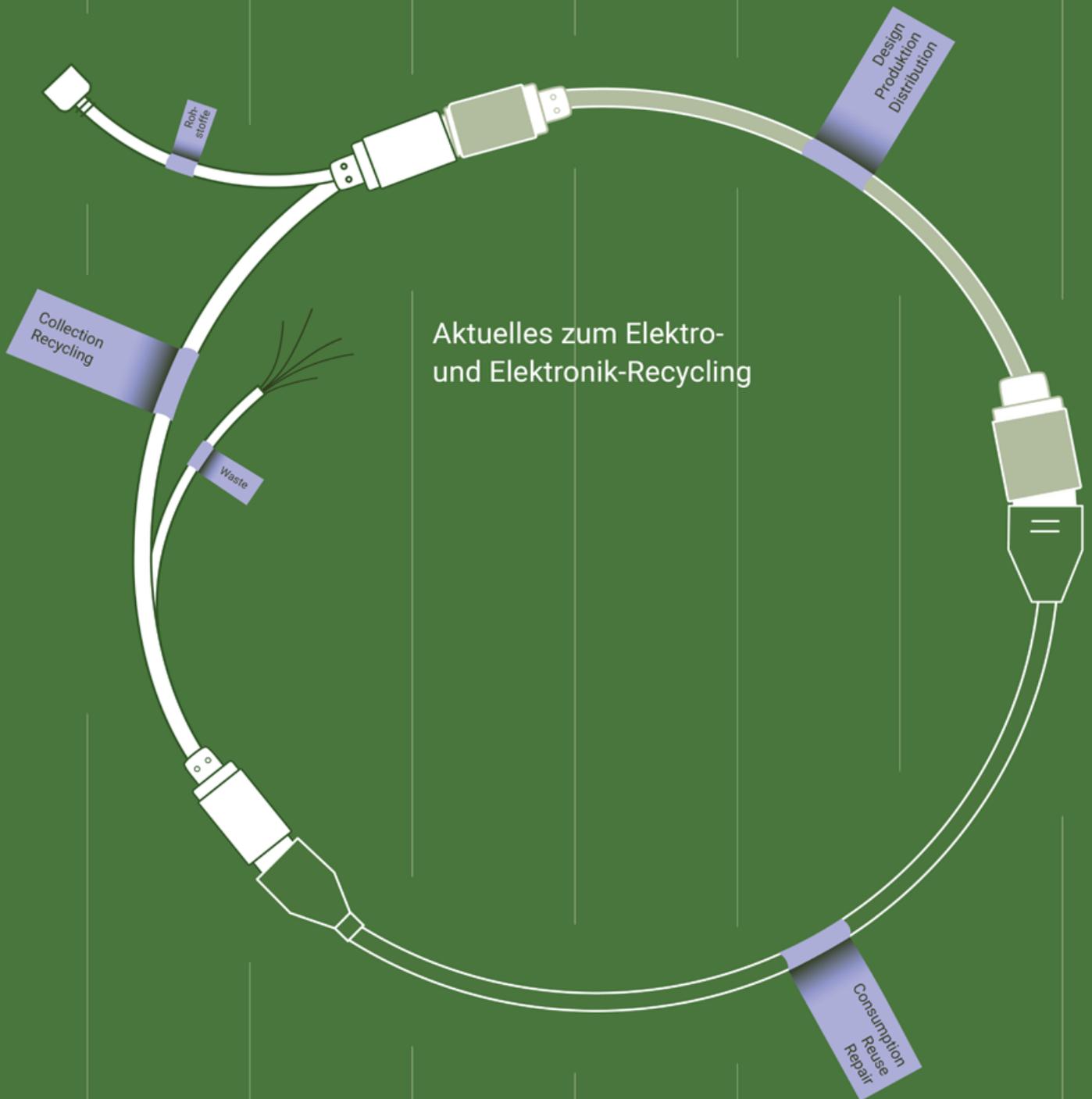


Swico und SENS

# FACHBERICHT 2023



# Einführung, Optimierung und Freigabe einer neuen Recyclinganlage

Andreas Bill, Heinz Böni und David Wampfler

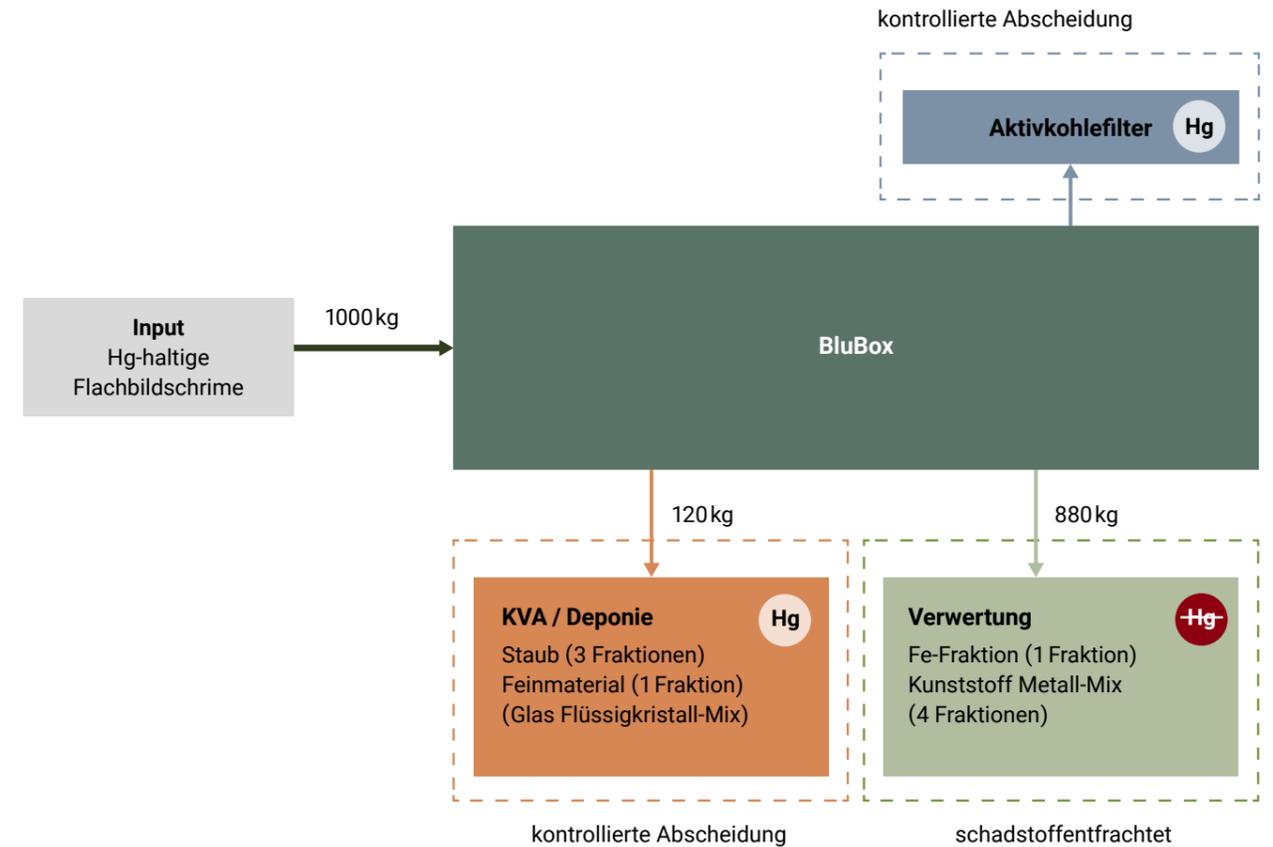
**Quecksilberhaltige Hintergrundbeleuchtungen stellen eine grosse Herausforderung bei der Weiterverarbeitung von Flachbildschirmgeräten dar. In der Regel ist das Quecksilber in filigranen Glasröhrchen enthalten. Diese werden schweizweit in den Zerlegebetrieben mit grossem Aufwand händisch entnommen und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



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

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

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



## Unabhängige Konformitätsbewertung

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

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

prüfung einer genügenden Schadstoffentfrachtung beprobt werden.

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

## Resultate

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

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

## 7 Vollmechanische Verarbeitung von Flachbildschirmen

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

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

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

### Optimierungsarbeiten

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

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

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

### Freigabe und kontinuierliche Überwachung

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

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



Endfraktionen und Vormaterial zur weiteren Verarbeitung auf der optischen Sortieranlage

### Fazit

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



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



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



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



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



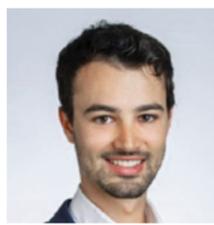
**Flora Conte**  
**TK SENS, Carbotech AG**  
 Flora Conte schloss ihren Master in Umweltnaturwissenschaften an der ETH Zürich mit Schwerpunkt Biogeochemie und Schadstoffdynamik ab. Seit 2013 arbeitet sie in der Abteilung Umweltberatung von Carbotech AG. Sie leitet verschiedene Projekte auf nationaler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



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



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



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



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



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



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



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



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



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



**Andrea Wehrli**  
**Projektleiterin e-conseg, Empa**  
 Dea Wehrli arbeitet als wissenschaftliche Mitarbeiterin bei der Empa, v.a. zu Themen der Kreislaufwirtschaft, darunter das Projekt e-conseg und die Entwicklung des ISO-Standards 59014 zu Secondary Materials. Auch ist sie Mitgründerin von [co]work, das einen Co-Working Space für informelle Elektroschrottzurleger in Indien aufbaut, und eines Unverpackt-Ladens in Zürich. Dea verfügt über einen Masterabschluss in Umweltwissenschaften der ETH Zürich und war nach ihrem Praktikum bei Swiss Recycling als Abfall- und Recyclingspezialistin für das WEF tätig. Während ihrer Arbeit für UN-IETC, ISWA und Sofies konnte sie auch Erfahrungen in Bereichen der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Abfallwirtschaft, Einweg-Plastikabfallverordnungen und Recyclingsystemen sammeln.



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