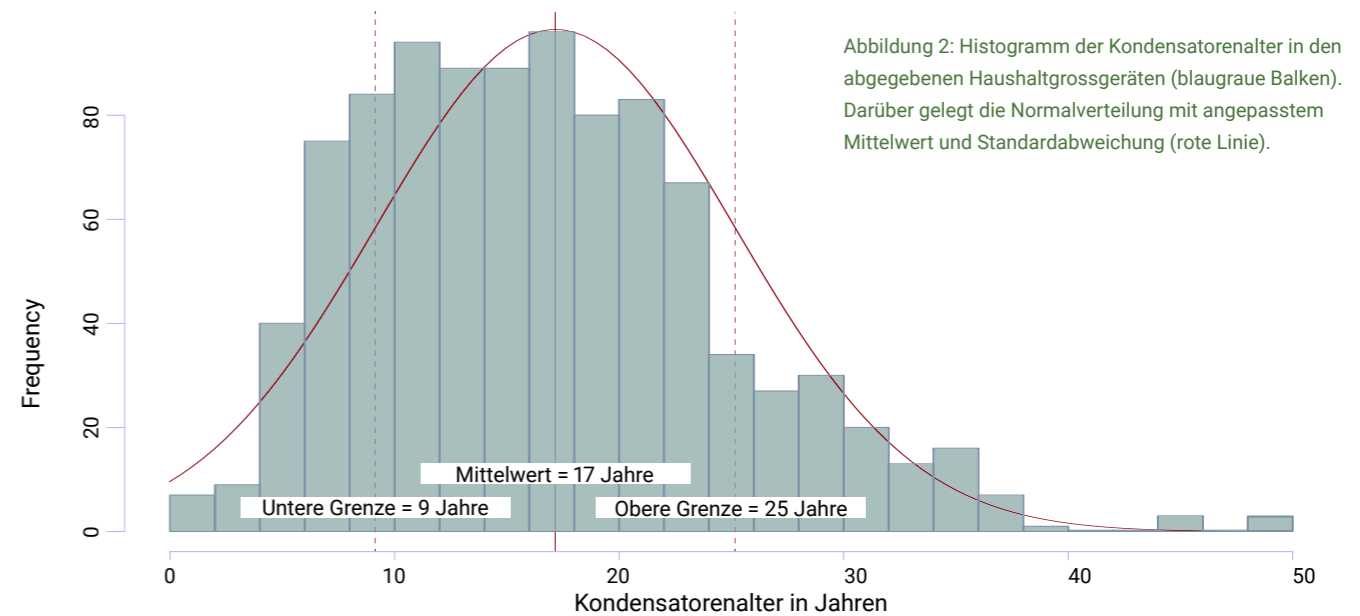


Abbildung 2: Histogramm der Kondensatorenalter in den abgegebenen Haushaltgrossgeräten (blaugraue Balken). Darüber gelegt die Normalverteilung mit angepasstem Mittelwert und Standardabweichung (rote Linie).

grossgeräte sind demnach zwischen 9 und 25 Jahre alt. Für die statistisch Interessierten sei noch erwähnt, dass auch eine Log-Normalverteilung an die Daten angepasst wurde. Die Übereinstimmung war jedoch nicht besser als für die Normalverteilung.

Kühlgeräte werden weniger alt als Haushaltgrossgeräte

Die zweite Auswertung wurde mit Kondensatoren vorgenommen, die in Wärmeüberträgern verbaut waren. Die Wärmeüberträger umfassen alle Geräte mit einem Kühlkreislauf. Dies sind zum grössten Teil Kühlschränke und Gefriergeräte. Es zählen aber auch Wärmepumpen-Tumbler oder ein Teil der Klimageräte zu dieser Klasse. Die Kondensatoren, die in die vorliegende Auswertung einfließen,

stammen jedoch fast vollständig aus Kühl- und Gefriergeräten. Deshalb sprechen wir im Folgenden nur über Kühlgeräte. Es zeigt sich, dass Kühlgeräte weniger alt werden als andere Haushaltgrossgeräte wie Waschmaschinen oder Kochherde. Im Mittel werden sie nach 14 Jahren ausgemustert. Die Berechnung der Standardabweichung ergibt eine Altersspanne von acht bis 21 Jahren, bis die Geräte ersetzt werden. Abbildung 3 zeigt das Alter der entnommenen Kondensatoren. Weil die Stückzahl wesentlich geringer ist als bei den Haushaltgrossgeräten, ist auch die Zuverlässigkeit der Ergebnisse kleiner. Das älteste Kühlgerät in der Altgerätesammlung war deutlich jünger als bei den Haushaltgrossgeräten. Es wurde nach 35 Jahren zur SENS-Sammelstelle gebracht.

Anzahl Kondensatoren aus Kühlgeräten

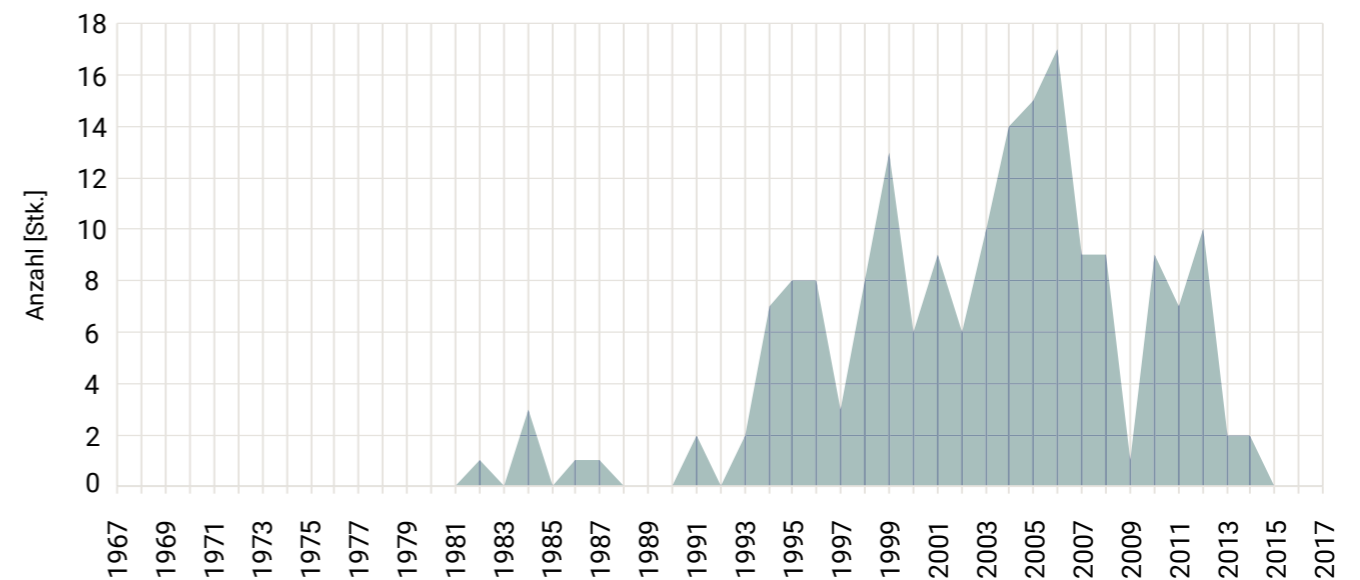


Abbildung 3: Die Baujahre der Kondensatoren in Kühlgeräten aus dem Recycling 2017. Das Jüngste war drei, das Älteste 35 Jahre alt.

«Pervasive Electronics» – die zunehmende Durchdringung unserer Alltagsgegenstände mit elektronischen Komponenten

Heinz Böni

Elektronische Komponenten durchdringen unser tägliches Leben immer stärker, oft ohne dass diese als elektronische Produkte wahrgenommen werden. E-Zigaretten, um nur ein Beispiel zu nennen, enthalten Akkus. Deren Sammlung und Entsorgung beschäftigt im Moment viele Rücknahmesysteme. Im Textilbereich halten «e-textiles» und «smart textiles» Einzug. Diese enthalten Elektronik und leitfähige Komponenten.

StEP¹, die internationale Initiative «Solving the e-waste problem» wurde 2004 gegründet. Sie bearbeitet in einer Arbeitsgruppe die Thematik unter der Bezeichnung «Pervasive Electronics». Bei der Entsorgung landen solche Gegenstände meistens nicht in den Sammelsystemen für Elektro- und Elektronikgeräte, sondern werden über den Hauskehricht oder Sperrgutsammlungen in Abfallverbrennungsanlagen entsorgt, wo die in der Elektronik enthaltenen Rohstoffe verloren gehen.

Wir kennen alle Produkte mit «pervasive electronics»: Glückwunschkarten, bei welchen eine Melodie ertönt, wenn sie geöffnet werden, Kinderschuhe mit einem Lichtspektakel beim Laufen, Skischuhe, welche vorgeheizt werden können, Möbel, welche den Körper massieren, und so weiter. Die Gründe für eingebettete elektrische, elektronische oder leitfähige Komponenten sind oft zusätzliche oder verbesserte Funktionalitäten oder die vielbeschworene «consumer convenience». Diese soll dem Anbieter Marktvorteile verschaffen. Eine klare Abgrenzung zwischen Produkten mit «pervasive electronics» und Elektro- und Elektronikgeräten (EEE) ist in vielen Fällen nicht möglich.

Meistens werden Energieträger und andere elektrische Komponenten dauerhaft in neue Produkte integriert, sodass sie nicht mehr entfernt oder ausgetauscht werden können. Diese Art von Design kann als «Einweg-Elektronik» bezeichnet werden. Das Produkt wird wahrscheinlich entsorgt, wenn dessen Funktion ausfällt. Darüber hinaus erschwert das Design die Identifizierung dieser Produkte als Elektro- und Elektronik-Altgeräte. Das führt dazu, dass die Endnutzer sie im falschen Abfallstrom entsorgen. Ausserdem fällt diese Produktgruppe in eine Grauzone, was die Abdeckung durch die Gesetzgebung betrifft.

Mit einer Masterarbeit, welche an der Universität für Bodenkultur Wien mit Unterstützung der Empa im Jahre 2022 durchgeführt wurde², konnten erste Grundlagen erarbeitet werden. Anhand einer breit abgestützten Internetrecherche auf Online-Verkaufsplattformen wurden die Produktgruppen mit eingebauten elektronischen Komponenten identifiziert und klassiert. Mittels eines Entscheidungsbaumes kann festgestellt werden, ob ein Produkt, welches bisher nicht als elektrischer oder elektronischer Abfall klassiert wurde, in die Kategorie «Pervasive Electronic Product» fällt.

¹ ↗ [StEP - solving the E-waste Problem – StEP Initiative](#)

² Masterthesis Universität für Bodenkultur: Definition, classification, and mapping of pervasive electronic products; submitted by Helene Steiner (2023)

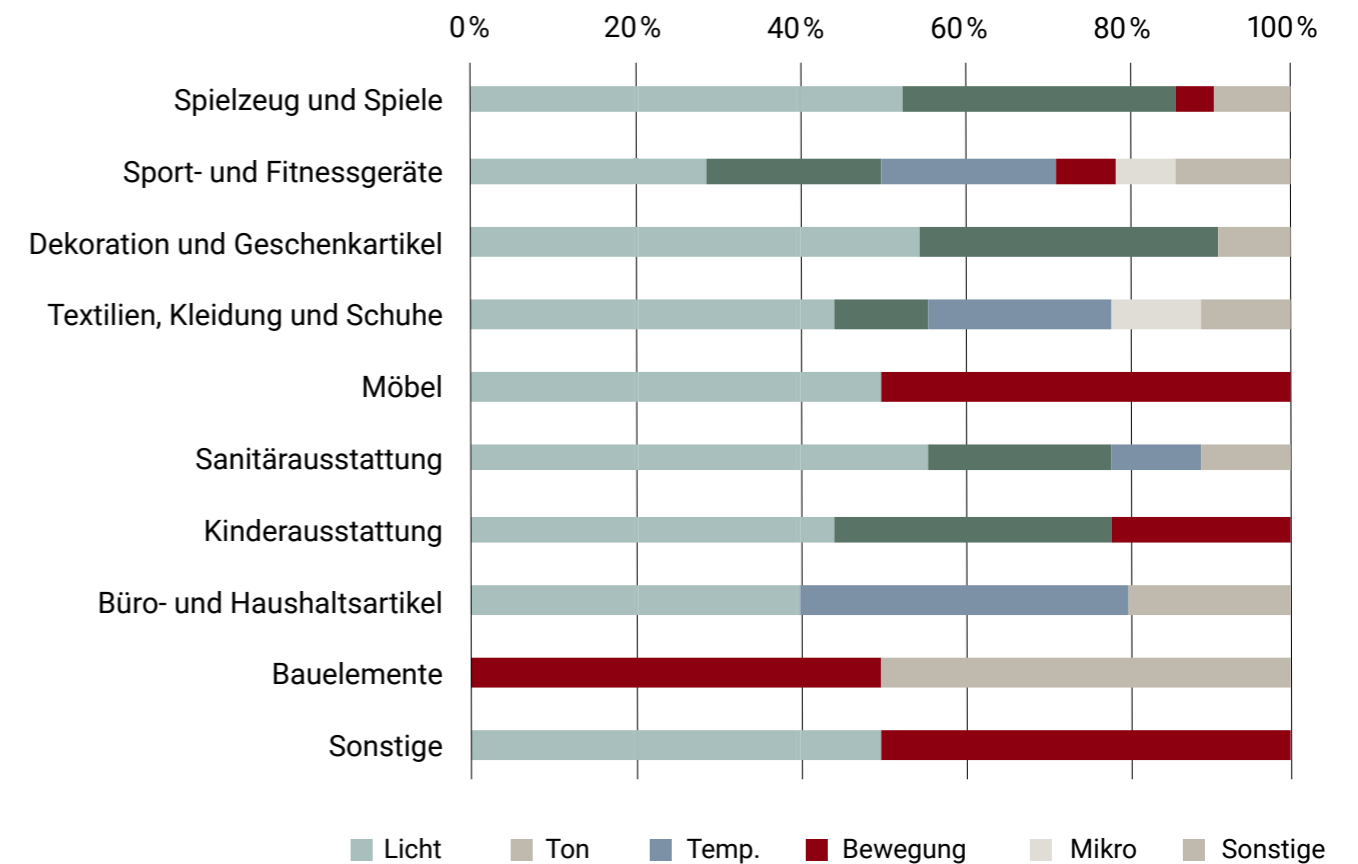


Abbildung 1: Produktgruppen und eingebaute Funktionalitäten (aus Masterarbeit Helene Steiner)

Die identifizierten zehn Produktgruppen und die darin eingebauten Funktionalitäten sind in Abbildung 1 dargestellt. Abbildung 2 zeigt die häufigsten Entsorgungsrouten.

Anhand eines Beispiels von Kinderschuhen wurde die Zusammensetzung eines Produktes mit eingebauter Elektronik bestimmt. Rund 8% des Schuhgewichts waren elektronische Komponenten wie Drähte, LED, Batterien, Kontakte und Stecker. In einem einzelnen Schuh ist relativ wenig Elektronik eingebaut. Solche Schuhe werden oft nur über kurze Zeit benutzt. Die hohe Verkaufszahl verdeutlicht deren Relevanz im Hinblick auf einen schonungsvollen Umgang mit endlichen Ressourcen.

StEP wird sich dieser Thematik weiter widmen³. Es ist auch eine weitere Masterarbeit geplant. Ebenso wird die Thematik der Sammlung und Entsorgung von e-Zigaretten im Rahmen des WEEE-Forums im Moment heiss diskutiert.

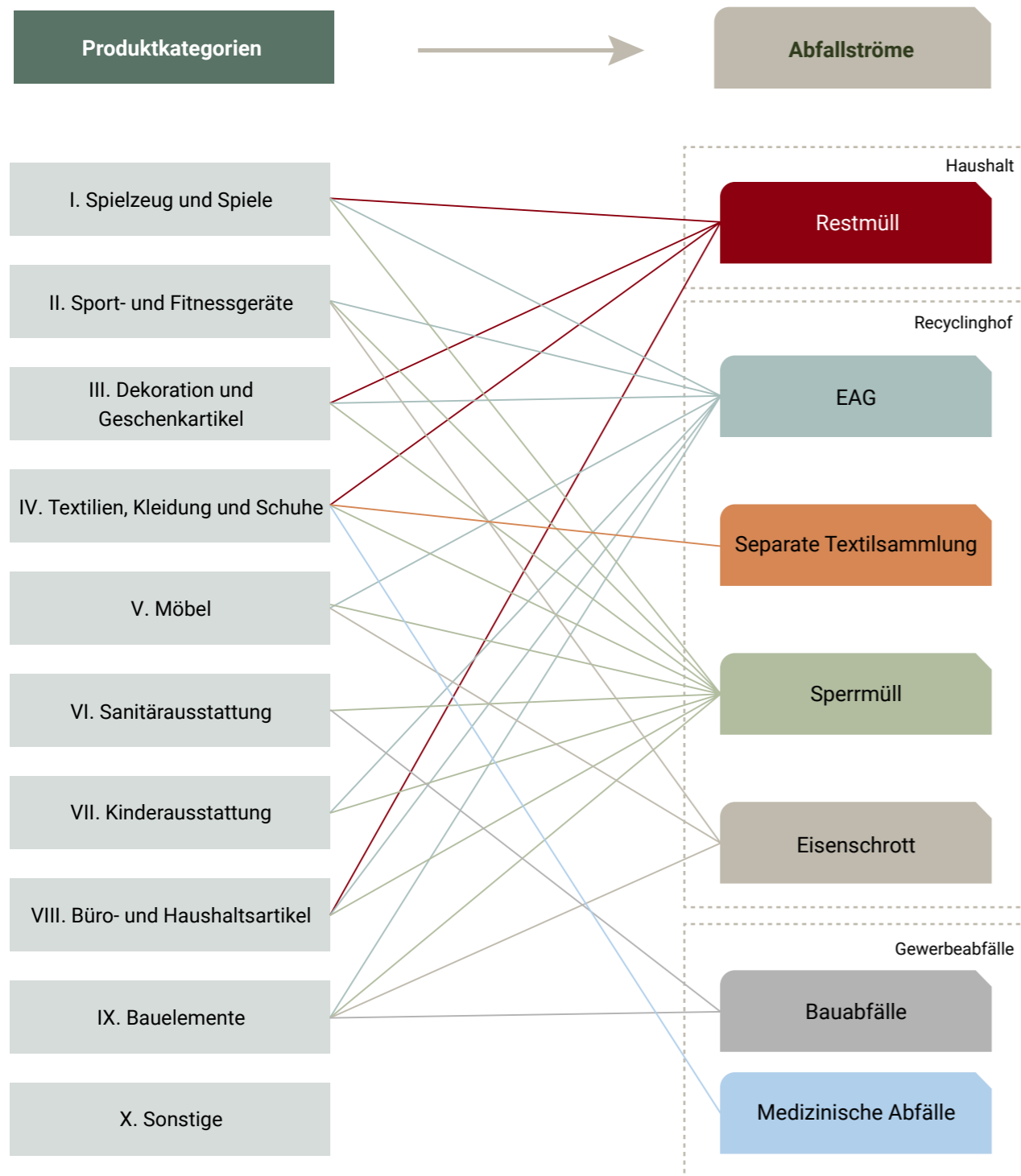


Abbildung 2: Entsorgungsrouten der Produkte mit eingebauter Elektronik (aus Masterarbeit Helene Steiner)



Materialrückgewinnung und Recyclingquoten bei Flachbildschirmen:
Abbildung SEQ Abbildung * ARABIC 1: Alte PCMonitore für die Weiterverarbeitung





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



Heinz Böni
Leiter Swico Konformitätsbewertungsstelle SN EN 50625, Empa
 Nach der Ausbildung zum Dipl. Kulturingenieur an der ETH Zürich sowie einem Nachdiplomstudium in Siedlungswasserbau und Gewässerschutz (NDS/EAWAG) arbeitete Heinz Böni als wissenschaftlicher Mitarbeiter bei der Eawag Dübendorf. Nachdem er Projektleiter am ORL-Institut der ETH Zürich und bei der UNICEF in Nepal gewesen war, übernahm Heinz Böni die Geschäftsführung des Büros der Kies und Abfall AG in St. Gallen. Danach war er mehrere Jahre Mitinhaber und Geschäftsführer der Ecopartner GmbH in St. Gallen. Seit 2001 ist er an der Empa und leitet dort die Gruppe CARE (Critical Materials and Resource Efficiency). Seit 2007 Kontrollexperte von Swico und seit 2009 Leiter der Technischen Kontrollstelle von Swico Recycling.



Stefanie Conrad
TK SENS, Carbotech AG
 Stefanie Conrad schloss ihren Master in Umweltnaturwissenschaften an der ETH Zürich ab. Nach ihrem Abschluss arbeitete sie an Umweltprojekten mit Schwerpunkt auf Altlastensanierung und Dekontamination, Gebäudeschadstoffe und Umwelt-Audits. Seit 2020 ist Stefanie bei der Firma Carbotech AG tätig. Sie befasst sich unter anderem mit dem Thema Recycling und Mobilität im Bereich Ökobilanzen, berät Unternehmen in ihrer Nachhaltigkeitsstrategie und führt Umweltaudits durch. Seit 2021 ist sie Mitglied der TK SENS und Auditorin für Zerlegebetriebe und Sammelstellen von SENS und Swico.



David Wampfler
E-Waste Manager u. Standortleiter Moudon/Groupe BAREC
 David Wampfler ist in einer Recycling-Familie aufgewachsen und lernte so schon früh das Handwerk des Recyclings kennen. Seit 2004 arbeitet er in der Recycling-Branche und hat u.a. die Ausbildung zum Recyclisten abgeschlossen. Er sammelte Erfahrungen in den Bereichen Fe- und Ne-Metalle, Elektro- und Elektronikschrott, Verarbeitungs- und Aufbereitungsprozesse, sowie im Handel. Auch hat er sich stetig weitergebildet, vor allem im Metallurgie- und Umweltbereich und dozierte Auszubildende, sowie Mitarbeitende der Recycling-Branche. Er ist seit 2021 Mitarbeiter der Groupe BAREC bei Thévenaz-Leduc SA, verantwortlich für E&E Schrott und die Verarbeitung Hg- und LED-haltiger Leuchtmittel und Flachbildschirme.



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



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



Pascal Leroy
Generaldirektor des WEEE-Forums seit 2007 – Er ist für die allgemeine Leitung des Verbands verantwortlich. Seit 20 Jahren beteiligt Pascal Leroy sich an zahlreichen Programmen, Richtlinien und Projekten im Bereich Elektroschrott. Zuvor war er als Government Affairs Manager für Elektro- und Elektronik-Altgeräte bei APPLiA tätig, dem europäischen Verband der Haushaltsgerätehersteller. Darüber hinaus war er 5 Jahre beim Europäischen Parlament tätig und hat für Hill and Knowlton, eine der grössten PR/PA-Firmen, gearbeitet. 1994 wurde er im Alter von 26 Jahren von der Fondation du Mérite Européen mit einer Bronzemedaille für seine europäische Leistung ausgezeichnet.



Manuele Capelli
Swico Konformitätsbewertungsstelle SN EN 50625, Empa
 Manuele Capelli studierte Umweltnaturwissenschaften sowie Management, Technology, and Economics (MTEC) an der ETH Zürich. Durch ein Hochschulpraktikum am World Resources Forum (WRF) mit der Empa sammelte er erste Erfahrungen im Bereich Elektroschrott. Seit 2021 arbeitet er an der Empa als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Technologie und Gesellschaft. Seine Arbeit umfasst Projekte zur Kreislaufwirtschaft und Recyclingsystemen und die Unterstützung von Projekten zum Aufbau von Elektroschrottrecyclingsystemen in Entwicklungs- und Schwellenländern. Er ist Mitglied der TK Swico und führt seit 2022 Audits durch.



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



Charles Marmy
Swico Konformitätsbewertungsstelle SN EN 50625, Empa
 Nach dem Studium der Umweltingenieurwissenschaften an der ETH Lausanne begann Charles Marmy 2016 seinen Werdegang in einem Beratungsingenieurbüro in der Westschweiz. Dort war er zunächst als Mitarbeiter, später als Projektleiter von Projekten im Umweltbereich tätig. Sein Augenmerk galt dem Abfallmanagement und der Problematik der Endlagerung sowie den institutionellen und finanziellen Aspekten der Abfallwirtschaft in der Schweiz und im Ausland. Seit 2020 arbeitet er im Departement Technologie und Gesellschaft der Empa, wo er an Projekten im Bereich angewandter Forschung beteiligt ist bzw. sie durchführt. Das Abfallmanagement bleibt sein Fachgebiet, jetzt unter dem Aspekt der Kreislaufwirtschaft und dem Recycling seltener Metalle, die aus Batterien und Elektroschrott wiedergewonnen werden. Er ist Mitglied der TK SENS/Swico und führt seit 2021 Audits der Swico Recycler durch.



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



Kirsten Remmen
Wissenschaftliche MA, Empa
 Kirsten Remmen arbeitet als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Empa in der Abteilung Technologie und Gesellschaft. Dort beschäftigt sie sich mit der Verfügbarkeit und Recyclingfähigkeit von Sekundärrohstoffen aus verschiedenen Abfallströmen, um so eine faktenbasierte Kreislaufwirtschaft zu ermöglichen. Nach ihrem Maschinenbaustudium an der RWTH Aachen hat sie Membranen zur Rückgewinnung von Ressourcen aus verschiedenen sauren Abwasserströmen entwickelt.



Andreas Bill
Swico Konformitätsbewertungsstelle SN EN 50625, Empa
 Andreas Bill schloss seinen Master in Energiemanagement und Nachhaltigkeit an der ETH Lausanne ab und sammelte anschliessend als Zivildienstleistender an der Empa erste Erfahrungen im Bereich Elektroschrott. Seit 2019 arbeitet er dort als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Technologie und Gesellschaft. Seine Kernaufgabe ist die Unterstützung von Projekten zum Aufbau von Elektroschrottrecyclingsystemen in Entwicklungs- und Schwellenländern. Er ist Mitglied der TK Swico und auditiert seit 2020 Swico Recycler.



Fabian Elsener
Carbotech AG
 Fabian Elsener schloss sein Bachelorstudium in Wirtschaftsingenieurwesen an der Ostschweizerfachhochschule in Rapperswil ab. Aktuell befindet er sich im Masterstudium in Umwelt und natürliche Ressourcen mit Vertiefung Ökotechnologie und Ökobilanzierung an der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaft in Wädenswil. Während seinem Praktikum bei V-ZUG kam er das erste Mal mit dem Recyceln von Elektro- und Elektronikaltgeräten in Kontakt, indem er einen Batchversuch für V-ZUG begleitete. Seit Sommer 2021 arbeitet er in der Abteilung Umweltberatung der Carbotech AG und führt hauptsächlich Ökobilanzen von technischen Produkten und Systemen durch.



Andrea Wehrli
Projektleiterin e-conseg, Empa
 Dea Wehrli arbeitet als wissenschaftliche Mitarbeiterin bei der Empa, v.a. zu Themen der Kreislaufwirtschaft, darunter das Projekt e-conseg und die Entwicklung des ISO-Standards 59014 zu Secondary Materials. Auch ist sie Mitgründerin von [co]work, das einen Co-Working Space für informelle Elektroschrottzurleger in Indien aufbaut, und eines Unverpackt-Ladens in Zürich. Dea verfügt über einen Masterabschluss in Umweltwissenschaften der ETH Zürich und war nach ihrem Praktikum bei Swiss Recycling als Abfall- und Recyclingspezialistin für das WEF tätig. Während ihrer Arbeit für UN-IETC, ISWA und Sofies konnte sie auch Erfahrungen in Bereichen der CO₂-Emissionen aus der Abfallwirtschaft, Einweg-Plastikabfallverordnungen und Recyclingsystemen sammeln.



Thekla Scherer
TK SENS, IPSO ECO AG
 Thekla Scherer studierte an der ETH in Zürich Umweltnaturwissenschaften. Nach dem Studium arbeitete sie 10 Jahre in einem Ingenieurbüro mit dem Hauptfokus auf Luftreinhaltung und Energie. Seit 2016 arbeitet sie bei der IPSO ECO AG in Rothenburg. Sie erarbeitet dort als Projektleiterin Umweltverträglichkeitsberichte und ist dazu als Umweltbaubegleiterin auf Baustellen unterwegs. Als Allrounderin deckt sie ein grosses Spektrum von Umweltthemen ab, so z.B. die Themen Abfälle, umweltgefährdende Stoffe und Entsorgung. Seit 2021 ist sie Mitglied der TK von SENS und Auditorin mit Spezialisierung auf Kühlgeräterecyclingbetriebe.

Internationale Links

➤ www.weee-forum.org

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

➤ www.step-initiative.org

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

➤ www.basel.int

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

➤ www.weee-europe.com

Die WEEE Europe AG ist ein Zusammenschluss aus 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

➤ www.swicorecycling.ch

➤ www.swissrecycling.ch

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

➤ 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 Auditing 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

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

Kantone mit delegiertem Vollzug

➤ www.awel.zh.ch

Auf der Website 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

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

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

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

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

➤ www.interkantlab.ch

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

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

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

Kontakte**Swico**

Lagerstrasse 33
8004 Zürich
Telefon +41 44 446 90 94
✉ info@swicorecycling.ch
➤ www.swicorecycling.ch

Stiftung SENS

Obstgartenstrasse 28
8006 Zürich
Telefon +41 43 255 20 00
✉ info@eRecycling.ch
➤ www.eRecycling.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

Swico Konformitätsbewertungsstelle

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

➔ [Anfang](#)

Impressum**Herausgeberin**

Swico,
Stiftung SENS

Der Fachbericht erscheint auf Deutsch, Englisch und Französisch und ist unter www.swicorecycling.ch und www.eRecycling.ch als Online-Publikation sowie als PDF downloadbar.

Konzept, Grafik:

Franziska von Aesch, Swico
➤ [Tabea Guhl](#), ➤ [Lara Lone](#), Elena Cortiula

© 2023 Swico, SENS

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