

Swico, SENS, SLRS

Fachbericht 2013



Schrittmacher in Europa

Die EU-Direktive WEEE II macht mit dem Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten Ernst. Im Vergleich zur EU Direktive WEEE I werden spürbar anspruchsvollere Sammelquoten vorgeschrieben: Ab 2016 müssen mindestens 45 % der auf einem nationalen Markt verkauften Geräte den Weg ins Recycling finden. Ab 2019 werden die Anforderungen noch strenger, die Vorgabe liegt dann bei 65 %. Die Schweiz schreibt keine solchen verbindlichen Sammelquoten vor. Heisst das, dass unser Land der EU in Sachen Altgeräte-Recycling hinterher hinkt? Wenn man den Umfang der Regulierung als Massstab nimmt, dann vielleicht ja. Wenn es jedoch darum geht, was die Rücknahmesysteme leisten, dann sind wir in der Schweiz gegenüber den meisten Ländern der EU weit voraus, erreichten wir doch im Jahr 2012 eine Sammelquote von weit über 75 %.

Die Länder der EU haben allerdings bezüglich Sammelquoten eine ungleich schwierigere Aufgabe zu lösen als die Schweiz: Erstens gibt es grosse kulturelle Unterschiede, welche Separatsammlungen erleichtern oder erschweren. Zweitens sind unsere Grenzen für den Warenverkehr nicht vollständig geöffnet, was den Zollbehörden eine bessere Kontrolle der Exporte ermöglicht. Drittens verfügen wir als Binnenland nicht über Überseehäfen, welche oft bei illegalen Exporten eine grosse Rolle spielen. Und viertens verfügen wir über ein Netz von mehreren tausend Sammelstellen, das dem Konsumenten ermöglicht, Altgeräte ohne viel Aufwand abzugeben.

Europa ist in vielerlei Hinsicht ein wichtiger Referenzpunkt für die Rücknahmesysteme SENS, Swico und SLRS. Wir engagieren uns nicht nur aktiv als Mitglieder des WEEE-Forums, des europäischen Verbunds der Rücknahmesysteme, sondern waren auch wesentlich daran beteiligt, dass mit WEEELABEX nun ein europäischer Standard entwickelt wurde, der schon sehr bald als offizielle CEN-Norm allgemein verbindlich werden soll. Und wir sind sehr froh (und auch nicht ganz unschuldig), dass die neue Normierung nicht in Richtung des kleinsten gemeinsamen Nenners geht, sondern dass sie hohe Ansprüche an die Qualität festschreiben wird.

In der Schweiz wird die Zusammenarbeit der drei Systeme wie in den vergangenen Jahren im operativen Bereich dort weiter verstärkt, wo Synergieeffekte erzielt werden können. Anspruchsgruppen, die mit den drei Systemen zusammen arbeiten, sollen wenn möglich zusammen oder zumindest einheitlich angesprochen werden. So werden wir kosteneffizienter und können nicht gegeneinander ausgespielt werden. Aus diesem Grund haben wir letztes Jahr erstmals einen gemeinsamen Fachbericht herausgegeben. Das Feedback war so positiv, dass wir diese Publikation auch dieses Jahr gemeinsam herausgeben.

Jean-Marc Hensch
Swico

Patrick Lampert
Stiftung SENS

Silvia Schaller
SLRS

INHALT

3	Stiftung SENS, Swico, SLRS: Kompetent und nachhaltig
5	Kunststoffe als Schwerpunkt
7	Public-Private-Partnership
9	Europäische Norm für E & E-Altgeräteentsorgung – ein Standard mit Schweizer Wurzeln
12	Lohnt sich die Rückgewinnung kritischer Metalle aus Elektronikschrott?
14	Die verarbeiteten Mengen haben erneut zugenommen
17	Marktsättigung beim Kühlgeräterecycling weiterhin nicht absehbar
19	Verwertung von tonerhaltigen Abfällen
22	Quecksilber aus Energiesparlampen
25	Photovoltaik im Trend – Recycling von Solarzellen
27	Entsorgung von Automobilelektronik
31	Links, Kontakt, Impressum

Stiftung SENS, Swico, SLRS: Kompetent und nachhaltig

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

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

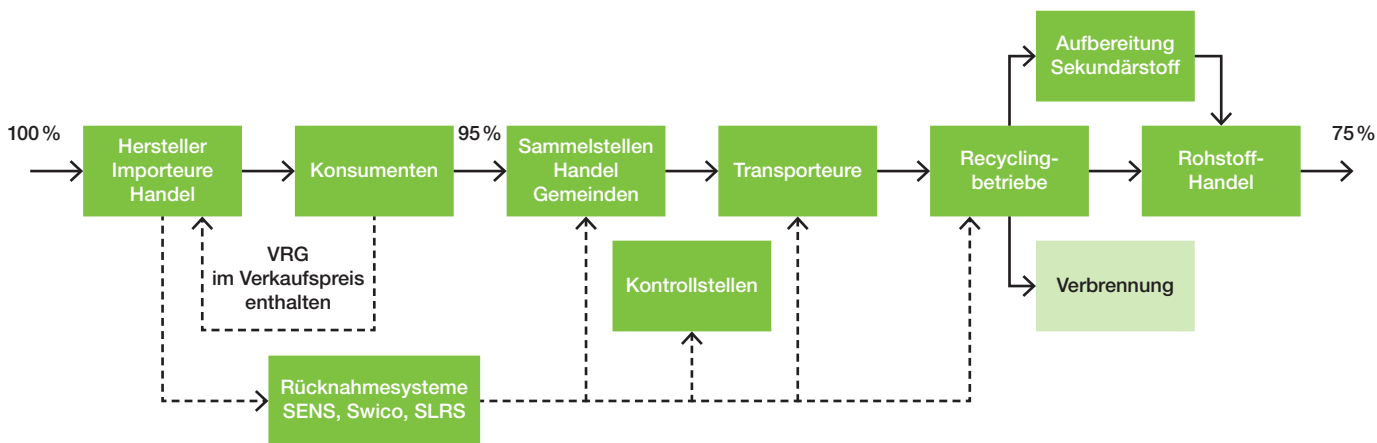
Im Jahre 2012 wurden von den drei Systemen über 129'000 Tonnen¹ ausgediente elektrische und elektronische Geräte entsorgt. Damit haben Swico, die Stiftung SENS und SLRS auch bedeutend dazu beigetragen, dass wertvolle Ressourcen wieder in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden konnten. Mit der internationalen Vernetzung der drei Organisationen auf europäischer Ebene – beispielsweise als Mitglieder des WEEE-Forums (Forum for Waste Electrical and Electronic Equipment) – helfen sie mit, auch grenzüberschreitend Massstäbe beim Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten zu setzen.

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

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

¹ Es handelt sich um die Menge gemäss den Stoffflussmeldungen der Recyclingbetriebe. Diese ist nicht gleichbedeutend mit der abgerechneten Menge gemäss den Geschäfts- respektive Jahresberichten von SENS und Swico Recycling.

Die Rücknahmesysteme im Überblick



→ Materialflüsse - - - → Finanzflüsse VRG: Vorgezogene Recyclinggebühr

Swico

Swico Recycling ist ein Spezialfonds innerhalb des Verbands für die digitale Schweiz 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 bei Geräten aus den Bereichen Informatik, Unterhaltungselektronik, Büro, Telekommunikation, grafische Industrie sowie Mess- und Medizinaltechnik, wie beispielsweise Kopierer, Drucker, Fernsehapparate, MP3-Player, Handys, Fotokameras etc. Eine enge Zusammenarbeit mit der Empa, einer Forschungs- und Dienstleistungsinstitution für Materialwissenschaften und Technologieentwicklung innerhalb des ETH-Bereichs, trägt entscheidend dazu bei, dass Swico hohe und schweizweit einheitliche Qualitätsstandards bei allen Entsorgungsdienstleistungen durchsetzen kann.

Stiftung SENS

Die Stiftung SENS ist eine unabhängige, neutrale und nicht gewinnorientierte Stiftung und tritt gegen Aussen mit der Marke SENS eRecycling auf. Ihr Fokus liegt auf der Rücknahme, der Wiederverwertung und der Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten der Bereiche Haushaltklein- und Haushaltgrossgeräte, Bau-, Garten- und Hobbygeräte sowie Spielwaren. Dazu arbeitet die Stiftung SENS eng mit spezialisierten Netzwerken zusammen, in denen die am Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten beteiligten Parteien vertreten sind. In Kooperation mit ihren Partnern setzt sich die Stiftung SENS dafür ein, dass das Recycling dieser Geräte im Einklang mit ökonomischen und ökologischen Grundsätzen stattfindet. Im Laufe des Jahres 2012 hat die Stiftung SENS erreicht, dass die Menge an recycelten Kühl-, Gefrier- und Klimageräten nochmals gewachsen ist und damit wie bereits im Vorjahr weiter zugenommen hat. Eine Sättigung beim Volumen der recycelten Kühlgeräte ist immer noch nicht festzustellen.

Stiftung Licht Recycling Schweiz (SLRS)

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

Kunststoffe als Schwerpunkt

Die gemeinsame Technische Kommission von Swico und von der Stiftung SENS hat sich im Jahr 2012 in besonderem Masse der Kunststoffthematik gewidmet. Wie im Fachbericht 2011 aufgezeigt wurde, hat sich die stoffliche Verwertung von Kunststoffen in den vergangenen Jahren erfreulicherweise stark erhöht: Im Jahre 2011 wurden rund 16'000 t Kunststoffe aus Elektro- und Elektronikaltgeräten einer stofflichen Verwertung zugeführt. Dabei ist sicherzustellen, dass die Verwertung nach den geltenden Umweltvorschriften und nach den Technischen Vorschriften von Swico und der Stiftung SENS erfolgt. Deshalb wurde auf Kunststoffverwerter im Jahre 2012 ein besonderes Augenmerk gelegt.

Die 10-köpfige Technische Kommission von Swico und von der Stiftung SENS trifft sich vier Mal jährlich zu einer ganztägigen Sitzung. Zusätzlich wird jeweils die Herbstsitzung mit einer Weiterbildung ergänzt. An den Sitzungen werden die Resultate der Audits besprochen und aufgetauchte Fragen diskutiert. Die technischen Vorschriften und deren einheitliche Anwendung sind ebenfalls regelmässig Gegenstand der Sitzungen. Falls erforderlich, werden Anpassungen an die Vorschriften geprüft und den Systemen entsprechende Änderungen vorgeschlagen. Es wird auch festgelegt, welche Zweitabnehmer, d.h. Abnehmer von Fraktionen aus der Erstverarbeitung bei den Recyclingpartnern von Swico und der Stiftung SENS, jeweils zusätzlich auditiert werden müssen. In der Regel wird dabei ein inhaltlicher Schwerpunkt festgelegt. Im Jahre 2012 lag dieser bei den Abnehmern von Kunststoffen aus der Verarbeitung von Elektro- und Elektronikgeräten.

Zweitabnehmerkontrollen

Die schweizerischen Recyclingpartner müssen der TK Swico/SENS jährlich detaillierte Angaben zu ihren Materialflüssen liefern, welche anlässlich der Audits diskutiert und überprüft werden. Damit ist lückenlos dokumentiert, welche Fraktionen aus der Erstverarbeitung an welche (meist ausländischen) Verarbeitungspartner weitergeleitet werden. Dies erlaubt der Technischen Kommission die Identifikation neuer Abnehmer. So wurden 2012 je ein neuer Verarbeitungspartner in Deutschland und in Holland

identifiziert und auditiert, nachdem im Vorjahr ein kunststoffverarbeitender Betrieb in Österreich kontrolliert wurde. Schwerpunkt der Zweitabnehmeraudits ist – ähnlich wie bei den Audits der schweizerischen Recyclingpartner – die Überprüfung der Gesetzeskonformität und der Einhaltung der Technischen Vorschriften Swico/SENS. Dazu gehört auch die Nachverfolgung und Kontrolle der Mengen, welche die schweizerischen Recyclingpartner in ihren Materialflussmeldungen deklariert haben. Die Zweitabnehmer sind verpflichtet nachzuweisen, wohin sie ihre Fraktionen weiterleiten. Das kann entweder direkt ein Hersteller von neuen Produkten oder ein nachgelagerter weiterer Verarbeiter sein.

An den Übergang vom Abfall in ein Produkt werden klare Anforderungen gestellt. Ein Abfallkunststoff wird erst dann zu einem neuen Produkt, wenn er in Europa die Anforderungen der Chemikalienverordnung (REACH) erfüllt. Wird der Kunststoff in einem neuen Elektro- oder Elektronikprodukt eingesetzt, ist zusätzlich die EU-Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (RoHS-Richtlinie) einzuhalten. In der Schweiz sind die Bestimmungen in sinngemässer Form in der Chemikalien-Risiko-Reduktionsverordnung (ChemRRV) festgelegt. Die Gesetzgebung legt das Schwergewicht auf bromierte Flammschutzmittel und einzelne Schwermetalle. Die zur Anwendung gelangenden Prozesse in der Kunststoffaufarbeitung müssen sicherstellen, dass Kunststoffe, welche wieder in den Produktkreislauf zurückge-

führt werden sollen, die Anforderungen erfüllen. Falls die ausländischen Betriebe die Technischen Vorschriften von Swico und der Stiftung SENS nicht einhalten, kann dem schweizerischen Recyclingpartner die Zulieferung an diesen Betrieb verwehrt werden. Dies ist aber glücklicherweise nur sehr selten der Fall. Meistens sind eher geringfügige Anpassungen notwendig, welche im Auditprotokoll festgehalten und anschliessend überprüft werden. Das Protokoll des Audits gelangt an den ausländischen Recyclingpartner und an die Stiftung SENS. Es wird weder an andere Empfänger weitergegeben, noch wird gegen aussen kommuniziert, welches die ausländischen Abnehmer der schweizerischen Recyclingpartner sind, da deren Auswahl letztlich ein Wettbewerbsbestandteil ist. Zentral ist jedoch, dass der schweizerische Recyclingpartner von Swico und von der Stiftung SENS «... dafür verantwortlich (ist), dass die in seinem Auftrag arbeitenden Zerlegebetriebe und Abnehmer von Fraktionen für die externe Weiterverarbeitung die in den technischen Vorschriften festgelegten Anforderungen ebenfalls erfüllen.» (Auszug aus den Technischen Vorschriften).

Permanente Weiterbildung

Die Weiterbildung der Technischen Kommission war im vergangenen Jahr ebenfalls dem Thema Kunststoff gewidmet. Dabei wurde die Ökobilanz des Elektro- und Elektronikschrottrecyclings dargelegt und diskutiert. Wissenschaftliche Untersuchungen der Empa haben gezeigt, dass eine Bereitstellung von sekundären Kunststoffen aus der Aufbereitung von Elektro- und Elektronikschrott ca. um Faktor 3 geringere Umweltbelastungen erzeugt, als die Bereitstellung der gleichen Menge an Rohstoffen aus primären Kunststoffen. An die Weiterbildung wurde auch ein externer Gastreferent, Chris Slijkhuis (vormals MBA Polymers), beigezogen, der die Bedeutung und die Risiken der Verwertung von Kunststoffen aus gesamteuropäischer Sicht darstellte.



Heinz Böni

Nach der Ausbildung zum Dipl. Kultur-Ingenieur 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 war, übernahm Heinz Böni die Geschäftsführung des Büros für Kies+Abfall AG in St. Gallen. Danach war er mehrere Jahre Mitinhaber und Geschäftsführer der EcoPartner GmbH St. Gallen. Seit 2001 ist er an der Empa und leitet dort die Gruppe «CARE-Critical Materials and Resource Efficiency» sowie ad interim die Abteilung Technologie und Gesellschaft. Er ist seit 2009 Leiter der Technischen Kontrollstelle von Swico Recycling sowie seit 2007 Kontrollexperte von Swico und der Stiftung SENS.



Roman Eppenberger

Roman Eppenberger schloss sein Studium als dipl. El. Ing ETHZ ab. Berufsbegleitend absolvierte er ein Nachdiplomstudium Executive MBA in der Fachhochschule Ostschweiz. Die ersten Industrierfahrungen machte er als Ingenieur und Projektleiter in der Branche «Robotik für Medizin und Pharmazie». Als Produktmanager wechselte er in den Contactless-Bereich der Firma LEGIC (KABA), wo er für den weltweiten Einkauf der Halbleiterprodukte verantwortlich war. Seit 2012 ist Roman Eppenberger bei der Stiftung SENS als Geschäftsleitungsmitglied angestellt und leitet den Bereich Operations. In dieser Funktion koordiniert er zusammen mit Heinz Böni die Technische Kommission Swico/SENS.

Public-Private-Partnership

Die Kantone Aargau, Thurgau und Zürich haben den Vollzug der Kontrollen bei Recycling- und Zerlegebetrieben von elektrischen und elektronischen Geräten an die Rücknahmesysteme delegiert. Dieses Modell ist für alle Beteiligten sinnvoll. Neben den Kantonen, die ihre schmalen personellen Ressourcen schonen können, sind vor allem die Recycling- und Zerlegebetriebe dankbar, wenn sie nicht von zwei verschiedenen Parteien betreffend (weitgehend) identischer Prüfpunkte auditiert werden. Es lohnt sich deshalb, einen genaueren Blick auf diese Form der Zusammenarbeit zu richten.

Um die umweltgerechte Entsorgung der ausgedienten Geräte sicherzustellen, nehmen die Rücknahmesysteme Entsorgungs- inkl. Zerlegebetriebe sowie Sammelstellen unter Vertrag. Diese müssen im Besitz einer kantonalen Bewilligung zur Entgegennahme und Verarbeitung von elektrischen und elektronischen Geräten nach Art. 8 der Verordnung über den Verkehr mit Abfällen vom 22. Juni 2005 (VeVA)¹ sein. Damit übernehmen die Rücknahmesysteme die Aufgabe, welche in Art. 5 der Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte vom 14. Januar 1998 (VREG)² den Herstellern, den Importeuren und dem Handel dieser Geräte übertragen wurde. Die Finanzierung der Entsorgung erfolgt durch eine freiwillige, gesetzlich nicht vorgeschriebene vorgezogene Recyclinggebühr (VRG) auf Neugeräten.

Kontrolltätigkeit als Kernaufgabe der Systeme

Die Systeme organisieren und überwachen die Rücknahme und die fachgerechte Entsorgung der Geräte. Zu ihren Kernaufgaben gehört auch die Überwachung und Kontrolle der Entsorgungsbetriebe, basierend auf den gesetzlichen Grundlagen sowie eigens dafür entwickelten Technischen Vorschriften. Die Kontrollen umfassen die Recyclingbetriebe und ihnen zugeordnete Zerlegebetriebe. Bei den Recyclingpartnern führen die Kontrollstellen der Rücknahmesysteme mindestens einmal jährlich ein Audit durch. Die Recyclingpartner sind auch für den umweltgerechten Betrieb der vertrag-

lich mit ihnen gebundenen Zerlegebetriebe zuständig. Bei diesen führen die Kontrollstellen die Betriebskontrollen in der Regel alle 2 Jahre durch. Bei den Sammelstellen führen geschulte Mitarbeiter der Systeme die Audits durch.

Die Kontrollaufgaben der öffentlichen Hand

Gemäss Art. 8 VeVA benötigen Betriebe, die Geräte zur Entsorgung entgegennehmen, eine Bewilligung des Standortkantons. Diese legt die Art der Entsorgung sowie die Art und den Umfang der Meldungen über die entsorgten Geräte fest. Zudem umfasst die Bewilligung soweit nötig betriebspezifische Auflagen, wenn dies für die Sicherstellung der umweltverträglichen Entsorgung der Geräte nötig ist. Im Rahmen dieser Bewilligung werden auch die Grundsätze zur Durchführung der wiederkehrenden Kontrollen festgelegt.

Gemäss Art. 43 Umweltschutzgesetz (USG)³ können die Vollzugsbehörden öffentlich-rechtliche Körperschaften oder Private mit Vollzugsaufgaben betrauen, insbesondere mit der Kontrolle und Überwachung. Eine solche Auslagerung ist gerechtfertigt, wenn private Organisationen über ein Know-how verfügen, das den einwandfreien Vollzug von Kontrollen sicherstellt. Da die technischen Kontrollstellen der Systeme die entsprechenden Voraussetzungen erfüllen, können die Kantone grundsätzlich auf eigene Kontrollen im Zusammenhang mit der Betriebsbewilligung der Recyclingpartner und Zerlegebetriebe verzichten und diese den Systemen übertragen.

Delegation der Kontrolltätigkeit

In einem solchen Fall unterstellt der Kanton die Recycling- und Zerlegebetriebe für elektrische und elektronische Geräte, die eine Bewilligung gemäss Art. 8 VeVA besitzen und Vertragspartner eines der Systeme sind, der Kontrollpflicht durch diese Systeme. Letztere verpflichten sich, die Kontrollen gemäss den vertraglich vereinbarten Anforderungen durch ihre Kontrollstellen durchzuführen.

Die Systeme organisieren mit ihren technischen Kontrollstellen die Kontrollen der Recycling- und Zerlegebetriebe.

Volle Transparenz für die Kantone

Die Systeme teilen der zuständigen kantonalen Amtsstelle die Termine für die Kontrollen der Recycling- und Zerlegebetriebe jeweils mindestens vier Wochen vor dem Audittermin mit, so dass diese auf Wunsch daran teilnehmen kann. Über jede Kontrolle wird ein Bericht zuhanden des Betriebs und der auftraggebenden kantonalen Amtsstelle verfasst. Darin sind insbesondere festgestellte Mängel sowie die veranlassenden Massnahmen und Termine aufgeführt. Der Kanton erhält Gelegenheit zur Stellungnahme.

Es versteht sich von selbst, dass hoheitliche Massnahmen nur durch die kantonale Amtsstelle selbst ausgelöst werden können. Diese behält sich auch behördliche Stichproben bei den unterstellten Betrieben sowie allfällige Verfügungen betreffend Sanierungsmassnahmen und Strafanzeigen gegen Betriebe vor. Dem Kanton ist selbstverständlich auch jederzeit Aktenzugang zu gewähren, soweit es um Informationen geht, die seine hoheitlichen Aufgaben berühren. Die Systeme sowie ihre Kontrollstellen unterstehen dem Amtsgeheimnis und den für die öffentliche Hand geltenden Datenschutzbestimmungen.

Die Kantone, welche die Vereinbarung unterzeichnet haben, legen gemeinsam mit den Systeme-

men überprüfbare Leistungs- und Wirkungsziele fest. Mindestens einmal jährlich sitzen die Vertreter der kantonalen Amtsstellen mit den Vertretern der Systeme zusammen, um die Kontrollergebnisse gesamthaft zu analysieren und allfällige Anpassungen der Kontrollen zu diskutieren.

Auch die Kosten unter Kontrolle

Der Aufwand der Kontrollstellen für ihre Betriebskontrollen und die entsprechenden Berichterstattungen werden durch die von den Systemen erhobenen vorgezogenen Recyclinggebühren abgedeckt, soweit die Kontrollen nicht über die Technischen Vorschriften von der Stiftung SENS und Swico hinaus gehen.

Der Mehraufwand für vom Kanton zusätzlich in Auftrag gegebene Kontrollen richtet sich nach den jeweils aktuellen Stundenansätzen der KBOB⁴. Sie werden von den Systemen den kontrollierten Betrieben direkt in Rechnung gestellt.

Eine Win-Win-Situation

Die Delegation der kantonalen Kontrollaufgaben an die Systeme hat Vorteile für alle Beteiligten. Die unterstellten Betriebe werden so nicht durch mehrfache Kontrollen mit gleich gelagerter Zielsetzung in Anspruch genommen. Die Kantone können zu finanziell günstigen Bedingungen ihre Aufsichtspflicht erfüllen lassen, ohne bei ihren hoheitlichen Rechten Abstriche zu machen. Gerade kleinere Kantone profitieren überdies davon, dass bei den Systemen ausgewiesene Fachleute am Werk sind, welche in diesem spezifischen Bereich über mehr Know-how und breitere Erfahrung verfügen. Aus Sicht der Systeme wäre es sehr erwünscht, wenn sich weitere Kantone für diese Form der Zusammenarbeit entscheiden könnten.



Jean-Marc Hensch

Jean-Marc Hensch schloss sein Studium als lic. iur. (Master of Law) an der Universität Zürich ab und bestand die Höhere Fachprüfung als eidg. dipl. PR-Berater. Nach zwei Jahrzehnten als Führungskraft in der Kommunikationsbranche übernahm er die Führung des schweizerischen Erdgas-Verbands und liess sich in dieser Zeit zum Sicherheitsbeauftragten im Gasfach ausbilden. Er ist heute Geschäftsführer von Swico und Vorsitzender der Kommission Umwelt, welche alle Aktivitäten von Swico Recycling verantwortet. In seinem Blog (jmhensch.wordpress.com) befasst er sich unter anderem auch mit aktuellen Fragen des Recyclings von Elektronik-Altgeräten.

¹ http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_610.html

² http://www.admin.ch/ch/d/sr/814_620/index.html

³ http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_01.html

⁴ Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB; <http://www.bbl.admin.ch/kbob/>

Europäische Norm für E & E-Altgeräteentsorgung – ein Standard mit Schweizer Wurzeln

Seit anfangs März dieses Jahres liegt ein Entwurf einer Europäischen CEN/CENELEC⁵ Norm über die Behandlung von gebrauchten E&E-Altgeräten vor. Gegenwärtig befindet sich dieser bei den nationalen Normenorganisationen in der Vernehmlassung. Falls keine grundsätzlichen Bedenken vorgebracht werden, wird dieser Entwurf Mitte Jahr den nationalen Kommissionen zur Genehmigung vorgelegt und soll, sofern er angenommen wird, im Februar 2014 in Kraft treten.

In der Schweiz entstanden

Das ist ein Meilenstein einer Normengebung für die E+E-Altgeräteentsorgung, die ihren Anfang in der Schweiz genommen hat. Die Stiftung SENS und Swico haben bereits in den Neunziger Jahren begonnen, im Rahmen der Verträge mit Recyclern, technische und organisatorische Anforderungen an die Entsorgungsqualität von Altgeräten zu formulieren. Die schweizerischen Rücknahmesysteme haben die eigenen Standards etappenweise verbessert, bis schliesslich 2009 die beiden Standards harmonisiert wurden. Eine englische Übersetzung diente als erster Entwurf für den WEEELABEX Standard, mit dessen Entwicklung anfangs 2009 begonnen wurde. Das WEEELABEX Projekt wurde ebenfalls massgebend aus der Schweiz heraus initiiert. Das vierjährige Projekt das vom EU Umweltfonds Life+ mitfinanziert wurde, hatte zum Ziel einen Europäischen Standard zu entwickeln und umzusetzen. Nach gut zwei Jahren, am 1. April 2011, wurde die 9. Version von der Generalversammlung des WEEE-Forum⁶, dem Inhaber des WEEELABEX Standards verabschiedet. Mit der Verabschiedung dieser WEEELABEX Norm hat das WEEE-Forum an Bedeutung gewonnen. Europäische Hersteller, Recycler und ihre Verbände wurden aufmerksam und wollten ihren Einfluss und ihr Interesse geltend machen. Aus taktischen Gründen hat das WEEE-Forum deshalb beschlossen, den WEEELABEX Standard als Europäischen Standard zu lancieren und hat ihn vor zwei Jahren in die Europäische Normenorganisation CEN/CENELEC eingepiesen.

Geschichte der Normierung und Regelungen

- 1998 Erste technische Anforderungen im Anhang zum Entsorgungsvertrag mit den Partnern, die Geräte im Auftrag der Stiftung SENS verarbeiten und recyceln
- 1998 Der Schweizerische Bundesrat setzt die Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte (VREG) in Kraft
- 2000 Das Bundesamt für Umwelt gibt eine VREG Vollzugshilfe heraus, in welcher in den Faktenblättern der Stand der Technik in der Entsorgung von E&E-Geräten beschrieben wird
- 2003 Mit der WEEE-Direktive hat die EU erstmals eine einheitliche Regelung
- 2004 Überarbeitung der Swico Verarbeitungs-Richtlinien
- 2005 Unter dem Titel «Easyrec» wird eine erste grössere Revision des SENS Standards an die neuen Gegebenheiten vorgenommen
- 2009 Die Standards von der Stiftung SENS und von Swico werden zu einheitlichen Technischen Vorschriften zur Behandlung von E&E-Abfällen zusammengeführt
- 2009 Das WEEE-Forum startet mit der Entwicklung einer privaten Europäischen Norm. Basis ist die englische Übersetzung der schweizerischen Technischen Vorschriften
- 2011 Das WEEE-Forum wird Mitglied der Europäischen Normenorganisation im

- Elektrobereich CENELEC und veranlasst, aus dem WEEELABEX eine offizielle Europäische Norm zu entwickeln
- 2012 Die erste Revision der WEEE-Direktive aus dem Jahre 2003 wird von der EU Kommission in Kraft gesetzt
- 2013 Die Europäische Normenorganisation CENELEC bekommt von der EU Kommission den offiziellen Auftrag, eine umfassende Norm zum Stand der Technik zu erarbeiten. Sie soll bei der nächsten Revision der WEEE-Direktive 2016 für alle EU Mitglieder verbindlich werden
- 2013 Der allgemeine Teil der CENELEC Norm-Serien geht unter dem Titel WEEE Treatment Standard EN50XXX-1 in die Vernehmlassung, bevor im Herbst dieses Jahres in den nationalen Normenkommissionen darüber abgestimmt werden soll

Kaum konzeptionelle Unterschiede

In der Zeit von 2009 bis heute haben die technischen Anforderungen aus der Schweiz in der Entwicklung zum WEEELABEX Standard eine grosse Transformation durchlaufen. Die Texte wurden in Dutzenden von Arbeitsgruppensitzungen analysiert, diskutiert und modifiziert. Strukturelle Veränderungen mussten aufgrund der Regeln der Europäischen Normenorganisation vorgenommen werden. Zudem darf in Europäischen Normen kein direkter Bezug zu Gesetzeskonformität gemacht werden. In einer Norm sollen keine gesetzlichen Bestimmungen wiederholt oder gar modifiziert werden. Eine Norm soll ergänzende Anforderungen an Leistungen und Produkte festlegen und vor allem die Methoden und das Vorgehen festlegen, wie man solche Leistungen misst. Trotz diesen Veränderungen sind die Grundprinzipien der Entsorgungsleistungen immer noch die gleichen:

Vergleich Europa - Schweiz

Bereiche	EN 50xxx-1 WEEE treatment standard	Technische Anforderungen SENS / Swico
Gesetzeskonformität	Nur Empfehlung (CEN/CENELEC rules)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nachweispflicht ■ Relevanzbeurteilung ■ Dokumentregistrierungspflicht
Managementpflichten	<ul style="list-style-type: none"> ■ Im Grundsatz ein UMS (Zertifizierung nicht erforderlich) ■ Kontinuierliche Verbesserung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Keine explizite Anforderungen ■ Verantwortlichkeiten im Betrieb sind klar festzulegen
Überwachung externer Weiterverarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verantwortung im Grundsatz festgelegt für alle Fraktionen bis zum End-of-Waste-Status 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verantwortung im Grundsatz festgelegt ■ Stoffflussnachweispflicht ■ Vereinfachte Nachweispflicht bei Metallfraktionen
Ausbildung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nach Art der Fraktion differenzierte Nachweispflichten ■ Generelle Ausbildungspflichten ■ Erfolgskontrolle ■ Hilfsmittelverfügbarkeit ■ Arbeitsschutzinstruktionen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Keine generellen Anforderungen ■ Explizit formuliert für Schadstofferkennung und -Entfrachtung
Vermischungsverbot	Nicht vorhanden: Behandlung mit anderen Abfällen möglich	Separate E-Schrottverarbeitung generell vorgeschrieben (Ausnahmen möglich)
Lagermengen Begrenzung	½ Jahreskapazität für ganze Geräte	< 20 % Jahresumsatz für ganze Geräte (Meldepflicht für Ausnahmen)
Witterungsschutz Lagerung	Sehr vager Grundsatz, der Vieles offen lässt	Im Grundsatz Pflicht, Ausnahmen, wenn Nachweis der Einleitungskonformität
Gebinde	Dekontaminationspflicht	Keine
Schadstoffentfrachtung	Sehr ausführliche Bestimmungen in 2 Anhängen	Einfachere Bestimmungen, inhaltlich etwa gleich
Kontrolle der Schadstoffentfrachtung	Zielwerte aus Batchversuch mit Plausibilisierung für Normalbetrieb: Batterien, Kondensatoren und Leiterplatten	Zielwerte nur für Batterien und Kondensatoren aus Jahresstoffbuchhaltung
	Grenzwerte für RESH Fraktion	Grenzwerte für RESH Fraktion
Verbrennungspflicht	Sehr vage Bestimmung mit Ausnahmen in Regionen in denen KVA Kapazitäten fehlen	Restriktive Formulierung inkl. Exporte
R&R Quoten	Batchprinzip: Werte aus WEEE-Direktive	Batchprinzip: Werte aus WEEE-Direktive
Aufzeichnungspflichten	Lange Liste wenig spezifiziert (Annual mass balance)	Weniger Pflichten, dafür mehr spezifiziert (Stoffbuchhaltung)

⁵ CENELEC: European Committee for Electrotechnical Standardization, Brussels

⁶ Das WEEE-Forum ist der Europäische Verband der kollektiven Rücknahmesysteme, es umfasst 40 Systeme aus 21 Ländern. Von der Schweiz sind SLRS, Swico und SENS Mitglieder.

- Der Recycler ist dafür verantwortlich, dass die normativen Bestimmungen auch von den Betrieben eingehalten werden, die seine Fraktionen weiterverarbeiten. Diese Überwachungspflicht geht bis zum Rezyklieren resp. zur Entsorgung der Fraktionen.
- Die in den Gesetzen geforderte Schadstoffentfrachtung wird genauer spezifiziert und anhand von Zielwerten und Schadstoffgrenzwerten in den Fraktionen aus der Verarbeitung von Geräten quantitativ überprüft.
- Die in der Europäischen Direktive geforderten Recycling- und Verwertungsquoten werden in einem Batchversuch ermittelt. Die Anforderungen an diese Batchversuche sind einheitlich definiert und basieren auf den langjährigen Erfahrungen in der Schweiz.

Die Zielsetzung der Normen ist schlussendlich dieselbe: Die Umwelt- und Gesundheitsbelastung zu minimieren und die Generierung qualitativ hochwertiger Sekundärrohstoffe zu maximieren.

Markante Unterschiede in Detailfragen

Es ist nicht so einfach, die Unterschiede zweier Normen, die unterschiedlich aufgebaut sind, auf den Punkt zu bringen. Ein Vergleich zwischen dem Entwurf zum CENELEC-Standard und den Technischen Vorschriften der Schweiz ist in der Tabelle skizziert. So sind im Entwurf zum CENELEC-Standard die Management- und Ausbildungspflichten der Verantwortlichen in den Recyclingbetrieben mehr ausgebaut und formalisiert, als in den schweizerischen Anforderungen. Während die vermischte Verarbeitung von E&E-Abfällen mit anderen Abfällen in Europa toleriert wird, ist eine solche in der Schweiz praktisch verboten. Auch die maximalen Lagermengen und der Witterungsschutz von gelagerten Geräten sind in der Europäischen Norm weniger restriktiv. Dagegen sind die quantitativen Zielwerte für eine Schadstoffentfrachtung von Batterien und Kondensatoren auf Leiterplatten ausgedehnt worden. Ob dies machbar ist, wird allerdings vor dem Hintergrund schweizerischer Erfahrungen bezweifelt. Schliesslich widerspiegelt sich die Situation der Abfallentsorgung in Europa auch in dieser Norm. Am Grundsatz der Verbrennungspflicht von brennbaren Abfällen wird zwar auch in Europa festgehalten. Alleine der Umstand, dass in vielen südlichen und östlichen Ländern, aber auch in Frankreich oder England nicht genügend Verbren-



WEELABEX – Arbeitsgruppe Standardentwicklung 2010, unterstützt vom EU Umweltfonds Life+

nungskapazitäten vorhanden sind, erfordert jedoch Ausnahmeregelungen in der Europäischen Norm.

Die Norm soll verbindlich im Gesetz verankert werden

Obwohl die aufgeführten Detailunterschiede im Einzelnen als relevant beurteilt werden müssen, ist doch festzustellen, dass die Vorteile einer Europäischen Norm mit grundsätzlich richtiger Konzeption und Zielsetzung insgesamt überwiegen. Die EU Kommission hat dieses Jahr die Europäische Normenkommission CENELEC offiziell beauftragt, für alle Gerätetypen und Weiterverarbeitungstechnologien im Bereich Elektro- und Elektronikschrott Normen auszuarbeiten. Das ergibt eine ganze Serie von Normen, aus der nun die erste und wichtigste

zur Vernehmlassung vorliegt. Man will die ersten aus dieser Serie bereits bei der nächsten Überarbeitung der WEEE-Direktive 2016 verbindlich im Gesetz festlegen. Damit hätten dann die Initiative und Anstrengungen von der Stiftung SENS und Swico in den letzten 20 Jahren unmittelbare Auswirkungen auf die Gestaltung der europäischen Gesetzgebung gehabt. Obwohl sich die Schweiz im Abfallbereich nicht verpflichtet hat, EU Recht zu übernehmen, werden die schweizerischen Rücknahmesysteme die CENELEC Normen übernehmen. Sie sind im Lauf der Entwicklung bis jetzt kaum verwässert worden. Zudem öffnen sich die Grenzen innerhalb Europas mehr und mehr auch für Abfälle, was nach gleich langen Spiessen über die Grenzen hinweg verlangt.



Ueli Kasser

Chemiker, dipl. chem. / lic. phil. nat. an der Universität Bern und der ETH Zürich sowie Nachdiplomkurse (INDEL, Nachdiplomkurs über Probleme der Entwicklungsländer). Nachdem er zuerst als freier Mitarbeiter in den Bereichen Radioökologie, Ökotoxikologie und Arbeitshygiene tätig war, wurde er Mitinhaber von ökoscience – Beratungsbüro für angewandte Ökologie in Zürich sowie Projektleiter in den Bereichen Lufthygiene, Umweltberatung und Ökotoxikologie. Bis heute ist Ueli Kasser Inhaber des «büro für umweltchemie» in Zürich, welches auf Beratungen im Bereich Abfall, Chemikaliensicherheit, Baustoffökologie und Innenraumluftqualität spezialisiert ist. Neben seiner Lehrtätigkeit ist er Auditor für Umweltmanagementsysteme nach ISO 14001. Seit Mitte der Neunzigerjahre ist Ueli Kasser Kontrollexperte für Recyclingbetriebe im Auftrag der Stiftung SENS, erarbeitete die Standards und Richtlinien für die Kontrolltätigkeit und ist Vertreter der Stiftung SENS im Europäischen Verband sowie Consultant im Europäischen Normenprojekt WEELABEX.

Lohnt sich die Rückgewinnung kritischer Metalle aus Elektronikschrott?

Elektro- und Elektronikabfälle stellen sekundäre Rohstofflager dar und sind damit von gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Bedeutung. Seit mehr als 15 Jahren werden diese Abfälle in der Schweiz eingesammelt und einer Verwertung zugeführt. Aus jährlich inzwischen weit über 120'000 t werden vor allem Basis- und Edelmetalle zurückgewonnen. Viele seltene bzw. kritische Metalle gehen in den Verarbeitungsprozessen verloren. Mit dem BAFU/Swico-Projekt «e-Recmet» soll geprüft werden, welche technischen und organisatorischen Voraussetzungen notwendig wären, damit die Rückgewinnung von kritischen Metallen aus Elektronikschrott in Zukunft möglich sein könnte.

In unseren elektrischen und elektronischen Alltagsgeräten stecken nebst Basismetallen wie Blei, Zinn und Aluminium eine ganze Reihe seltener Metalle, welche für die Funktionalität von High-Tech-Geräten eine zentrale Rolle spielen. Dazu zählen nebst Edelmetallen wie Gold, Silber oder Palladium auch bisher weniger bekannte Elemente wie Indium, die Seltenerdmetalle oder Tantal. Indium beispielsweise wird für die Herstellung transparenter, leitfähiger Beschichtungen in Flachbildschirmen benötigt. Die Seltenerdmetalle Neodym, Dysprosium und Praseodym werden für die Herstellung von leistungsfähigen Neodym-Eisen-Bor Permanentmagneten in Festplatten und optischen Laufwerken verwendet. Tantal findet sich in Kleinstkondensatoren mit hoher Kapazität, z.B. auf Leiterplatten von Mobiltelefonen. All diesen Metallen ist gemeinsam, dass sie mit den heutigen Aufbereitungs- und Rückgewinnungsprozessen nicht zurückgewonnen werden. Die Gründe dafür liegen einerseits in den Prozessabläufen der manuellen und mechanischen Verarbeitung, welche auf die Entfrachtung von Schadstoffen und die Rückgewinnung traditioneller Wertstoffe wie Aluminium, Eisen, Kupfer oder Gold ausgerichtet sind. Andererseits sind die Preise dieser Metalle in den letzten Jahren zwar stark angestiegen, jedoch immer noch zu tief und unbeständig, um die Rückgewinnung aus wirtschaftlicher Sicht interessant zu machen. Die Tatsache, dass die künftige Versorgung mit diesen Metallen als kritisch beurteilt wird, es sich um nicht erneuerbare

Rohstoffe handelt, welche ohne Rückgewinnung einer künftigen Nutzung entzogen würden, und signifikante Anteile der Weltjahresproduktion dieser Metalle in den Elektro- und Elektronikbereich einfließen, erfordern es jedoch, das Potential einer verstärkten Rückgewinnung dieser Metalle genauer unter die Lupe zu nehmen.

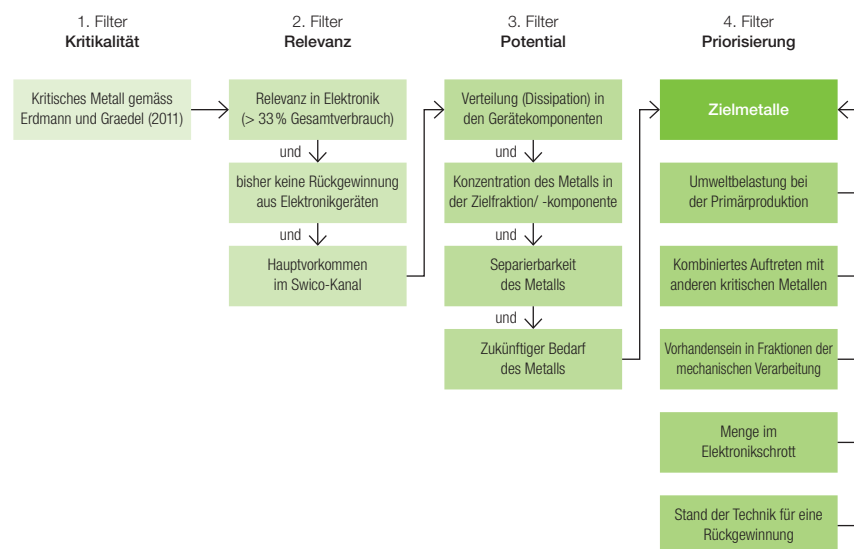
Genau aus diesem Grunde wurde im vergangenen Jahr das Projekt «Recycling von kritischen Metallen aus Elektronikschrott (E-RECMET)» initiiert, welches von der Technologieförderung des

BAFU und von Swico finanziert wird. Das Projekt verfolgt zwei komplementäre Stossrichtungen: Einerseits stellt sich die Frage, welche Voraussetzungen nötig sind, um eine Rückgewinnung kritischer Metalle aus technischer Sicht zu ermöglichen und andererseits, welche Anforderungen eine solche Rückgewinnung an das Managementsystem von Swico Recycling stellt. Oder in anderen Worten ausgedrückt: Kann und soll mit der vRG auch die Rückgewinnung kritischer Metalle finanziell gefördert werden und was würde das aus ökonomischer Sicht bedeuten?

Screening kritischer Metalle im Elektronikschrott

Das Projekt, welches im Januar 2013 angelaufen ist, wird von der Empa umgesetzt, in Zusammenarbeit mit dem Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik Umtec der Hochschule Rapperswil und der Ingenieurunternehmung Ernst Basler + Partner AG in Zürich sowie in Kooperation mit den Swico-

Abbildung 1: Auswahlverfahren für die kritischen Metalle*



Recyclingbetrieben. Als ersten Schritt sieht das Projekt vor, die Situation der kritischen Metalle in Elektronikschrott genauer unter die Lupe zu nehmen. Grundlage dafür bilden Studien und Untersuchungen zum vergangenen und künftigen Mengenfluss elektrischer und elektronischer Geräte und Angaben zur Zusammensetzung der Geräte. Das Projekt kann unmöglich die Frage der Rückgewinnung aller kritischen Metalle abdecken, weshalb im ersten Arbeitsschritt eine Reduktion auf zwei kritische Metalle erfolgt. Die mit der Auswahl der zwei Metalle zu gewinnenden Erkenntnisse aus den nachfolgenden Detailuntersuchungen sollen sich dabei möglichst optimal ergänzen.

Abbildung 1 zeigt das zur Auswahl der Metalle angewandte Verfahren. Nimmt man als Ausgangspunkt die im Elektronikschrott vorhandenen kritischen Metalle sowie die sogenannten Konfliktmetalle⁷ (Gold, Tantal, Zinn und Wolfram), so resultieren daraus nicht weniger als 36 Elemente unseres Periodensystems. Untersucht man diese 36 Elemente auf ihre Relevanz im Mengenstrom von Swico verbleiben noch 13 Elemente. Von diesen weisen 8 Elemente ein erhöhtes Potential für die Rückgewinnung auf: Indium, Ruthenium und Yttrium sowie 5 Metalle aus der Gruppe der Seltenerdmetalle, nämlich Dysprosium, Gadolinium, Holmium, Neodym und Praseodym. Aus einer anschließenden Priorisierung dieser 8 Metalle resultierten Indium und Neodym als die bestgeeigneten Metalle für die weiteren Untersuchungen.

Indium und Neodym

Die zwei zur weiteren Untersuchung vorgesehene Elemente Indium und Neodym sind im Mengenstrom von Swico Recycling in beträchtlichen Mengen vorhanden: Gemäss Untersuchungen des Ökoinstituts in Deutschland enthält ein Laptop beispielsweise rund 2 g Neodym. Rechnet man mit den im Jahre 2012 ca. 359'000 entsorgten Laptops, ergeben sich daraus rund 754 kg Neodym allein aus dieser Gerätekategorie. Gesamthaft dürfte die Neodym-Menge damit mehrere Tonnen betragen. Bei Indium rechnet man mit ca. 0.7 g /m² Bildschirmfläche, was gesamthaft mehr als 50 kg pro Jahr ergibt.



Abbildung 3: LCD-Panel mit Indium-Zinnoxid

Wie weiter?

Im Rahmen des Projektes werden nun die zwei Fallstudien «Indium» und «Neodym» im Detail vorbereitet. Dazu werden genauere Mengenprognosen erstellt und ein Probenahme- und Aufbereitungskonzept für die chemischen Analysen vorbereitet. Diese Arbeiten schaffen die Grundlage, um genauere Mengen und Zusammensetzungsangaben zu erhalten und um die zwei Fallstudien zu konzipieren. Im zweiten Halbjahr 2013 werden Verarbeitungsversuche durchgeführt, verschiedene Fraktionen beprobt und auf ihren Gehalt an Indium und Neodym untersucht.

Daran anschliessend werden weitere Untersuchungen der Frage nachgehen, wie hoch die Umweltbelastung der Rückgewinnung von Neodym und Indium aus Elektronikgeräten im Vergleich zur Gewinnung dieser Metalle in Minen z.B. in China ist.

Aus ökonomischer Sicht interessiert schliesslich die Frage, welche Erhöhung der vorgezogenen Recyclinggebühr (vRG) notwendig wäre, um die Rückgewinnung der kritischen Metalle Indium und Neodym finanziell interessant zu machen.

Das Projekt wird im Herbst 2014 abgeschlossen. Bis dann sollen Entscheidungsgrundlagen bereitliegen, welche es Swico erlauben, die Frage zu beantworten, ob es technisch machbar ist und ob es sich lohnt, kritische Metalle aus Elektronikschrott zurückzugewinnen, und allenfalls ab 2015 entsprechende Schritte einzuleiten.



Heinz Böni

Nach der Ausbildung zum Dipl. Kultur-Ingenieur 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 war, übernahm Heinz Böni die Geschäftsführung des Büros für Kies+Abfall AG in St. Gallen. Danach war er mehrere Jahre Mitinhaber und Geschäftsführer der EcoPartner GmbH St. Gallen. Seit 2001 ist er an der Empa und leitet dort die Gruppe «CARE-Critical Materials and Resource Efficiency» sowie ad interim die Abteilung Technologie und Gesellschaft. Er ist seit 2009 Leiter der Technischen Kontrollstelle von Swico Recycling sowie seit 2007 Kontrollexperte von Swico und der Stiftung SENS.



Patrick Wäger

Nach dem Chemiestudium an der ETH Zürich und einer anschliessenden Dissertation am Institut für Toxikologie der ETH und Universität Zürich war Patrick Wäger zwei Jahre als Umweltberater bei der Elektrowatt Ingenieurunternehmung Zürich, tätig. Seither hat er als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter an der Empa in zahlreichen Forschungsprojekten zu Abfallentsorgung und Rückgewinnung von Rohstoffen aus End-of-Life-Produkten mitgewirkt, ist als Kontrollexperte für die Stiftung SENS und Swico Recycling tätig und war vorübergehend auch Lead Auditor für Umweltmanagementsysteme nach ISO 14001. Patrick Wäger hat verschiedene Lehraufträge im Bereich Umwelt- und Ressourcenmanagement und ist u.a. Mitglied des Vorstandes der Schweizerischen Akademischen Gesellschaft für Umweltforschung und Ökologie (SAGUF). Der aktuelle Schwerpunkt seiner Arbeit liegt in der Erforschung von Strategien für einen nachhaltigeren Umgang mit nicht erneuerbaren Rohstoffen, insbesondere seltene Metalle.

⁷ Konfliktmetalle sind Metalle aus Konfliktregionen

Die verarbeiteten Mengen haben erneut zugenommen

Im Vergleich zum Vorjahr ist die Menge an recycelten E+E-Geräten um fast 10% gestiegen. Die hohe Qualität des Recycling führt wiederum zu einer stoffliche Verwertungsquote der aus E+E-Geräten zurückgewonnenen Materialien von rund 75%.

Im Jahr 2012 hat die Menge E+E-Geräte, welche von den SENS- und Swico-Recyclern verarbeitet wurden, im Vergleich zum Vorjahr um mehr als 10'000 Tonnen auf insgesamt 129'100 Tonnen zugenommen (Tabelle 1, Abbildung 1). Wie auch schon im letzten Jahr verzeichnen die grösste Zunahme (16%) Geräte, welche nicht in den Listen der Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte (VREG) aufgeführt sind. Dabei handelt es sich um Geräte, welche in Industrie, Gewerbe oder in Spitälern verwendet werden. Der starke Anstieg geht auf eine Zunahme von Aufträgen aus der Industrie zurück, welche direkt zwischen den SENS- und Swico-Recyclern und den Industriepartnern

abgerechnet werden. Ebenfalls eine starke Zunahme (15%) verzeichneten die Elektrokleingeräte (Haushaltgeräte). Elektronikgeräte und Elektrogrossgeräte, deren Verarbeitung letztes Jahr stagniert bzw. sogar zurückgegangen ist, konnten dieses Jahr wieder um 8% bzw. 9% zulegen. Die Menge an recycelten Kühl-, Gefrier- und Klimageräten hat mit 4% am wenigsten zugenommen. Einzig die Menge an Leuchtmitteln hat eine Abnahme verzeichnet, was auf technische Herausforderungen im Bereich der Verarbeitung von Energiesparlampen zurückzuführen ist. Diese Leuchtmittel wurden in einigen Betrieben nicht verarbeitet, sondern gelagert, um die Einführung neuer Verarbeitungsprozesse abzuwarten.

Rohstoffgewinnung und Schadstoffverfrachtung

Die Geräte werden während des Recyclingprozesses manuell und maschinell in die verschiedenen Wertstoff- und Schadstofffraktionen aufgetrennt. Manuelle Tätigkeiten spielen für die Sortierung und Entfernung besonders wertvoller wie auch schadstoffhaltiger Geräteteile und Komponenten eine wichtige Rolle. Die genaue Zusammensetzung der Fraktionen aus der Verarbeitung von insgesamt 129'100 Tonnen Geräten ist in Abbildung 2 ersichtlich. Die Fraktionen bestehen hauptsächlich aus Metallen (55%) und zu einem geringeren Teil aus Kunststoffen (14%), Metall-Kunststoff-Gemischen (12%) und Bildröhren aus alten Monitoren und Fernsehern (9%). Die Leiterplatten (welche besonders wertvolle Stoffe beinhalten) sowie die Schadstoffe machen lediglich 1-2% der gesamten verarbeiteten Menge aus. Die Mengen der einzelnen

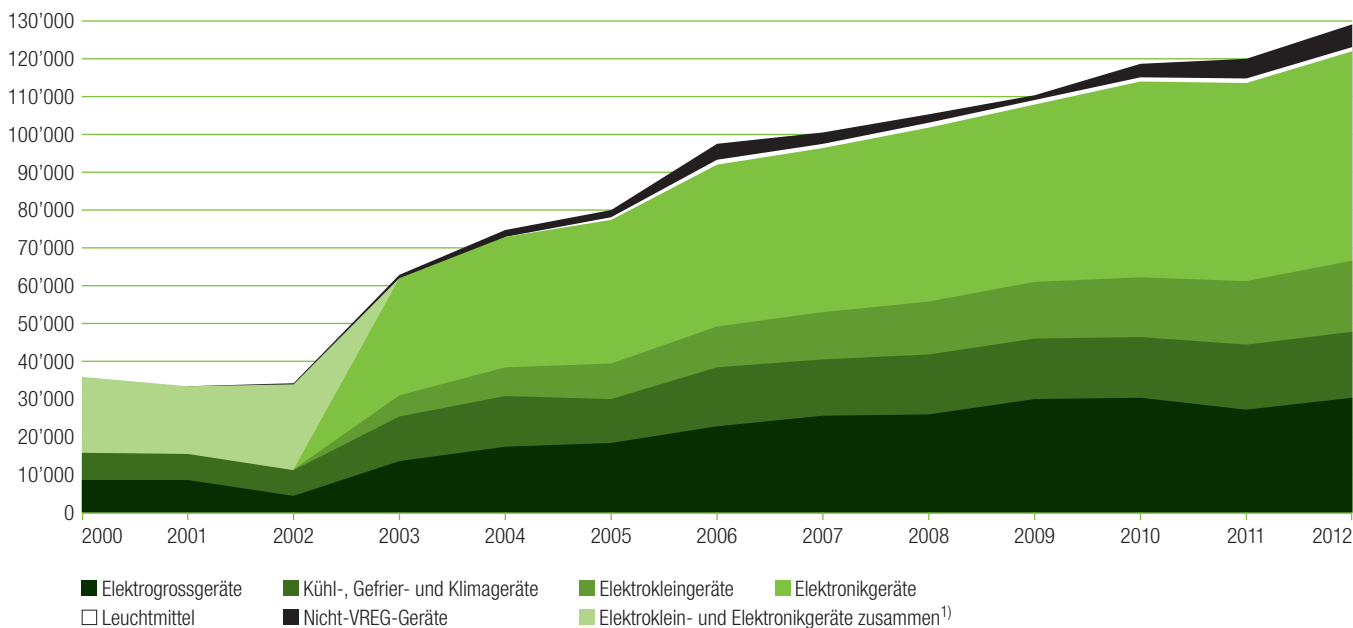
Tabelle 1: Total verarbeiteter elektrischer und elektronischer Geräte in der Schweiz in Tonnen aus der Stoffluserhebung

Jahr	Elektrogrossgeräte	Kühl-, Gefrier- und Klimageräte	Elektrokleingeräte	Elektronikgeräte	Leuchtmittel	Nicht-VREG-Geräte	Total Tonnen/Jahr
2000	9'600	6'900	gesamt 19'800				36'300
2001	9'600	6'700	gesamt 17'500				33'800
2002	5'600	6'400	gesamt 22'300			300	34'600
2003	14'600	11'600	5'400	30'200		800	62'600
2004	18'100	13'100	7'500	33'700		1'800	74'200
2005	19'100	11'400	9'300	37'200	420 ¹⁾	1'900	79'320
2006	23'400	15'300 ²⁾	10'700	41'800	1'100	4'200	96'500 ²⁾
2007	26'100	14'500	12'300	42'500	1'110	2'900	99'410
2008	26'800	15'100	13'800	45'000	1'130	2'300	104'130
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
Veränderungen gegenüber Vorjahr	9%	4%	15%	8%	-13%	16%	9%

¹⁾ 2005 sind lediglich fünf Monate seit Einführung der vorgezogenen Recyclinggebühr vRG am 1.8.05 erfasst.

²⁾ 2006 wurden bei den Kühlgeräten zusätzlich zu den Haushaltgeräten neu 1'300 Tonnen Gewerbegeräte in die statistische Erhebung aufgenommen.

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



¹⁾ Bis 2002 wurden Elektroklein- und Elektronikgeräte gemeinsam erfasst

Wertstofffraktionen haben sich im Vergleich zum Jahr 2011 nur wenig verändert. Die Gesamtmenge an Schadstoffen ist im Vergleich zum Vorjahr zurückgegangen, was zeigt, dass der Schadstoffgehalt in E+E-Geräten insgesamt abnimmt. Weiter zugenommen hat wie in den letzten Jahren die Menge an entsorgtem Asbest, was die stetige Verbesserung der Aussortierung von asbesthaltigen Geräten bei den Recyclern unterstreicht. Auch Batterien, FCKW und Öle konnten eine leichte Zunahme verzeichnen. Die vermeintlich geringe Menge an Schadstoffen (rund 1100 Tonnen) in E+E-Gerä-

ten soll nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Schadstofffrachtung neben der Rohstoffgewinnung zu den wichtigsten Aufgaben eines SENS-Swico-Recyclers gehört.

Hohe Verwertungsquote beibehalten

Auch im Jahr 2012 wurden wieder rund 75 % der aus E+E-Geräten zurückgewonnenen Materialien stofflich verwertet. Dabei bildeten die verschiedenen Metallfraktionen, welche von den E+E-Geräte-Recyclern ohne weitere Aufbereitung direkt in

den Metallhandel und weiter zu den Schmelzwerken gelangen, die grösste verwertbare Fraktion. Der Anteil an Kunststoffen, welcher in eine stoffliche Verwertung geht, hat in den letzten Jahren zugenommen und betrug im Jahr 2012 rund 75 %. Hochwertige Metall-Kunststoff-Gemische werden im Ausland in aufwendigen Aufbereitungsverfahren in reine Metall- und Kunststofffraktionen aufgetrennt. Dadurch können die Metalle, in einigen Fällen auch die Kunststoffe, verwertet werden. Wie hoch die effektive Verwertungsquote ist, lässt sich anhand der bestehenden Datengrundlagen nicht bestimmen, da

Abbildung 2: Zusammensetzung der erzeugten Fraktionen in % im Jahr 2012

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

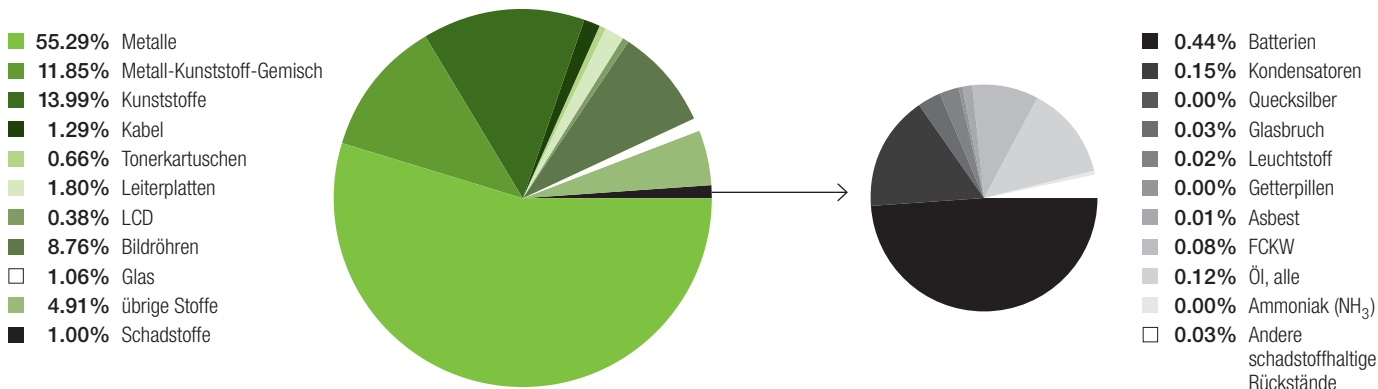


Tabelle 2: Gesammelte Swico-Mengen und Zusammensetzung nach Gerätetyp

	Anzahl ³⁾ (in Tausend)	Durchschnittsgewicht (in Kilogramm)	Metalle (in Tonnen)	Kunststoffe (in Tonnen)	Metall-Kunststoff-Gemische (in Tonnen)	Kabel Glas- und/oder LCD-Module (in Tonnen)	Leiterplatten (in Tonnen)	Schadstoffe (in Tonnen)	Weiteres ⁴⁾ (in Tonnen)	Total (in Tonnen)	Zu-/Abnahme gegenüber 2011	
PC Monitor CRT	302	18.17	805	1092	521	141	2399	503	0.30	25	5486	4%
PC Monitor LCD	406	6.23	1080	604	-	10	636	176	8.2	12	2525	8%
PC/Server	338	15.06	4192	293	14	156	-	424	16	-	5096	-6%
Laptop	359	3.55	387	360	130	6.5	112	186	88	5.3	1275	33%
Drucker	492	10.63	1855	2815	322	29	36	92	1.6	85	5235	12%
Grosskopierer/Grossgeräte	46	1212.00	3075	252	1983	98	4.3	54	47	108	5621	2%
IT gemischt ¹⁾	398	10.51	2281	174	1504	73	1.5	37	34	76	4181	3%
CRT-Fernseher	575	28.84	1633	3388	551	58	10'713	203	16	9	16'570	-2%
LCD-Fernseher	55	35.63	812	292	-	39	506	240	18	68	1976	31%
UE gemischt ²⁾	2384	4.51	5866	447	3869	188	3.8	96	88	195	10'754	5%
Telefon mobil	498	0.14	11	25	-	-	3.7	16	14	-	70	10%
Telefon Rest	1081	2.13	1255	96	827	40	0.8	21	19	42	2300	3%
Foto/Video	284	0.49	75	5.8	50	2.4	0.048	1.2	1.1	2.5	138	18%
Dental											67	6%
Total in Tonnen			23'327	9844	9771	842	14'417	2048	351	627	61'295	3%
Total in Prozent			38.1%	16.1%	15.9%	1.4%	23.5%	3.3%	0.6%	1.0%		

¹⁾ IT-Geräte, gemischt, ohne Monitore, PC/Server, Laptops, Drucker, Grosskopierer/Grossgeräte

²⁾ Unterhaltungselektronik, gemischt, ohne TV-Geräte

³⁾ Hochrechnung

⁴⁾ Verpackungs- und andere Abfälle, Tonerkartuschen

sich die Metall- und Kunststoffanteile je nach Erstverarbeitungsprozess stark unterscheiden. Weiter verwertet werden Glasfraktionen (Bildschirmglas, Flachglas und Recyclingglas aus Leuchtmitteln) sowie Kabel, Leiterplatten und Batterien.

Detallierte Erhebung für Elektronikgeräte

Dank detaillierten Warenkorbanalysen und gezielten Verarbeitungsversuchen bestimmter Produktgruppen ist Swico in der Lage, die Rücknahmemengen an Elektronikgeräten und ihre Zusammensetzung noch genauer aufzuschlüsseln (Tabelle 2). 2012 hat Swico 61'295 Tonnen Elektronikgeräte zurückgenommen, 3% mehr als im Vorjahr. Am meisten zugenommen hat mit je rund 30% die zurückgenommene Menge von Laptops und LCD-Fernsehern, bei den LCD-Fernsehern ein Trend, der bereits in den letzten Jahren zu spüren war. Drucker sind wiederum 12% mehr zurückgenommen worden als im Vorjahr. Da im Jahr 2012 mehr Smartphones verkauft wurden, konnte auch das Handy-Recycling um 10% zulegen. Obwohl seit mehreren Jahren keine neuen CRT-Geräte mehr in den Verkauf gelangen, ist der Rücklauf immer noch auf ähnlich hohem Niveau wie in den letzten Jahren. Dies kann einerseits an einer langen Gebrauchsdauer der Röhrenbildschirme liegen, andererseits ist es wahrscheinlich, dass viele solcher alten Geräte ungebraucht gelagert werden und da-

her langsamer als angenommen ihren Weg ins Recycling finden.

Die Zusammensetzung wird durch Verarbeitungsversuche ermittelt, die bei den Schweizer Recyclern durchgeführt und von der Empa begleitet werden. Dabei wird eine zuvor festgelegte Menge an Geräten gesammelt und verarbeitet und die daraus entstehenden Fraktionen dokumentiert. Da die Zusammensetzung sich je nach Produktgruppe

stark unterscheidet, geben die Verarbeitungsversuche wichtige und interessante Zusatzinformationen. So weisen beispielsweise PC's und Server den höchsten Metallanteil auf, Drucker enthalten viel Kunststoff, CRT-Bildschirme und Fernseher bestehen hauptsächlich aus Glas und Mobiltelefone haben den grössten Anteil an Leiterplatten, welche Edelmetalle (Gold, Silber, Palladium) enthalten.



Esther Müller

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



Geri Hug

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

Marktsättigung beim Kühlgeräterecycling weiterhin nicht absehbar

Noch immer ist die Zahl der verarbeiteten Kühlgeräte im Steigen begriffen. Mit 17'500 Tonnen wurde 2012 ein neuer Höchststand erreicht (Steigerung von gut 4%). Die vier zur Verfügung stehenden Anlagen verarbeiteten insgesamt mehr als eine Drittelmillion Geräte auf Stufe 1 (Absaugung der Kältemittel aus den Kompressoren) und Stufe 2 (Extraktion der Treibmittel aus dem PU-Isolationsschaum). Ein geringer Anteil aller Geräte wurde wie in den vergangenen Jahren in einer ausländischen Anlage recycelt (3%).

Relevanz der Behandlung von Kühlgeräten

Das ehrgeizige Ziel einer 90-prozentigen Rückgewinnung sowohl der Kältemittel als auch der Treibmittel ist in zweierlei Hinsicht bedeutsam: Einerseits gilt es, die in Kompressoren und PU-Isolationsschäumen enthaltenen FCKW aus Gründen ihrer Schädlichkeit für die Ozonschicht dem Recycling zu entziehen und kontrolliert zu zerstören. Gleichzeitig verfügen diese Substanzen über ein Treibhauspotential, welches jenes von CO₂ um das ca. Tausend- bis Zehntausendfache übersteigt. Auch aus diesem Grund ist die Rückgewinnung und anschließende Hochtemperaturverbrennung der Kälte- und Treibmittel und ihre Verwandlung in weit weniger klimawirksames CO₂ sowie in Wasser und Säuren resp. Salze ein wichtiger Beitrag zum Umweltschutz.

Ersatz von Kältemitteln und Treibmitteln seit 1994

Auch auf Ebene der Herstellung neuer Geräte wird Umwelt- und Klimaschutz seit Mitte der 90er-Jahre betrieben: Der gestaffelte Ersatz des Kältemittels FCKW-12 durch das ozonunschädliche, jedoch nach wie vor klimawirksame FKW-134a hin zum in beiderlei Hinsicht unproblematischen Kohlenwasserstoff (HC) Isobutan erfolgte im Rahmen internationaler Abkommen (Wiener Übereinkommen und Montreal-Protokoll). Früher und schneller ging der Wechsel bei den Treibmitteln über die Bühne: Hier wurde

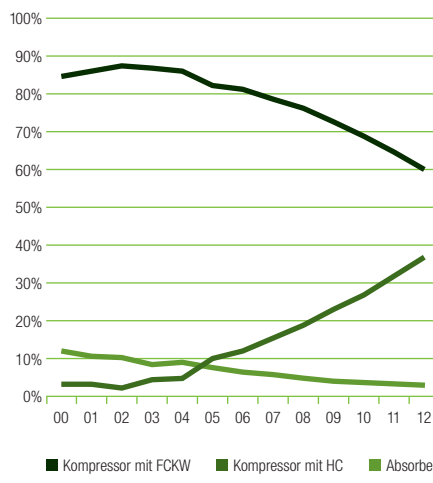
FCKW-11 direkt durch den gänzlich ozonunschädlichen Kohlenwasserstoff Cyclopentan ersetzt, welcher zusätzlich auch über ein praktisch vernachlässigbares Treibhauspotential verfügt.

Die zeitlich versetzte Umsetzung der Ersatzmassnahmen bei der Geräteherstellung manifestiert sich auch im Recycling: Auf Stufe 1 nimmt der Anteil behandelter HC-betriebener Kompressoren seit 2003 beständig zu. Auf Stufe 2 vollzieht sich dieser Anstieg bei den HC-geschäumten Gehäusen bereits seit 2000.

Abwärtstrend bei den FCKW-Kompressoren

Waren im Erhebungsjahr 2011 noch 65% der in die Verwertung gelangenden Kältesysteme vom FCKW-Typ, waren es 2012 noch 60%. Analog stieg im gleichen Zeitraum der Anteil der HC-Kompressoren von 31% auf 37%. Die ammoniakhaltigen Absorbersysteme nahmen von 4% auf 3% geringfügig ab. Ein Gleichgewicht zwischen FCKW- und HC-Kompressoren wird voraussichtlich in einem Zeitraum von zwei bis vier Jahren erreicht sein -> Abbildung 1

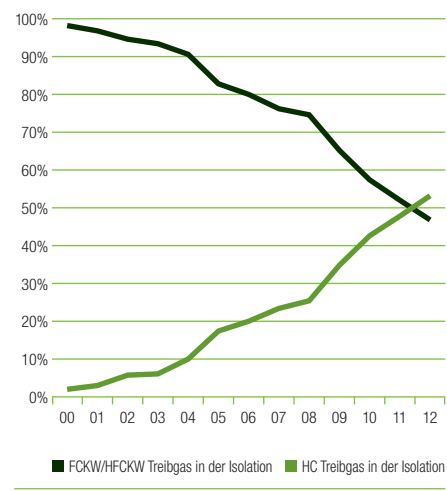
Abb. 1 Entwicklung der auf Stufe 1 behandelten Gerätetypen (FCKW- und HC-haltige Kompressoren sowie ammoniakhaltige Absorbersysteme)



Erstmals mehr HC-geschäumte Kühlgeräte

Der Rückgang bei den FCKW-geschäumten Gerätegehäusen setzt sich ebenfalls beständig fort. 2012 sank der Anteil erstmals unter die 50-Prozent-Marke auf 47%, womit die im letztjährigen Fachbericht prognostizierte Trendwende eingetreten ist: Die HC- (Cyclopentan-) geschäumten Gehäuse bilden nun mit 53% erstmals die Mehrheit aller behandelten Geräte -> Abbildung 2.

Abb. 2 Entwicklung der auf Stufe 2 behandelten Gerätetypen (FCKW- und HC-geschäumte PU-Isolationen)



Geringfügige Abnahmen bei den Rückgewinnungsmengen

Die Menge an zurückgewonnenen Kältemittelgemischen variierte in den vergangenen Jahren nur unwesentlich bei einem Durchschnitt von rund 100 g pro Kompressor. 2012 wurden 95 g Kältemittel aus jedem Kühlgerät abgesaugt. Die leichte Reduktion könnte Ausdruck der spezifisch abnehmenden Kältemittelmenge sein (HC-Kompressoren enthalten bedeutend weniger Kältemittel), da die Anzahl der auf der 1. Stufe behandelten Kühlgeräte im Vergleich zum letzten Jahr praktisch unverändert geblieben ist. Mit Gewissheit wird sich diese Vermutung erst in den kommenden Jahren erhärten lassen. Ferner ist mit 214 g Öl pro Kompressor der Effizienzzeiger der Absaugleistung nahezu konstant geblieben → Abbildung 3.

Bei der Rückgewinnung der Treibmittelgemische ergibt sich ein ähnliches Bild. Im Unterschied aber zur zeitlich nicht klar voraussagbaren Entwick-

lung der Kältemittel-Kurve lässt sich bei den Treibmitteln bereits seit zwölf Jahren eine klare Abwärtstendenz der zurückgewonnenen relativen Treibmittelmenge pro Kilogramm PU-Isolationsschaum verfolgen. Lag 2011 die Kennzahl bei 60 g pro Kilogramm PU, konnte 2012 über alle Recycler gemittelt ein Wert von 58 g pro Kilogramm PU evaluiert werden (Abbildung 4). Hier ist die Abnahme mit dem geringeren spezifischen Gewicht von Cyclopentan im Vergleich zu FCKW-11 zu erklären. Der Abwärtstrend wird sich fortsetzen und der minimale Rückgewinnungswert sich zu ungewissem Zeitpunkt bei 40 bis 45 g Treibmittel stabilisieren. Diese Prognose basiert auf der Annahme, dass die spezifische Menge Cyclopentan pro Kilogramm PU-Schaum zum Ende der Lebensdauer rund 45 g beträgt und das Gros der zu behandelnden Gehäuse dereinst praktisch ausschliesslich aus Cyclopentan-Gehäusen bestehen wird.

Abb. 3 Rückgewonnenes FCKW/HC und Öl aus dem Kühlkreislauf (Stufe 1)

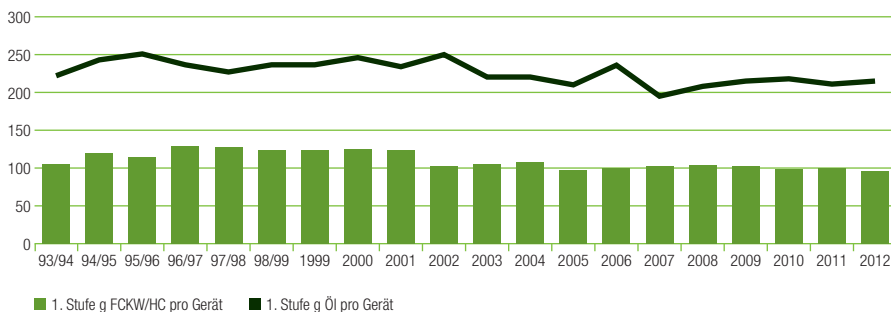
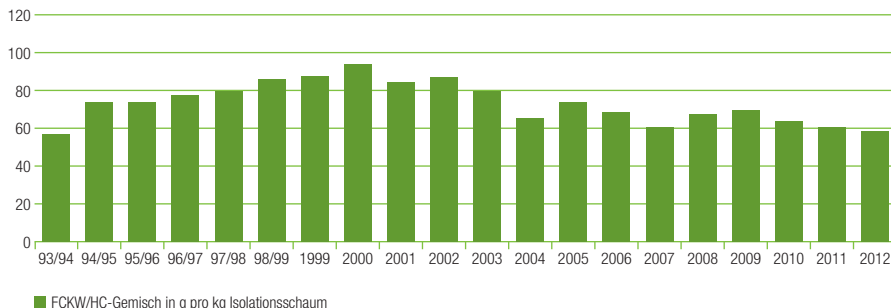


Abb. 4 Rückgewonnenes FCKW/HC aus PU-Isolationsschaum (Stufe 2)



Geri Hug

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



Niklaus Renner

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

Verwertung von tonerhaltigen Abfällen

Die stoffliche Verwertung von bildgebendem Zubehör wie Toner-Kartuschen ist erstrebenswert, scheiterte bisher aber immer wieder an der fehlenden Technik. Keine Anlage konnte dem Materialmix aus Kunststoff und Metallen in Verbindung mit dem Toner-Staub Herr werden, geschweige denn eine Lösung in ein wirtschaftlich interessantes Setup einfügen. Zwar gibt es global einige wenige Anlagen, die eine Teilverwertung mit Metallausbeute oder minimaler Kunststoffrückgewinnung betreiben, doch eine Anlage, die umfassend das komplette Produkt verwertet existiert bisher nicht. Ein Projekt-Team von vier erfahrenen Fachleuten wurde im April 2011 von Swico beauftragt, neue Verwertungswege für Toner-Kartuschen zu finden.

Die Ausgangslage

Swico Recycling verwertet pro Jahr rund 62'000 Tonnen Elektronikschrott aus den Bereichen Büro, Dentalhandel, graphische Industrie, Informatik, Mess- und Medizinalgeräte, Sicherheitstechnik, Telekommunikation, Unterhaltungselektronik, Zubehör sowie Verbrauchsmaterial. In dieser Menge enthalten ist auch das bildgebende Zubehör. Ein kleiner Teil der anfallenden Menge gelangt ins «Refill», wo die Kartuschen wieder mit Tonerpulver gefüllt werden und zurück in den Markt gelangen. Aber der grösste Teil der Kartuschen wird in den Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) entsorgt.

Diese Lösung ist für alle Beteiligten unbefriedigend. Die Kehrichtverbrennungsanlagen verweigern in zunehmendem Masse die Annahme, da der Rest-Toner Staubexplosionen verursachen kann oder die Filteranlagen beeinträchtigt. Um der Staubemission entgegenzuwirken, wurde ein sogenannter «Backprozess» entwickelt, bei welchem die Kartuschen in einem Backofen erhitzt werden bis das Tonerpulver polymerisiert und nach dem Abkühlen zu einem Kunststoffkuchen erstarrt. Eine weitere Möglichkeit ist das Vermischen mit Siedlungsabfall. Bei einer fünfprozentigen Zu-Dosierung verschwinden die Kartuschen im restlichen Material und beeinträchtigen die Prozesse in der KVA nicht mehr negativ.

In der KVA verbrennt der Kunststoff restlos, lediglich die Metalle werden teilweise aus der Schlacke zurückgewonnen. Diese energetische Verwertung erzeugt zwar Energie, also Wärme, Dampf und Elektrizität, jedoch sind die Kunststoffe für immer verloren. Ausserdem verursacht das Verbrennen einer Tonne Toner-Kartuschen rund zweieinhalb Tonnen CO₂. Nebst den hohen Kosten ist diese Art der Verwertung somit auch nicht ressourceneffizient.

Neue Wege

Rund 1800 Tonnen bildgebendes Zubehör fällt pro Jahr in der Schweiz an, welches fachgerecht und ressourcenschonend verwertet werden muss: Toner-Kartuschen, Toner-Flaschen, Rest-Tonerbehälter und Verpackungsmaterial. Mit dem Recycling könnte ein Beitrag an die Ressourceneffizienz geleistet werden, wodurch die Rohstoffe stofflich wiederverwertet, also in den Materialkreislauf zurückgeführt würden. Hierbei gilt es jedoch einige Grundsätze zu beachten: Toner-Kartuschen sind Zubehöreile, welche aus verschiedenen Bauteilen in der Regel aus mehreren Kunststoffapplikationen, Verbundstoffen, Metallen und dem Tonerpulver bestehen. Bei letzterem handelt es sich um ein Kunststoffpulver mit Additiven.

Für die stoffliche Verwertung müssen die Kartuschen in einem möglichst hohen Reinheitsgrad aufgeschlüsselt werden. Je reiner jede einzelne Fraktion ist, umso höher wird deren Wert. Ziel ist es, die einzelnen Fraktionen wieder für neue Produkte, idealerweise für den Bau von neuen Kartuschen einzusetzen.

Verarbeitungsversuche

Wie können Toner-Kartuschen verarbeitet werden, so dass der Material-Mix möglichst gründlich aber nicht zu feinkörnig aufgeschlüsselt, und das Tonerpulver entfernt wird? Eine Anlage sollte effizient, d. h. automatisiert und rentabel, betrieben werden können. Um diese Frage zu beantworten, sind mehrere Schritte notwendig: Auswertung von bestehenden Daten, repräsentative Batchversuche, manuelle Zerlegung, mechanische Verarbeitung, Laborversuche und Analysen, Abgleich der erhobenen Daten und natürlich auch Einbezug von Expertenerfahrung.

Konsumenten geben die gebrauchten Kartuschen oft in der Originalverpackung retour. Von den anfallenden 1800 Tonnen pro Jahr machen die Verpackungen etwa 300 Tonnen aus, also einen erheblichen Anteil.

In einem ersten Schritt gilt es die Materialfrage zu klären. Wie vermutet, handelt es sich bei Toner-Kartuschen, Resttoner-Behältern und -Flaschen um äusserst komplexe Produkte:

- Kartuschen bestehen aus 30 bis 40 verschiedenen Metallen und Kunststoffen
- Tonerpulver beinhaltet bis zu 40 verschiedene Stoffe
- Verpackungen bestehen aus Karton und bis zu fünf Kunststoffsorten

Manuelle Zerlegung

Die Zerlegung von Kartuschen in Handarbeit ist zwar materialschonend, aber nicht sehr effizient. Die einzelnen Bauteile werden quasi im Rückbau demontiert und bleiben als Ganzes erhalten. Die Separierung der Materialien ist aufgrund ihrer Beschaffenheit und Materialkennzeichnung einfach. Die Staubemission ist mässig und kann mit geeigneten Mitteln gelöst werden. Interessante Möglichkeiten bieten sich vor allem mit der Kunststoffseparierung. Die Materialkennzeichnung auf den Bauteilen stimmt jedoch oft nicht mit der effektiven Materialqualität überein. Daraus lässt sich schliessen, dass in der Produktion andere Rohstoffe als angegeben verwendet werden. In der Elektronikbranche ist dieses Phänomen schon länger bekannt.

Mechanische Verarbeitung

Um alle Toner-Kartuschen in Handarbeit zu zerlegen, wären über 600 Arbeitskräfte notwendig. Das ist in der Praxis jedoch völlig unrealistisch. Diese Aufgabe ist also nur unter Anwendung technischer Hilfsmittel zu lösen.

Um bereits im Projektstadium möglichst realitätsnah Grossversuche zu fahren, ist eine umfangreiche Infrastruktur erforderlich. Anlagenbauer in Europa betreiben sogenannte Technika (Maschinenparks), um Verarbeitungsversuche mit echtem Material unter realen Bedingungen zu fahren. Erkenntnisse aus insgesamt sechs Technikums-Versuchen dienten im vorliegenden Fall als Basis für die abschliessende Prozessentwicklung.

Die mechanische Verarbeitung von Toner-Kartuschen erfolgt in verschiedenen Schritten: Zuerst sind die Kartuschen mit einem Schredder in Metall- und Kunststoffteile zu zerkleinern und aufzuschliessen. Anschliessend ist der dabei austretende Tonerstaub zu erfassen und zu separieren, bzw. die zerkleinerten Teile sind vom Staub zu befreien. Zum

Schluss muss das gereinigte Metall-Kunststoff-Gemisch auf Sortieranlagen triagiert werden und die einzelnen Fraktionen und Halbfabrikate sind zurück in den Produktionskreislauf zu führen.

Eine Anlage, welche alle diese Prozessschritte löst, existierte bisher am Markt nicht. Es galt demnach herauszufinden, welche Anlagenkomponenten die besten Resultate in den einzelnen Teilprozessen bzw. Verarbeitungsschritten erzielen. So gelingt es, Schritt für Schritt, eine neue Toner-Recycling-Anlage zu konzipieren.

Trockenzerkleinerung

Die Kartuschen in einem Schredder zu zerkleinern funktioniert tadellos. Trotz Luftabsaugung und Filteranlagen (Windsichter) ist die Staubemission jedoch hoch. Sobald das Tonerstaub/Sauerstoff/Luftgemisch eine explosionsfähige Zusammensetzung erreicht, genügt eine statische Aufladung oder eine andere Zündquelle, um eine Explosion auszulösen. Diese Gefahr ist erheblich, es gab schon mehrere Unfälle mit Todesfolge. Die Trockenzerkleinerung muss deshalb aus Sicherheitsgründen nebst der Luftabsaugung grundsätzlich mit einer Inertisierung (Stickstoff) ausgestattet sein. Trotz aller Massnahmen lässt sich eine Staubverschleppung kaum vermeiden. Restanhaftungen von Tonerstaub infolge statischer Aufladung oder magnetischer Teile sind nicht zu verhindern. Das dadurch produzierte, ziemlich saubere Metall-Kunststoff-Gemisch lässt sich jedoch auf einer Separationsanlage problemlos sortieren.

Nasszerkleinerung

Bei der Nasszerkleinerung wird der Schredderraum mit Wasser bestäubt. Ein beigefügtes Netzmittel bricht die Oberflächenspannung des Wassers und bindet den Tonerstaub. Auf diese Weise ist bereits zu Beginn des Prozesses die Explosionsgefahr eliminiert und mit einer nachträglichen Spülung das Metall-Kunststoff-Gemisch völlig sauber.

Durch weitere mechanische Verarbeitungsschritte wird das Material durch Abrieb und Gleitschleifen (Trowalisierung) getrocknet. Eine zweistufige Filteranlage reinigt das Wasser in einem internen Kreislauf. Der ausgefällte Toner-Staub enthält noch eine Restfeuchtigkeit und wird, gekoppelt an eine Energierückgewinnung, thermisch verwertet.

Separierung

Im Anschluss an die Zerkleinerung und die Reinigung folgt die Separierung. Hier kommen verschiedene Techniken zum Einsatz: FE-Abscheider, Nahinfrarot- und Wirbelstromanlagen. Dabei können reine FE- und NE-Metalle sowie eine schwarze und eine bunte Kunststofffraktion erzielt werden. Sämtliche Fraktionen sind bereits in dieser Form vermarktbar.

Aufbereitung der Kunststoffe

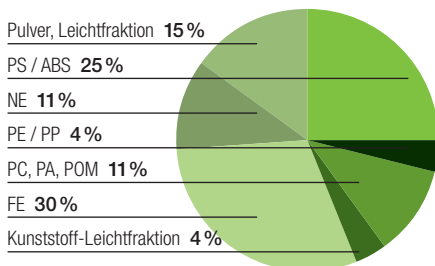
Die Kunststoffe lassen sich noch weiter verarbeiten. Mittels Schwimm/Sink-Verfahren und elektrostatischer Separierung erhält man Kunststoffqualitäten mit einem Reinheitsgrad von 98%. Diese können als Mahlgut oder Regranulat direkt in neue Produkte einfließen. Extrusionsversuche am Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung der Hochschule für Technik in Rapperswil bestätigten die ausgezeichnete Materialqualität.

Fraktion / Erhebung	Charge 1	Charge 2	Charge 3	Charge 4	Durchschnitt
FE	22 %	30 %	41 %	29 %	31 %
NE	16 %	8 %	5 %	11 %	10 %
Kunststoffe	47 %	45 %	46 %	38 %	44 %
Pulver, Leichtfraktionen	15 %	17 %	8 %	22 %	15 %

Material-Mix

Die Qualität der Output-Fractionen (Metalle und Kunststoffe) ist in erster Linie abhängig vom Input-Material. Je nach Fabrikat und dem Rest-Toner-Anteil kann sich der Material-Mix erheblich verändern. Aus diesem Grund werden verschiedene Chargen mit unterschiedlichen Verfahren verarbeitet, um ein möglichst breites Spektrum im Material-Mix zu erreichen.

Detaillierter Material-Mix



Realisierung einer Anlage

Nach der Auswertung aller Versuchsreihen und Materialanalysen folgt die Prozessentwicklung. Für die stoffliche Verwertung von Toner-Kartuschen sind vier Schritte nötig:

Schritt 1	Schritt 2	Schritt 3	Schritt 4
Anlieferung Auspacken Triage	Zerkleinerung Reinigung	Separierung	Aufbereitung

Schritt 1 beinhaltet die Anlieferung und das Auspacken der Kartuschen. Optional ist vor dem Zerkleinern eine Triage der Kartuschen möglich. Karton- und Kunststoffverpackungen werden zu Ballen gepresst, bzw. das EPS verdichtet.

Bei Schritt 2, der Zerkleinerung und der Reinigung des Input-Materials, sind zwei Varianten möglich: die Trocken- oder die Nassverarbeitung. Nach Abwägen aller Vor- und Nachteile setzt sich die Nasszerkleinerung gegenüber der Trockenzerkleinerung durch. Zwar ist die Wasseraufbereitung aufwändig, aber Argumente wie Betriebssicherheit

(kein Explosionsrisiko), keine Staubverschleppungen und saubere Fraktionen führen zu einem Entscheid zugunsten der Nassaufbereitung.

Bereits nach dem zweiten Verarbeitungsschritt erhält man eine vermarktbar Metall-Kunststoff-Fraktion. Schritt 3 und 4 können – mengenabhängig – auch durch Outsourcing erfolgen. Schritt 4 umfasst die detaillierte Separierung und Aufbereitung der Kunststoffe zu Mahlgut oder Regranulat.

Die Anlagekosten für eine professionelle mechanische Nassverarbeitung für die Verarbeitungsschritte eins bis drei belaufen sich auf rund 1.5 Mio. CHF. Soll in der Schweiz bei dem Mengenaufkommen von 1800 Tonnen pro Jahr die stoffliche Verwertung von Toner-Kartuschen und deren Verpackungen unter ökonomischen und ökologischen Aspekten realisiert werden, darf nur eine zentrale Anlage betrieben werden – für möglichst alle anfallenden Kartuschen.

Der Stand der Planung ist so weit vorangeschritten, dass Ausführungspläne für den Anlagenbau bestehen, konkrete Standorte evaluiert sind und Vorschläge für die Betriebsorganisation und -abläufe in einem Businessplan vorliegen.

Erkenntnisse

Die stoffliche Verwertung von Toner-Kartuschen ist technisch möglich und die entsprechende Anlagentechnik verfügbar. Die ökologischen Vorteile des Recyclings gegenüber dem Verbrennen sind unbestritten, denn nicht nur das Metall, sondern auch der Kunststoff wird verwertet. Einzig beim Tonerpulver ist noch keine Verwertung möglich. Solange zu hohe Schwermetallkonzentrationen eine stoffliche Verwertung verhindern, gelangt dieses weiterhin in die Kehrichtverbrennung, wo zumindest die Energie genutzt wird.

Unter der Annahme, dass die Verbrennungskosten für Toner-Kartuschen über CHF 400.- pro Tonne liegen, lassen sich mit der stofflichen Verwertung auf einer zentralen Anlage Erlöse erzielen. Unter diesen Voraussetzungen könnte eine solche Anlage gewinnbringend betrieben werden.



Andreas Tonner

Nach der kaufmännischen Ausbildung auf der öffentlichen Verwaltung und anschliessender höheren Fachausbildung arbeitete Andreas Tonner acht Jahre als Verwaltungsangestellter in verschiedenen Funktionen. 1995 wechselte er in die Entsorgungswirtschaft, wo er bis 2007 in den Geschäftsführungen der Tonner-Altstoff AG, Sereda AG und Texta AG tätig war, sowie auch verschiedene Verwaltungsrat-Mandate innehatte. 2008 gründete er die Recycling-Coach GmbH, welche in den Bereichen Beratung und Coaching von Unternehmen, Verbänden und öffentlichen Körperschaften tätig ist. 2010 gründete Andreas Tonner die Oekotech Reco AG, mit Fokus auf Materialkostenoptimierung in der Entsorgung und Rohstoffvermarktung.



Ruedi Hafner

Nach der Ausbildung zum Automechaniker absolvierte Ruedi Hafner eine Weiterbildung als Baumaschinenmechaniker und war mehrere Jahre auf diesem Beruf tätig. Auf der Suche nach einer neuen Herausforderung absolvierte er danach bei der Firma Bucher Kältering eine zusätzliche Ausbildung zum Kälteinstallateur und bildete sich anschliessend zum Kältetechniker weiter. 1976 wechselte er in die Schrotthandelsbranche und arbeitete zehn Jahre als Abbruch-Leiter für die Firma Metheil AG. 1986 gründete er zusammen mit zwei Partnern die Firma Immark AG, wo er bis 2008 als Technischer Direktor tätig war. Seit 2008 ist Ruedi Hafner Geschäftsführer der Firma Hareca GmbH, welche Unternehmen in der Recyclingbranche im In- und Ausland berät.

Quecksilber aus Energiesparlampen

Vom Faszinosum zum verbotenen Stoff

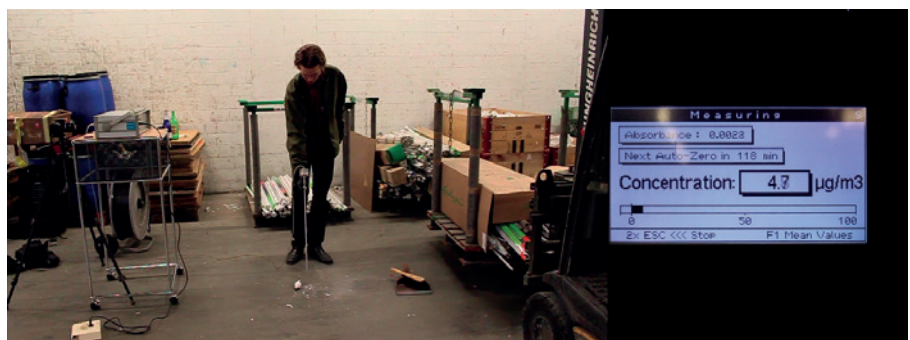
Als sich der Kalif von Cordoba um das Jahr 1000 einen neuen Palast bauen liess, soll im Zentrum des goldenen Salons ein mit Quecksilber (Hg) gefülltes Becken die Besucher mit seinen Lichtspielen verzaubert haben. An der Weltausstellung 1937 in Paris konnte der Quecksilberspringbrunnen von Alexander Calder bewundert werden, der heute noch im Miro Museum in Barcelona besichtigt werden kann – allerdings hinter Glas. Paracelsus, der vielzitierte Entdecker des Zusammenhangs zwischen Dosis und Giftwirkung, empfahl die innerliche Anwendung von Quecksilber zu medizinischen Zwecken. Tragischerweise erkannte Paracelsus zwar den Zusammenhang zwischen Dosis und Gift, erlag selbst jedoch einer Quecksilbervergiftung. Noch vor wenigen Jahren wurde Quecksilber als Amalgam für Zahnfüllungen und zur Desinfizierung eingesetzt (z. B. in Vita Merfen-Salbe bis in die 1990er Jahre). Heute ist es in offenen und geschlossenen Anwendungen weitgehend verboten. Ausgenommen sind Energiesparlampen, die nach dem Prinzip der Gasentladung funktionieren. Die Funktionsweise beruht auf Anregung der Elektronen in den Quecksilberatomen, die beim Rücksprung auf das nicht angeregte Niveau UV-Strahlung aussenden. Die UV-Strahlung wird durch das Leucht Pulver auf der Glasoberfläche in sichtbares Licht umgewandelt.

Messungen in Einkaufszentren und Verteilzentralen

Beim Bruch von Energiesparlampen (ESL) wird elementares Quecksilber als Dampf freigesetzt. Energiesparlampen enthalten je nach Alter 2-20 mg Hg. Es stellt sich deshalb die Frage, ob das Quecksilber die Gesundheit gefährden kann, wenn eine Person das freigesetzte Quecksilber einatmet. Mit einem Messkonzept wurden verschiedene, möglicherweise kritische Situationen bei Sammelstellen und in der Vertriebszentrale eines Grossverteilers unter realistischen Bedingungen ausgemessen: Energiesparlampen beim Einwurf in den Sammelbehälter durch den Konsumenten, beim Bruch am Boden, bei der Lagerung und beim Umschlag von Gebinden. Die Messungen wurden mit einem kontinuierlich messenden Gerät vorgenommen und die Anzeige der Quecksilber-Konzentrationen wurde parallel gefilmt, so dass sich der Konzentrationsverlauf simultan ablesen liess (vgl. Bild).

Mit der kontinuierlichen Messung lassen sich die Zusammenhänge zwischen Ort, Zeit und Kon-

zentration viel präziser erfassen als mit punktuellen Einzelmessungen. Die Spitzenkonzentrationen liegen beim Bruch unmittelbar über dem Boden. Die Werte verschiedener Situationen sind in Tabelle 1 aufgeführt. Mit zunehmender Messhöhe sinkt die Konzentration von Quecksilber in der Luft rasch. Auf Kopfhöhe war bei den Messungen nur ein leichter bis gar kein Anstieg messbar. Der Unterschied zwischen den Energiesparlampen und den klassischen Fluoreszenz-Röhren ist signifikant. Beim Bruch einer Fluoreszenz-Röhre wird der MAK-Wert (Maximale Arbeitsplatzkonzentration) für kurze Zeit überschritten. In allen anderen Situationen, die gemessen wurden, konnte entweder kein oder nur ein sehr kleiner Anstieg der Quecksilberkonzentration gemessen werden. Die Hintergrundkonzentrationen betragen in allen ausgemessenen Räumen in den Verkaufs- und Verteilzentralen weniger als $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Hg. Das allenfalls durch den Bruch von Leuchtmitteln freigesetzte Quecksilber wird durch den Luftwechsel sehr rasch auf nicht messbare Konzentrationen unter der Nachweisgrenze verdünnt.



Messung der Quecksilberkonzentration nach dem Bruch einer Energiesparlampe

Tabelle 1: Gemessene Hg-Konzentrationen in verschiedenen Situationen, während dem Sammeln und Rückführen von ESL und stabförmigen FL

Messsituation	Anzahl Ereignisse	Spitzenwerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Durchschnittswerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Expositionsdauer [s]
1: Bruch ESL auf dem Boden mit anschliessendem Aufwischen	4	2	0.5	90
		97	15	100
		46	6	90
		33	9	90
2: Bruch FL-Röhre 36 cm auf dem Boden mit anschliessendem Aufwischen	1	268	76	100
3: Einwurf ESL in Sammelstelle ohne Beschädigung	1	< 0.1	< 0.1	nicht relevant
4: Einwurf ESL in Sammelstelle mit Beschädigung	1	34	9	50
5: Zwischenlagerung in Verteilzentrale bei Anlieferung	2	nicht relevant	8 5	je nach Arbeitsgang mehrere Minuten
6: Lagerung in Transportgebinde in Verteilzentrale	3	nicht relevant	1	mehrere Minuten
			2	
			6	
7: Umschlag Leuchtmittel in Verteilzentrale	1	nicht relevant	< 0.1	je nach Arbeitsgang mehrere Minuten

Tabelle 2: Dosis eines Ereignisses im Verhältnis zur Hintergrundbelastung pro Jahr und einer MAK-Spitze

Ausgemessene Situationen gemäss Tabelle 1	Maximal aufgenommene Hg-Dosis [μg]	Anteil bezüglich Hintergrundbelastung urban pro Jahr	Anteil bezüglich einer MAK-Spitze
1: Bruch ESL auf dem Boden mit anschliessendem Aufwischen	0.4	0.5 %	0.4 %
2: Bruch FL-Röhre 36 cm auf dem Boden mit anschliessendem Aufwischen	2.0	2.4 %	2.1 %
3: Einwurf ESL in Sammelstelle ohne Beschädigung	< 0.001	< 0.002 %	< 0.001 %
4: Einwurf ESL in Sammelstelle mit Beschädigung	0.1	0.1 %	0.1 %
5: Zwischenlagerung in Verteilzentrale bei Anlieferung: 30 Minuten arbeiten an der Palette	3.7	4.5 %	3.9 %
6: Lagerung in Transportgebinde in Verteilzentrale: 30 Minuten arbeiten an der Palette	3	3.5 %	3.1 %
7: Umschlag Leuchtmittel in Verteilzentrale	< 0.05	< 0.06 %	< 0.1 %

Risiko durch Quecksilber unbedeutend

Für die Risikoabschätzung wurde die maximal aufgenommene Quecksilber-Dosis der jeweiligen Situation mit der Hintergrundbelastung und den arbeitshygienischen Höchstwerten verglichen (Tabelle 2). Dabei wurden konservative Annahmen getroffen. Insbesondere wurde die Quecksilber-Konzentration direkt neben der Bruchstelle für die Berechnungen verwendet. Bei allen Ereignissen und Arbeitsabläufen in den Sammelstellen und Verteilzentren sind die maximal inhalierbaren Quecksilbermengen 20 bis 1000 mal kleiner als die jährlich aufgenommenen Mengen aus der Hintergrundkonzentration im Siedlungsraum. Auch der Vergleich der beruflichen Expositionen mit einer gerade noch erlaubten Kurzzeitspitze gemäss MAK-Liste zeigt, dass die aufgenommenen Quecksilber-Mengen weit unter den erlaubten Höchstmengen liegen. Das Quecksilber aus einer zerbrochenen Energiesparlampe und die Arbeit mit Gebinden während der Rücknahme von Energiesparlampen stellen keine Gesundheitsgefährdung dar. Viel höher ist die Quecksilberbelastung aus nicht entfernten Amalgamfüllungen oder durch den Konsum von Meerfischen.

Auch wenn die Messungen deutlich zeigen, dass der Bruch einzelner Energiesparlampen oder Fluoreszenzröhren keine Gefährdung darstellt, so können sich im professionellen Umgang mit Leuchtmitteln dennoch Situationen ergeben, die Massnahmen zum Schutz der Gesundheit der Mitarbeiter verlangen. Wenn grosse Mengen von Leuchtmitteln gleichzeitig zerbrechen, oder wenn geschlossene Gebinde mit vielen zerbrochenen Leuchtmitteln geöffnet werden, können die Kurzzeit-MAK-Werte überschritten werden. In diesen Fällen ist eine sofortige Belüftung des Raumes nötig und alle Mitarbeiter sollten den Raum verlassen, bis er ausgelüftet ist.

Umweltbelastung durch das Recycling

Anhand einer umfangreichen Studie über die Quecksilberrückhaltung aus stabförmigen FL-Röhren in schweizerischen und ausländischen Recyclingbetrieben¹¹ und der vorhandenen statistischen Daten lassen sich Quecksilber-Frachten in der Schweiz abschätzen. Die Frachten umfassen die Quecksilbermenge, die in der Schweiz jährlich in allen gesammelten Leuchtmitteln enthalten ist. Ein Teil davon gelangt während der Sammlung und dem Transport durch Bruch in die Umwelt. Ein Teil davon während dem Sammeln und Rückführen durch Bruch. Ein weiterer Teil durch nicht vermeidbare Emissionen während des Recyclingprozesses selbst. In der Tabelle 3 sind die abgeschätzten Werte der einzelnen Lampentypen angegeben.

Für die Abschätzung der Emissionen wurde eine Bruchrate während der Rückführung zum Recycler von 5% (FL-Röhren) resp. 7% (Energiesparlampen) angenommen. Bei denjenigen Leuchtmitteln, die intakt zum Recycler gelangen, wurde an-

genommen, dass 90% des Input-Quecksilbers in den entsprechenden Systemen zurückgehalten werden. Die verbleibenden 10% gelangen diffus während der Verarbeitung und Lagerung und als Restgehalte in den verwertbaren Fraktionen von Glas und Metallen in die Umwelt. Diese Zahlen stammen aus einer umfangreichen Massenbilanzanalyse in schweizerischen Recyclingbetrieben¹⁴.

Quecksilber-Emissionen aus der Entsorgung von Leuchtmitteln sind im Vergleich zu den gesamten Emissionen (Tabelle 3) unbedeutend. Die Hauptquelle von Quecksilberemissionen in der Schweiz stammen aus der Stahlerzeugung und der Verbrennung von Erdölprodukten. Weltweit am bedeutendsten sind die Kohleverbrennung und der informelle Goldbergbau in Kleinstbergwerken, wo mit einfachsten Mitteln Gold mit Quecksilber aus dem Erz extrahiert wird.

Der ausführliche Bericht zu den Messungen und Risikobewertungen ist auf der Webseite der SLRS (www.slrs.ch) erhältlich.



Ueli Kasser

Chemiker, dipl. chem. / lic. phil. nat. an der Universität Bern und der ETH Zürich sowie Nachdiplomkurse (INDEL, Nachdiplomkurs über Probleme der Entwicklungsländer).

Nachdem er zuerst als freier Mitarbeiter in den Bereichen Radioökologie, Ökotoxikologie und Arbeitshygiene tätig war, wurde er Mitinhaber von ökoscience – Beratungsbüro für angewandte Ökologie in Zürich sowie Projektleiter in den Bereichen Luftthygiene, Umweltberatung und Ökotoxikologie. Bis heute ist Ueli Kasser Inhaber des «büro für umweltchemie» in Zürich, welches auf Beratungen im Bereich Abfall, Chemikaliensicherheit, Baustoffökologie und Innenraumluftqualität spezialisiert ist. Neben seiner Lehrtätigkeit ist er Auditor für Umweltmanagementsysteme nach ISO 14001. Seit Mitte der Neunzigerjahre ist Ueli Kasser Kontrollexperte für Recyclingbetriebe im Auftrag der Stiftung SENS, erarbeitete die Standards und Richtlinien für die Kontrolltätigkeit und ist Vertreter der Stiftung SENS im Europäischen Verband sowie Consultant im Europäischen Normenprojekt WEEELABEX.

Tabelle 3: Hg-Emissionen von Gasentladungslampen im Vergleich zu anderen Quellen

Gasentladungslampen Typ	Hg-Fracht pro Jahr	Hg-Emissionen pro Jahr	Hg-Emissionen pro Kopf und Jahr in der CH
Gesammelte Leuchtmittel insg. gem. Statistik	80 – 90 kg/a	≈ 11 - 13 kg/a	1.6 mg/a
– davon stabförmige Leuchtmittel (FL-Röhren)	70 – 80 kg/a	≈ 9 - 10 kg/a	1.3 mg/a
– davon nicht stabförmige Leuchtmittel (Energiesparlampen, Hochdruckgasentladungslampen)	≈ 10 kg/a	≈ 1.7 kg/a	0.2 mg/a
Gesamte atmosphärische Hg-Emissionen zum Vergleich	Jahr	Hauptquelle	pro Kopf und Jahr
– Schweiz ¹²	2011	Stahlerzeugung, Erdölprodukte	29-53 mg/a
– Weltweit ¹³	2010	Gold-Kleinstbergbau, Kohlekraftwerke	284 mg/a



Daniel Savi

Als diplomierter Umweltwissenschaftler ETH sammelte Daniel Savi seine erste Berufserfahrung im Zivildienst für den WWF Zürich. Danach war er sieben Jahre für die Stiftung SENS tätig, zuerst als Leiter Bereich Sammelstellen, darauf als Leiter Qualitätssicherung SENS-Label. In seiner aktuellen Tätigkeit im büro für umweltchemie beschäftigt er sich mit den Umweltauswirkungen von Baustoffen und ökologischen Fragen zur Abfallverwertung.

¹¹ Hug, G., Renner, N., Erhebung von Quecksilberkonzentrationen in Fraktionen der Leuchtmittelverarbeitung, SENS & SLRS, Zürich 2010, www.eRecycling.ch

¹² Verbrauch und Verbleib von Quecksilber in der Schweiz mit Szenarien für eine künftige Regelung. Entwurf vom 5. November 2012. Bundesamt für Umwelt (BAFU)

¹³ UNEP, Global Mercury Assessment 2013, Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport. UNEP Chemicals Branch, Geneva, Switzerland, 2013

¹⁴ vgl. Fussnote 11

Photovoltaik im Trend – Recycling von Solarzellen

Die Solarbranche boomt – zumindest ist das die Wahrnehmung, die uns die Medien vermitteln. Die Nachfrage nach alternativer Stromerzeugung ist gross und wächst weiter; nicht zuletzt wird sie durch die sinkenden Modulpreise, die attraktiven Kostendeckenden Einspeisevergütungen (KEV) und die Tatsache, dass eine eigene Photovoltaik-Anlage auf dem Dach im Trend ist, getrieben. Die KEV ist in der Schweiz das staatliche Programm zur Förderung der erneuerbaren Energien. Dabei wird unter anderem auch der durch Photovoltaik produzierte und ins Stromnetz eingespeiste Strom zu einem Vorzugspreis vergütet. Die KEV-Preise sind aber nicht statisch, sondern werden den sinkenden Anschaffungs- und Installationskosten und somit den Marktgegebenheiten angepasst.

Anders sieht es bei den Herstellern der Branche aus: Wegen der staatlichen Förderprogramme in Europa hat die Nachfrage nach Photovoltaik enorm zugenommen, woraufhin die Industrie ihre Produktionskapazitäten massiv ausgebaut hat. Infolge der Rezession und des Rückgangs der Förderprogramme sank auch die Nachfrage wieder. Die Industrie hatte die Kapazitäten aber bereits hochgefahren; das resultierende Überangebot führte zu überfüllten Lagern und zu Preissenkungen. Die Unsicherheit und das zögerliche Verhalten der Politik (zum Beispiel durch Beschränkung der KEV) führen in der Industrie zu einer abwartenden Haltung. Der Druck, der auf der Industrie lastet, ist hoch.

Was geschieht nun auf dem Markt bezüglich der Rückproduktion?

Die ersten Photovoltaik-Anlagen sind heute ungefähr 15 Jahre alt und kommen langsam ans Ende ihrer Lebensdauer – somit müssen diese Anlagen bald zurückgenommen und entsorgt werden. Die Menge der zu rezyklierenden Photovoltaik-Module ist aktuell noch ziemlich gering, und die Pho-

tovoltaik-Recycling-Branche steckt noch in den Kinderschuhen. Was ist nun der aktuelle Stand der Technik und Forschung?

Übersicht der Photovoltaik-Technologien

Die nachfolgenden Erläuterungen geben nur einen groben Einblick in die sich noch stark verändernde Welt der Photovoltaik-Modultypen. Im Allgemeinen wird heute bei Photovoltaik-Modulen zwischen siliziumbasierten und nicht siliziumbasierten Modulen unterschieden. Die nicht siliziumbasierten Module sind auf dem Markt als Dünnschichtmodule bekannt, wie sie zum Beispiel auch in Uhren vorkommen. Deren Vorteil ist die günstige und energieeffiziente Herstellung; ihr Wirkungsgrad ist jedoch gering. Bei den siliziumbasierten Modulen differenziert man zwischen polykristallinen und monokristallinen Modulen, die sich bezüglich Nutzung aber nur geringfügig unterscheiden. Ihr Vorteil ist der hohe Wirkungsgrad – ihre Herstellung hingegen ist aufwendig und energieintensiv. Es gibt noch weitere Modultechniken, die hier allerdings nicht aufgeführt werden, da ihr Marktanteil noch sehr gering ist.

Forschung zum Recycling

In der Energieerzeugung werden aktuell hauptsächlich siliziumbasierte Photovoltaik-Module eingesetzt, weil deren Wirkungsgrad um einiges höher ist als derjenige von Dünnschichttechnologien. Der Aufwand zur Herstellung von reinem Silizium, das wiederum zur Herstellung von siliziumbasierten Photovoltaik-Modulen benötigt wird, ist jedoch sehr hoch. Aus diesem Grund wäre das Recycling einzelner Photovoltaik-Module ohne Zerstörung äusserst interessant. Ein solches Verfahren wird auch als «hochwertiges Recycling» bezeichnet.

Beim hochwertigen Recycling wird versucht, das Modul so zu bearbeiten, dass es wieder wie ein Originalmodul verwendet werden kann – es wird

sozusagen zurück in den Rohzustand versetzt. In Pilotanlagen ist die Rückgewinnungsquote erstaunlich hoch; es handelt sich dabei jedoch um manuelle Prozesse und um Kleinmengen. Viele Firmen, die sich mit hochwertigem Recycling beschäftigten, haben diese Geschäftstätigkeit wieder beendet. Sie sind alle nicht über den Status eines Pilotbetriebs hinausgekommen. Nur sehr wenige Firmen sind weiter auf dem Markt. Die meisten dieser Firmen verarbeiten Abfallmodule aus der Produktion, weil noch viel zu wenige Altmodule zurückkommen. Prozesstechnisch haben sich aber keine Verfahren wirklich durchgesetzt.

Das Flachglasrecycling hingegen ist ein niederwertiges Recycling. Es zerkleinert alle Photovoltaik-Module nach dem herkömmlichen Ansatz, möglichst kleine Fraktionen zu erstellen, damit die Rohstoffe einfacher herausgearbeitet werden können. Mit diesem Ansatz können aber nur die wenigsten Rohstoffe ökonomisch zurückgewonnen werden. Durch dieses Downcycling wird eine Rückführung der meisten Stoffe in die Wertschöpfungskette verhindert.

Voraussetzung für ein erfolgreiches Recycling

Damit Recycling ökonomisch interessant ist, muss die Menge an retournierten Modulen wachsen – nur so können die kleinen Mengen an wertvollen Metallen rentabel zurückgewonnen werden. Nach einer ersten groben Schätzung wird diese Menge in der Schweiz erst in etwa 20 bis 30 Jahren ein attraktives Ausmass annehmen (in Europa in etwa 10 bis 20 Jahren). Alle Firmen, die sich weltweit mit Recyclingtechnologien beschäftigen, recyceln somit aktuell nur Kleinmengen und nutzen daher manuelle Abläufe. Hinzu kommt, dass die Effizienzsteigerung der Photovoltaik-Module und die Einsparung an Rohstoffen bei der Herstellung der Module umgekehrt proportional zum Recyclingpotential ist: Je weniger Material in den Modulen

steckt, desto grösser ist die benötigte Menge an Altmodulen, um den Aufwand, die Wertstoffe gesondert herauszutrennen, auszugleichen. Aktuell also eine schwierige Situation.

Was sagt denn die Gesetzgebung?

Bei den gesetzlichen Vorgaben, wie Photovoltaik-Abfall behandelt werden soll, gehen die Schweiz und die EU ähnliche Wege. Die Entsorgung war bis anhin nicht geregelt. Weil aber in naher Zukunft die Abfallmenge stark steigen wird, wird es als notwendig erachtet, dies zu regeln. Mit der Aufnahme der Photovoltaik-Module in die Elektroschrott-Richtlinie (Waste Electrical and Electronic Equipment, WEEE) hat die EU einen ersten Schritt gemacht. Die Schweiz möchte dies mit der revidierten Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte (VREG) ebenfalls regeln. Ein hochwertiges Recycling ist aber in beiden Richtlinien nicht vorgeschrieben und ein Downcycling wird per Verordnung nicht verhindert. So gibt die WEEE-Direktive nur vor, nach Best Practice bzw. Stand der Technik zu verwerten. In einem Punkt stimmen beide aber überein: Es muss getrennt gesammelt werden.

Recycling von Solarzellen – Wie weiter?

Photovoltaik-Anlagen werden in wachsendem Ausmass installiert, wodurch das Recycling von Solarzellen irgendwann notwendig und auch genügend attraktiv sein wird. Es sind aber noch einige Schritte zu tun, bis es soweit ist. Die Stiftung SENS beschäftigt sich schon heute aktiv mit diesem Thema und ist mit namhaften Vertretern der Branche in Kontakt. So kann die Stiftung SENS die Zukunft mitgestalten und das Recycling von Wertstoffen zum Positiven hin beeinflussen.



Roman Eppenberger

Roman Eppenberger schloss sein Studium als dipl. El. Ing ETHZ ab. Berufsbegleitend absolvierte er ein Nachdiplomstudium Executive MBA in der Fachhochschule Ostschweiz. Die ersten Industrieerfahrungen machte er als Ingenieur und Projektleiter in der Branche «Robotik für Medizin und Pharmazie». Als Produktmanager wechselte er in den Contactless-Bereich der Firma LEGIC (KABA), wo er für den weltweiten Einkauf der Halbleiterprodukte verantwortlich war. Seit 2012 ist Roman Eppenberger bei der Stiftung SENS als Geschäftsleitungsmitglied angestellt und leitet den Bereich Operations. In dieser Funktion koordiniert er zusammen mit Heinz Böni die Technische Kommission Swico/SENS.

Entsorgung von Automobilelektronik

Ein Musterbeispiel für die «Technologisierung» unseres Alltags ist der moderne Personenwagen. Die gestiegenen Anforderungen bezüglich Kommunikation, Sicherheit aber auch Energieversorgung haben zur Folge, dass in Personenwagen die Elektronik stetig mehr Funktionen übernimmt. Dementsprechend nimmt auch die Anzahl elektronischer oder elektronisch gesteuerter Bauteile in einem Fahrzeug zu. Für das Jahr 2010 wird geschätzt, dass die Elektronik ca. 30 % des gesamten Materialwertes eines Fahrzeuges ausmacht. Umso erstaunlicher ist es, dass bei der Verarbeitung von Altfahrzeugen darauf kaum Rücksicht genommen wird.

Die Rückgewinnung von seltenen Metallen¹⁵ aus elektronischen Anwendungen ist eine logistische und technologische Herausforderung, insbesondere auch aufgrund der im Vergleich zu klassischen Industriemetallen wie Stahl oder Aluminium deutlich geringeren Konzentrationen. Eine Grundvoraussetzung für die Rückgewinnung der seltenen Metalle aus der Automobilelektronik sind deshalb Kenntnisse zu Konzentrationen sowie Verteilungen der seltenen Metalle in den entsprechenden Bauteilen, wie auch in einem Personenwagen insgesamt. Eine der wenigen grösseren Untersuchungen, welche u.a. auch gewisse seltene Metalle in der Automobilelektrik und -elektronik betrachtete, wurde im Rahmen des von der EU co-finanzierten Projekts SEES (2006)¹⁶ gemacht. Umfassende und tiefergehende Kenntnisse, in welchen Konzentrationen sich welche seltenen Metalle in Bauteilen aus Altfahrzeugen finden, fehlen bis heute jedoch weitgehend.

Um die Anstrengungen in Richtung einer Rückgewinnung von seltenen Metalle aus der Automobilelektronik zu intensivieren, hat das Bundesamt für Umwelt (BAFU) das Projekt „Verwertungspotential seltener Metalle in der Automobilelektronik“ lanciert (Abbildung 1). Die Motivation für dieses Projekt ist die Beantwortung der Frage, inwiefern es ökonomisch und ökologisch Sinn macht, seltene Metalle aus elektronischen Bauteilen in Altfahrzeugen in der Schweiz zurückzugewinnen.

Am Projekt beteiligt sind das BAFU, das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL), die Vereinigung der offiziellen Autosammelstellen-Halter der Schweiz und des Fürstentums Liechtenstein (VASSO), die Stiftung Auto-Recycling Schweiz (SARS), die Automobil- und Motoren AG (AMAG), die Vereinigung Schweizer Automobil-Importeure (auto-schweiz), das Sustainable Engineering Network Switzerland (SEN) sowie die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa. Nachdem die geplanten Zerlege- und Schredderversuche stattgefunden haben, steht das Projekt vor dem Abschluss von Modul 3 «Auswertung und Diskussion der Resultate».

A	Potential zur STM-Verwertung aus der Autoelektronik abschätzen
	Modul 1: Systemübersicht und Probenahmekonzept
	Modul 2: Probenahme, Probenaufbereitung und Analytik
	Modul 3: Auswertung, Diskussion der Resultate und Berichterstattung; Massnahmen zur Orientierung des Systems
B	Ökonomische und ökologische Bedeutung der Massnahmen
C	Validierung der Resultate und der vorgeschlagenen Massnahmen

Abbildung 1: Komponenten des Projektes «Verwertungspotential seltener Metalle in der Automobilelektronik»

¹⁵ Als «selten» werden Metalle bezeichnet, wenn sie in der Erdkruste in durchschnittlichen Konzentrationen von weniger als 0.01 Gew-% vorkommen.

¹⁶ Sustainable Electrical & Electronic System for the Automotive Sector; siehe auch: <http://www.sees-project.net/>

¹⁷ Von 2005 bis 2009 hat sich die Anzahl der geschredderten Fahrzeuge gemäss SARS (2011) kontinuierlich von ca. 130'000 auf 60'000 verringert (siehe auch Abbildung 4) und ist im Jahr 2010 wieder auf 80'000 Fahrzeuge angestiegen. Die Anzahl der geschredderten Fahrzeuge hängt von der jeweiligen Marktsituation ab (allgemeine wirtschaftliche Lage, Metallpreise, Exportbeschränkungen etc.).

Automarkt Schweiz

In Abbildung 2 sind die Mengenströme im Automobilmarkt Schweiz für das Jahr 2010 zusammengefasst. In diesem Jahr belief sich der Bestand an Personenwagen auf 4,1 Millionen Personenwa-

gen und es wurden fast 300'000 Neuwagen verkauft. Im selben Jahr wurden gemäss der Eidgenössischen Zollverwaltung 90'000 Fahrzeuge als exportiert gemeldet und in den Schweizer Schredderwerken knapp 80'000 Fahrzeuge geschred-

dert¹⁷. Zwischen der Erstinverkehrssetzung eines Fahrzeugs und der Annullierung des Fahrzeugausweises liegen durchschnittlich 15 Jahre. Ein trockengelegtes Altfahrzeug wiegt bei der Anlieferung im Schredderwerk durchschnittlich 850 Kilogramm.

Abbildung 2: Systemübersicht Personenwagen, Schweiz 2010.

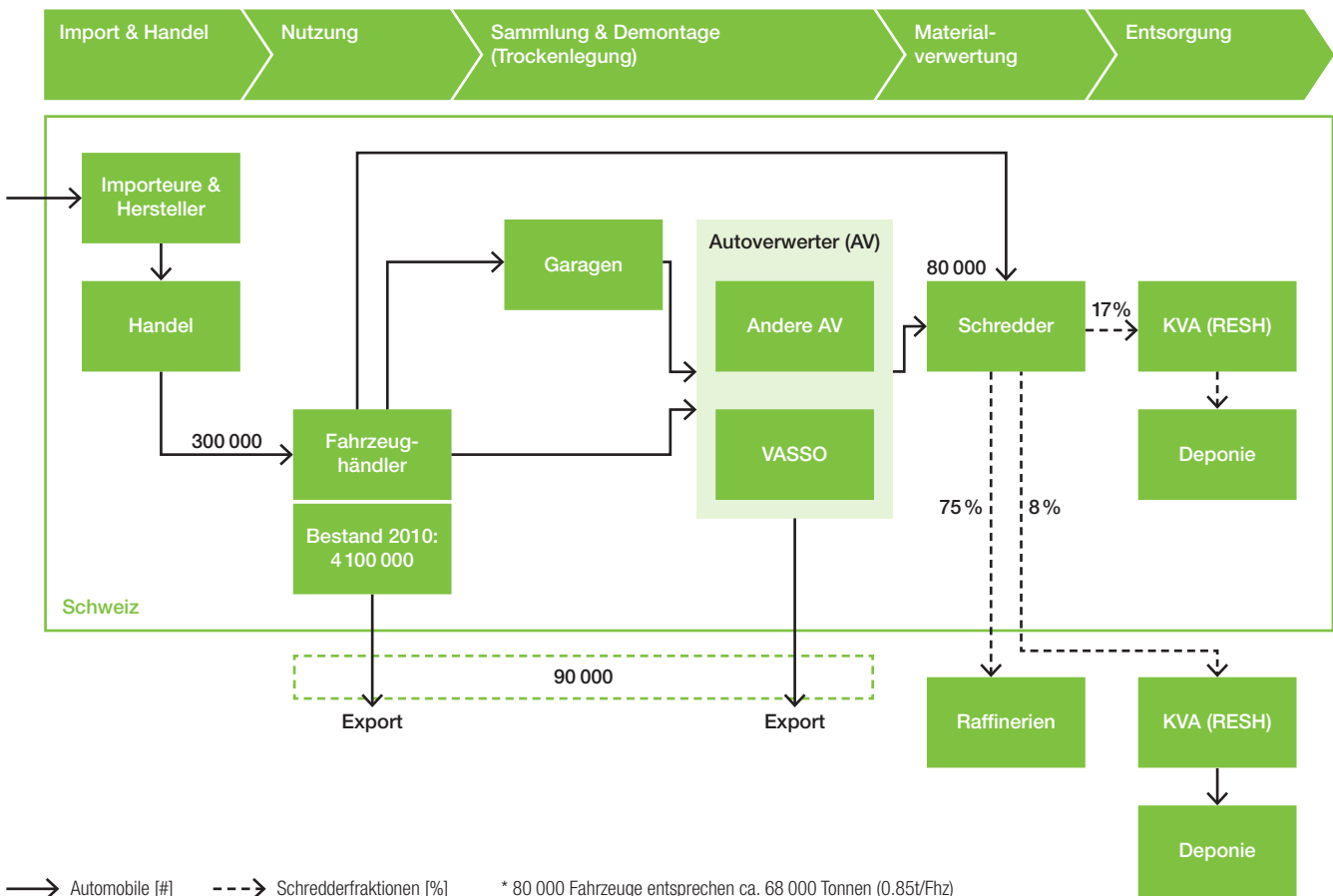
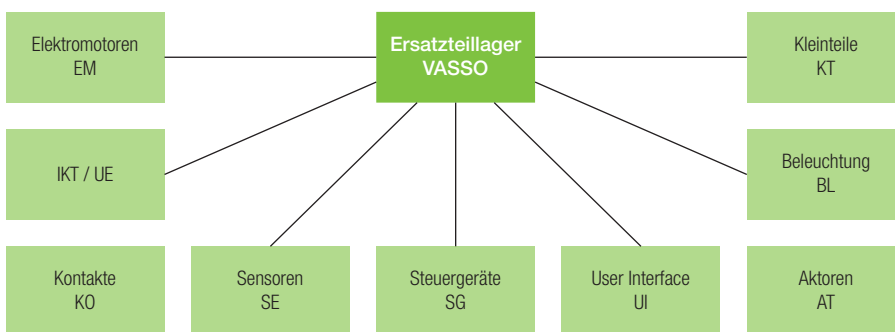


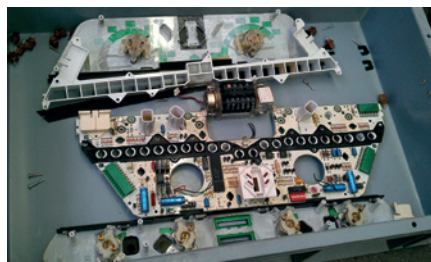
Abbildung 3: Gruppen, in welche die elektronischen Bauteile eingeteilt wurden (IKT UE = Informations- und Kommunikationstechnologie & Unterhaltungselektronik).



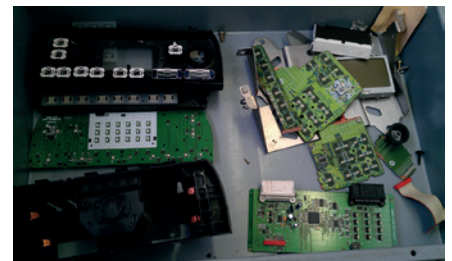
Zerlegeversuche

Rund 100 kg elektronische und elektrische Automobilkomponenten aus den sechs Gruppen EM, IKT/UE, KO, SE, SG und UI (Abbildung 3) wurden bei Dock St. Gallen (Swico/SENS Zerlegebetrieb) und an der Empa zerlegt (Abbildung 4). Ziel der Zerlegeversuche ist es, die Verteilung seltener Metalle im Input der mechanischen Aufbereitung abzuschätzen.

Abbildung 4: Zerlegte Komponenten und aufbereitete Proben aus Automobil-Elektronikgeräten



Tachoinstrumente/Cockpit, zerlegt



Mittelkonsole (Komfort/Unterhaltung), Mittelkonsole (Komfort/Unterhaltung), unzerlegt & zerlegt

Schredderversuch

Mit insgesamt 100 Fahrzeugen (ca. 95 t Gesamtgewicht) wurde ein Schredderversuch auf der Anlage der Thommen AG, Kaiseraugst (SENS Recycler) durchgeführt (Abbildung 5). Ziel des Schredderversuchs ist es, die Frachten seltener Metalle und ihre Verteilung auf die Outputfraktionen abzuschätzen.

Analyseresultate

Zur Bestimmung der Konzentrationen seltener Metalle in den verschiedenen Fraktionen mussten bestehende Methoden getestet und angepasst werden. Eine erste vorläufige Auswertung der Analyseresultate für die Outputfraktionen zeigt, dass sich die seltenen Metalle vor allem in den Aluminium- und Eisenfraktionen wiederfinden lassen.

Abbildung 5: Schredder-Input und Proben aus den Output-Fraktionen



SLF: Shredder Leichtfraktion

Fe clean: Eisenfraktion

Alu grob: Aluminium nach Wirbelstromscheider 1

Alu fine: Aluminium nach Wirbelstromscheider 2

Sieb: Siebtrommelfraktion

RoGu: CrNi, Gummi, Holz, ...

retour: verschiedene Fraktionen, die wieder zurück in den Shredder gegeben werden



Rolf Widmer

Rolf Widmer schloss sein Studium als dipl. El. Ing (MSc ETH EE) sowie sein Nachdiplomstudium NADEL (MAS) der ETH in Zürich ab. Er forschte mehrere Jahre am Institute für Quantenelektronik der ETH und arbeitet heute am Technology & Society Lab der Empa, das Materialforschungsinstitut des ETH Bereichs. Zurzeit leitet Rolf Widmer etliche Projekte im Bereich des Elektroschrott Management und in diesem Zusammenhang an geschlossenen Materialkreisläufen der Elektromobilität. Sein besonderes Interesse gilt der Rückgewinnung seltener Metalle, die sich zunehmend in den «urbanen Minen» ansammeln.



Patrick Wäger

Nach dem Chemiestudium an der ETH Zürich und einer anschliessenden Dissertation am Institut für Toxikologie der ETH und Universität Zürich war Patrick Wäger zwei Jahre als Umweltberater bei der Elektrowatt Ingenieurunternehmung Zürich, tätig. Seither hat er als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter an der Empa in zahlreichen Forschungsprojekten zu Abfallentsorgung und Rückgewinnung von Rohstoffen aus End-of-Life-Produkten mitgewirkt, ist als Kontrollexperte für die Stiftung SENS und Swico Recycling tätig und war vorübergehend auch Lead Auditor für Umweltmanagementsysteme nach ISO 14001. Patrick Wäger hat verschiedene Lehraufträge im Bereich Umwelt- und Ressourcenmanagement und ist u.a. Mitglied des Vorstandes der Schweizerischen Akademischen Gesellschaft für Umweltforschung und Ökologie (SAGUF). Der aktuelle Schwerpunkt seiner Arbeit liegt in der Erforschung von Strategien für einen nachhaltigeren Umgang mit nicht erneuerbaren Rohstoffen, insbesondere seltene Metalle.

Internationale Links

www.ewasteguide.info

Eine Informations- und Quellensammlung rund um das Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten.

www.weee-forum.org

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

www.step-initiative.org

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

Nationale Links

www.eRecycling.ch

www.swicorecycling.ch

www.srs.ch

www.e-waste.ch

Eine Übersicht der Schweizer Akteure beim Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten.

www.swissrecycling.ch

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

www.empa.ch

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

www.bafu.admin.ch

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

Kantone mit delegiertem Vollzug

www.awel.zh.ch

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

www.ag.ch/bvu

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

www.umwelt.tg.ch

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

Kontakt

Stiftung SENS

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

Technische Kontrollstelle SENS

Koordination TK-SENS
Roman Eppenberger
Obstgartenstrasse 28
8006 Zürich
Telefon + 41 43 255 20 00
Fax + 41 43 255 20 01
roman.eppenberger@sens.ch

Swico

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

Technische Kontrollstelle

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

Stiftung Licht Recycling Schweiz SLRS

Altenbergstrasse 29
Postfach 686
3000 Bern 8
Telefon + 41 31 313 88 12
Fax + 41 43 31 313 88 99
info@slrs.ch
www.slrs.ch

Impressum

Herausgeberin

Swico
Stiftung SENS
Stiftung Licht Recycling Schweiz SLRS

Bilder

Seite 11: Ueli Kasser, Büro für Umweltchemie
Seite 13: Heinz Böni, Empa
Seite 22: Daniel Savi, Büro für Umweltchemie
Seiten 29/30: Patrick Wäger, Empa

Druck

Schellenberg Druck AG, Pfäffikon ZH



Gedruckt auf Amber Graphic Offset, FSC

Der Fachbericht erscheint auf Deutsch, Englisch, Französisch und ist unter www.eRecycling.ch, www.swicorecycling.ch und www.slrs.ch als PDF abrufbar.

© 2013 SENS / Swico / SLRS
Abdruck erwünscht mit Quellenangabe und Belegexemplar an die Stiftung SENS / Swico / SLRS

