

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

## Auf dem Weg zu nachhaltigem Recycling von Elektroschrott und Altfahrzeugen in Entwicklungs- ländern - “Lessons learned” der Implementierung des Best-of-two- Worlds Konzeptes in Ghana und Ägypten

Ein zusammenfassender Abschlussbericht des Projektes  
Globale Kreislaufführung strategischer Metalle: Best-of-two-  
Worlds Ansatz (Bo2W) gefördert im Rahmen des BMBF-  
Programms r<sup>3</sup>- Strategische Metalle (FKZ 033R097A – D)

17. Februar 2016

Autoren

Dr. Matthias Buchert, Andreas Manhart, Dr. Georg Mehlhart,  
Stefanie Degreif (Öko-Institut e.V.)

Dr. Ir. Christina Meskers, Marcel Picard (Umicore)

Franziska Weber, Sascha Walgenbach, Torsten Kummer  
(Johnson Controls Power Solutions)

Dr. Rolf Blank (Vacuumschmelze GmbH & Co. KG)

Dr. Hossam Allam (CEDARE)

Jürgen Meinel, Vivian Ahiayibor (City Waste Recycling)

**Geschäftsstelle Freiburg**

Postfach 17 71  
79017 Freiburg

**Hausadresse**

Merzhauser Straße 173  
79100 Freiburg  
Tel. +49 761 45295-0

**Büro Berlin**

Schicklerstraße 5-7  
10179 Berlin  
Tel. +49 30 405085-0

**Büro Darmstadt**

Rheinstraße 95  
64295 Darmstadt  
Tel. +49 6151 8191-0

[info@oeko.de](mailto:info@oeko.de)  
[www.oeko.de](http://www.oeko.de)

Partner



**Öko-Institut e.V.**

Förderkennzeichen: FKZ 033R097A

**Vacuumschmelze**

Förderkennzeichen: FKZ 033R097C

**Umicore**

Förderkennzeichen: FKZ 033R097B

**Johnson Controls**

Förderkennzeichen: FKZ 033R097D

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>4</b>
<b>Abkürzungen</b>	<b>5</b>
<b>1. Hintergrund des Bo2W-Ansatzes</b>	<b>7</b>
<b>2. Das BMBF-geförderte Bo2W-Projekt</b>	<b>8</b>
<b>3. Ergebnisse und Projektaktivitäten</b>	<b>11</b>
3.1. Forschungsbeitrag 1: Mengenmodellierung	11
3.2. Forschungsbeitrag 2: Schulung und Wissenstransfer	13
3.3. Forschungsbeitrag 3: Unterstützung bei Entscheidungsprozessen	17
3.4. Forschungsbeitrag 4: Dialog mit Akteuren	21
3.5. Forschungsbeitrag 5: Pilotheftige Umsetzung des Bo2W-Konzepts	22
<b>4. Hindernisse bei der Umsetzung des Bo2W-Konzepts</b>	<b>24</b>
<b>5. Wie die Herausforderungen bewältigt werden können</b>	<b>26</b>
5.1. Verbesserter Zugang zu Abnahmemärkten	27
5.2. Start von B2B-Geschäftsbeziehungen	28
5.3. Anreize versus Verbote	28
5.4. Finanzierungsmechanismen & EPR für Elektroschrott	30
5.5. Finanzielle Unterstützung für Start-up-Unternehmen	31
<b>6. Zusammenfassung</b>	<b>32</b>
<b>7. Anhang – Liste der Teilberichte im Rahmen des Bo2W-Projektes</b>	<b>33</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1:	Hochrechnung genutzter Mobiltelefone in Ghana von 2002 bis 2025 [in Millionen]	12
Abbildung 3-2:	Hochrechnung genutzter Mobiltelefone in Ägypten von 1999 bis 2025 [in Millionen]	12
Abbildung 3-3:	Schulung, Optimiertes Demontieren von Elektroschrott und Wissenstransfer über angemessene Verpackung ausgedienter Blei-Säure Batterien auf dem CWR-Gelände in Accra/Ghana	14
Abbildung 3-4:	Elektroschrott-Demontage bei ITG	15
Abbildung 3-5:	Bo2W-Poster mit Anweisungen zur Verpackung von Blei-Säure-Batterien	16
Abbildung 3-6:	Optimierte Demontage und Sortierung eines Desktop-Computers	17
Abbildung 3-7:	Offene Kabelverbrennung in Agbogbloshie in Accra/Ghana	18
Abbildung 3-8:	Demontage eines Computer-Festplattenlaufwerks	19
Abbildung 3-9:	Gruppenbild vom Bo2W Meilenstein Workshop (Nov. 2013 bei Umicore in Hoboken/Belgien)	22
Abbildung 3-10:	Pilothafte Umsetzung: City Waste Recycling Ltd, Accra	24
Abbildung 4-1:	Unkontrolliertes Deponieren von wertlosen Fraktionen in Agbogbloshie in Accra/Ghana	25

## Abkürzungen

Bo2W	Best-of-two-Worlds
CRT	Cathode Ray Tube = Bildröhre
CSR	Corporate Social Responsibility
CWR	City Waste Recycling
EEE	Electrical and Electronic Equipment
EoL	End-of-Life
EPA	Environmental Protection Agency
EPR	Extended Producer Responsibility
GASDA	Greater Accra Scrap Dealers Association
HDD	Hard Disk Drives
ICT	Information and Communication Technology
NdFeB	Neodym-Eisen-Bor
NGO	Non Governmental Organization
PWB	Printed Wiring Board = Leiterplatte
SME	Small and Medium-sized Enterprises = KMU
ULAB	Used Lead Acid Batteries
VAC	Vacuumschmelze



## 1. Hintergrund des Bo2W-Ansatzes

Unsachgemäßes Management von Elektroschrott in Entwicklungs- und Schwellenländern wird regelmäßig von NGOs, Journalisten und Wissenschaftlern thematisiert. Diese Praxis gilt als die Hauptursache für die Belastung urbaner Räume (Kuper & Hojsik 2008; Puckett et al. 2005; Sepúlveda et al. 2010; Zhao et al. 2008). In den meisten Fällen ist das unsachgemäße Recycling und die Reststoffentsorgung des informellen Sektors die Quelle für Umweltbelastung und Gesundheitsgefährdung. Betroffen sind die involvierten Arbeiter, die direkten Anwohner und häufig ganze Stadtviertel.

Ausführliche Studien bezüglich der Praktiken im informellen Sektor zeigen, dass einige der angewandten Methoden - wie nass-chemische Laugung der Leiterplatten – sowohl Hauptquelle der Umwelt- und Gesundheitsrisiken als auch ineffizient in Bezug auf die Wiedergewinnung der Materialien sind (Keller 2006). In der heutigen globalisierten Welt werden die Entwicklungs- und Schwellenländer bald die Industrieländer in Bezug auf Elektroschrottaufkommen (Yu et al. 2010) und die Flottengröße (World Health Organization 2014) überholen. Die dortigen Ineffizienzen werden bedeutende Auswirkungen auf die globalen Recyclingraten haben. Wenn sich die derzeitige Situation nicht verbessert, werden die globalen Recyclingraten vieler kritischer Metalle (vgl. European Commission 2014) und wertvoller Metalle (z.B. Blei, Kupfer, Gold) auf einem niedrigen Level verbleiben – trotz der Forschung und Verbesserung der High-Tech-Prozesse in den Industrieländern.

Um diese strukturellen Probleme zu bewältigen, wurde der Best-of-two-Worlds-Ansatz von Mitgliedern der StEP-Initiative<sup>1</sup> entwickelt (Meskers et al. 2009; Manhart 2011; Wang et al. 2012). Der Kern des Ansatzes basiert auf einem optimierten Recycling durch die Anwendung einer umfassenden und gut angeleiteten manuellen Demontage auf lokaler Ebene in den Entwicklungs- und Schwellenländern in Verbindung mit der anschließenden Behandlung in hocheffizienten Aufbereitungsanlagen auf globaler Ebene.

Eine umfassende manuelle Demontage führt zwar zu Fraktionen mit hoher Reinheit und Wert (Chancerel 2010; Gmünder 2007; Salhofer et al. 2009), die Realisierbarkeit einer hohen Zerlegungstiefe ist allerdings abhängig von den Lohnkosten. Für viele Entwicklungs- und Schwellenländer ist daher eine umfassende manuelle Vorbehandlung die vielversprechendste Recyclingoption, da hier die Lohnkosten vergleichsweise gering sind und ein hoher Bedarf an fairen Arbeitsmöglichkeiten besteht. Auf der anderen Seite benötigen High-Tech-Recyclinganlagen sehr große Inputvolumina zur Erzielung von ökonomischen Skaleneffekten zur Deckung der Investitionssummen in Höhe von vielen Millionen Euro. Dies betrifft vor allem die komplexen und NE-metallhaltigen Fraktionen wie z.B. Leiterplatten und Fraktionen mit Seltene-Erden-Magneten.

Solch hohe Investitionen für High-Tech-Recyclinganlagen können nicht in jedem Land realisiert werden. Anstelle des Aufbaus von potentiell ineffizienten Metallrefiningkapazitäten, sollten besser die lokalen Behandlungsvorstufen mit der bestehenden High-Tech-Endverarbeitung verbunden werden; auch wenn dies mit längeren Transportwegen der einzelnen Fraktionen einhergeht. Dies bedeutet nicht, dass Entwicklungs- und Schwellenländer keine eigenen Endverarbeitungen aufbauen sollten. Solche Kapazitäten (z.B. Stahlrecycling) sollte wo möglich vorangetrieben und genutzt werden, um die lokale Wertschöpfung zu erhöhen. Nichtsdestotrotz sind manche Stufen der Endverarbeitung mit hohen Umwelt- und Gesundheitsrisiken verbunden. Daher sollten die Entscheidungen für lokale Endverarbeitungskapazitäten sorgfältig abgewogen und beobachtet werden.

---

<sup>1</sup> StEP = Solving the E-waste Problem Initiative

Die „Best-of-two-Worlds“-Philosophie sieht im Kern einen hohen Personaleinsatz unter umwelt- und sozialgerechten Standards vor. Dies stellt ausreichend Arbeitsplatzangebote auch für den informellen Sektor mit verbesserten Arbeitsbedingungen sicher. (Wang et al. 2012). Daher handelt es sich hier nicht nur um ein Konzept, um die Recyclingrate zu verbessern. Es zielt ebenso auf die Transformation der lokalen informellen und häufig umweltbelastenden Recyclingindustrie. Unter Berücksichtigung der lokalen Möglichkeiten sollen umwelt- und sozialgerechten Verfahren etabliert werden.

Es muss ausdrücklich betont werden, dass sich der Bo2W-Ansatz von einer direkten oder indirekten Unterstützung des illegalen Exports von Elektroschrott und ausgedienten Blei-Säure-Batterien aus Industrieländern in Entwicklungs- und Schwellenländer distanziert. Auch der mögliche Einwand, dass das Bo2W-Modell einen ansteigenden Elektroschrott-Import in die Entwicklungs- und Schwellenländer hervorrufen könnte, wird in der Realität widerlegt: Heute wird das Bo2W-Modell nur in Nischenmärkten erfolgreich angewendet, während der Großteil des Elektroschrotts und andere Abfälle in Entwicklungs- und Schwellenländern nicht umweltgerecht behandelt werden. Es ist nicht anzunehmen, dass sich diese Situation in den nächsten Jahren grundlegend ändern wird. Eine konsequente Einführung des *Basler Übereinkommens über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung (Basler Konvention)* ist daher eine wichtige Voraussetzung für ein globales umwelt- und sozialgerechtes Elektroschrott-Recycling.

Auf der anderen Seite muss festgehalten werden, dass eine strenge Kontrolle der grenzüberschreitenden Handelsbeziehungen allein die lokalen Probleme in der Abfallbehandlung und dem Recycling nicht lösen können. Daher ist es notwendig, dass Konzepte wie der Bo2W-Ansatz in der Praxis eingeführt und angepasst werden, so dass diese global ausgedehnt werden können. Bisher wurde der Bo2W-Ansatz in China und Indien pilothaft getestet (Wang et al. 2012), eine Umsetzung in Afrika aber noch nicht durchgeführt. Das BMBF-Projekt „Globale Kreislaufführung strategischer Metalle: Best-of-two-Worlds Ansatz (Bo2W)“ hat sich zum Ziel gesetzt, den Bo2W-Ansatz im Pilotmaßstab in Ghana und Ägypten einzuführen (siehe Kapitel 2).

Im Laufe der Projektdurchführung hat das Projektteam die Stärken und Schwächen des Modells – vor allem in Bezug auf die beiden Pilotländer – untersucht (siehe Kapitel 3). Es konnten viele positive Aspekte des Modells in der Praxis bestätigt werden, aber es haben sich auch einige strukturelle Probleme gezeigt. Diese beziehen sich vor allem darauf, dass das Bo2W-Modell in Wettbewerb zu den anderen Recyclingstrukturen steht, die sich derzeit in einer wirtschaftlich vorteilhaften Umgebung befinden (siehe Kapitel 4).

Basierend auf dieser Analyse hat das Projektteam zu einigen Strategien zur Überwindung der strukturellen Hindernisse identifiziert (siehe Kapitel 5). Zum anderen wurden Empfehlungen abgeleitet, wie die Entwicklung und Implementierung des Bo2W-Ansatzes weitergeführt werden kann (siehe Kapitel 6).

## 2. Das BMBF-geförderte Bo2W-Projekt

Die Grundidee des Bo2W-Projektes war der Versuch, das Bo2W Konzept in die afrikanische Praxis umzusetzen. Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Es wurde von einem Konsortium mit den Unternehmen Umicore, Johnson Controls und Vaccuumschmelze (VAC) unter Leitung des Öko-Instituts durchgeführt. Die lokale Unterstützung und Implementierung erfolgte durch City Waste Recycling Ltd. (Ghana) und CEDARE (Ägypten). Somit verband das Projekt die Stärke führender europäischer Firmen im Umfeld des Recyclings kritischer Metalle mit dem Know-How der Umweltforschung und einer

starken lokalen Partnerschaft in den Ländern Ghana und Ägypten. Das Projekt wurde von Juni 2012 bis Oktober 2015 durchgeführt.

Das Ziel des Bo2W-Projekts war die Unterstützung bei der Errichtung umweltschonender Sammel- und Vorbehandlungssysteme für E-Schrott und Fahrzeugschrott in Ägypten und Ghana. Durch die Verknüpfung lokaler Recyclinginitiativen mit internationalen Märkten für bestimmte Recycling-Fraktionen zielte das Projekt ebenfalls auf die Rückgewinnung kritischer und wertvoller Metalle aus Altfahrzeugen und E-Schrott ab. Damit soll der globale Materialkreislauf nachhaltig verbessert werden.

Um dies zu erreichen, folgte das Projekt dem „Best-of-two-Worlds Ansatz (siehe Kapitel 1), welcher darauf abzielt die Stärke der Sammel- und Vorbehandlungssysteme in Entwicklungsländern mit denen der Industrieländer zu verbinden. Der Ansatz zeichnet sich durch folgende Grundsätze aus:

- Wann immer möglich, werden lokale und geeignete Raffineriekapazitäten genutzt;
- Fraktionen, die nicht vor Ort raffiniert werden können, werden zu High-Tech-Anlagen exportiert;
- Es werden umweltverträgliche Lösungen für alle Recyclingfraktionen (mit und ohne Wertinhalt) entwickelt;
- Recyclingstrukturen in Entwicklungsländern werden den maximalen Anteil der Wertschöpfungskette übernehmen, sofern es aus ökologischer und wirtschaftlicher Sicht sinnvoll ist;
- Recyclingstrukturen müssen sozial verträgliche Arbeitsplätze anbieten, entsprechend der internationalen Standards zu Arbeitsorganisation, Arbeitsschutz und Gesundheitsschutz;
- Enge Kooperation mit zuständigen Behörden und Stakeholdern;
- Faire und transparente Preisgestaltung bezüglich der Recyclingfraktionen;
- Keine direkte oder indirekte Beteiligung am illegalen Abfallhandel.

Um die Projektziele zu erreichen, führte das Öko-Institut, eine unabhängige Forschungs- und Beratungseinrichtung für eine nachhaltige Zukunft, ausgewählte Partner aus der Europäischen Industrie sowie angesehene lokale Partner in Ghana (Pilotland für Westafrika) und Ägypten (Pilotland für Nordafrika) zusammen. Das Öko-Institut bot fortlaufende wissenschaftliche Unterstützung und Fachwissen für das Projektkonsortium und zeichnete sich verantwortlich für das Gesamtmanagement dieses internationalen Gemeinschaftsprojekts mit Partnern aus Deutschland, Belgien, Ghana und Ägypten.

Umicore ist ein weltweit operierender Materialtechnologie- und Recyclingkonzern mit Stammsitz in Belgien, der sich hauptsächlich auf Edel- und Technologiemetalle wie Palladium, Gold, Silber, u. a. spezialisiert hat. Umicore's umfangreicher Hintergrund zum Metallrecycling von Elektronikschrott wie Leiterplatten (PWBs), Mobiltelefonen usw. sowie Lithium-Ionen-Batterien waren eine wertvolle Stütze im Bo2W-Projekt. Umicore lieferte den lokalen Partnern in Ghana und Ägypten wesentliche Informationen für die optimale, sichere und gesundheitsverträgliche Handhabung und Separierung der Elektronikschrott-Komponenten. Weiterhin fand ein Know-How-Transfer bezüglich ökonomischer Durchführbarkeiten, effizienter Abläufe und internationaler Transportanforderungen statt. Umicore gewinnt in Hoboken / Belgien in einer der weltweit größten Metallrefininganlagen 17 verschiedene Metalle unter modernsten Bedingungen mit sehr großen Rückgewinnungsraten zurück.

Johnson Controls Power Solutions ist das weltweit führende Unternehmen von Starterbatterien und innovativen Batterien für Fahrzeuge mit Start-Stopp-Funktion. Führende Automobilhersteller

und Zulieferer von Ersatzteilen werden von 35 Tochtergesellschaften von Johnson Controls beliefert. Dies entspricht mehr als einem Drittel der Blei-Säure-Batterien weltweit. Die Aktivitäten in Bezug auf Nachhaltigkeit werden durch erstklassige Technologien, Produktionsmethoden und einer starken Verpflichtung gegenüber der Wiederverwertung unterstützt. Johnson Control stellte im Bo2W-Projekt den Informationsfluss über alle Aspekte der Blei-Säure-Batterien und deren Recycling sicher. Johnson Controls unterstützte die lokalen Partner in Ghana bei der ordnungsgemäßen Sammlung, Lagerung, Handhabung und dem Transport der gebrauchten Blei-Säure-Batterien. Das Bleirecycling wurde in der hochmodernen Wiederaufbereitungsanlage von Johnson Controls in Krautscheid/Deutschland durchgeführt.

Vacuumschmelze (VAC) ist eines der weltweit führenden Unternehmen im Bereich der magnetischen Werkstoffe und daraus weiter veredelter Produkte. Mit der Abteilung „Permanentmagnete“ ist die VAC das einzige Unternehmen außerhalb von Japan und China, welches erhebliche Mengen an NdFeB produziert. Der mechanische, pulvermetallurgische Teil der Produktion, der ein großes Know-how erfordert, erfolgt ausschließlich in Hanau, Deutschland. Im Bo2W-Projekt unterstützte die VAC die Identifizierung von Elektroschrottfractionen, welche NdFeB-Magnete enthalten und gab entsprechende Empfehlungen hinsichtlich lohnender Magnetkomponenten und deren sachgemäßer Behandlung. Weiterhin unterstützte die VAC die lokalen Partner in Ghana und Ägypten im Hinblick auf die richtige manuelle Demontage von Festplatten (HDDs), um die NdFeB-Magnete, in die die Seltenen Erden Neodym und Praseodym eingebettet sind, zu trennen.

Das KMU City Waste Recycling (CWR) Ltd., ansässig in der ghanaischen Hauptstadt Accra, übernahm die Rolle als lokaler Partner in Ghana innerhalb des Bo2W-Projekts. Um eine Lösung für die Entsorgung von Elektronikschrott in Ghana zu finden, wurde CWR im Jahre 2008 gegründet. CWR arbeitet mit unterschiedlichen gesellschaftlichen Gruppen in den am meisten betroffenen Bezirken, z. B. Agblobloshie, wo das Elektronikschrotproblem unverkennbar ist. CWR bildet dort junge Menschen aus und unterstützt NGO's bei der Organisation von Seminaren um das technische Know-how für das Recyceln von Elektroschrott zu vermitteln. CWR recycelt elektronische und elektrische Geräte durch Demontage und Trennung einzelner Komponenten wie elektrische Kabel, eisenhaltige Metalle, Aluminium, Leiterplatten, Batterien usw. CWR war für das Konsortium entscheidend im Hinblick auf die Kenntnisse des ghanaischen Recyclingmarkts sowie der Verwaltungsabläufe und Anforderungen in Ghana und schließlich der Zusammenführung der lokalen Interessensvertreter. CWR diente im Projekt als lokale Koordinierungsstelle in Ghana und Bindeglied zu den internationalen Recyclingpartnern.

Das "Center for Environment and Development (CEDARE)" in Kairo war der ortsansässige Bo2W-Partner in Ägypten. CEDARE's ermöglichte die notwendige Kontaktaufnahme zu den neuen KMU im Bereich Elektronikschrott in Ägypten sowie zu verschiedenen nationalen Behörden und NGOs, die mit der informellen Abfallwirtschaft in Ägypten zusammenarbeiten. CEDARE wurde 1992 als zwischenstaatliche Organisation gegründet, die sich der angewandten Umweltforschung und der praktischen Umsetzung von Projekten zum Wohle der nachhaltigen Entwicklung verschrieben hat. CEDARE ist in Ägypten sowie in den arabischen Ländern vernetzt und spielt international eine aktive Rolle in Bezug auf Sekundärrohstoffgewinnung mit dem Netzwerk StEP (Solving the E-waste Problem). Der Vorstand der CEDARE besteht aus Ministerien der Arabischen Staaten sowie von Mitgliedstaaten der Europäischen Union.

Innerhalb des Bo2W-Projekts organisierte das Konsortium mehrere Experten- und Stakeholder-Workshops in Accra, Kairo, Antwerpen und Berlin. Detaillierte Informationen (Präsentationen) über diese Veranstaltungen sowie verschiedene durch das Konsortium zusammengestellte Bo2W-Projekt Teilberichte sind online abrufbar unter [www.resourcefever.org](http://www.resourcefever.org).

Siehe hierzu auch Kapitel 7 mit einer Liste von Bo2W-Projekt Teilberichten und anderen Projektpublikationen.

### 3. Ergebnisse und Projektaktivitäten

Das Projektteam hat bereits ausführliche Projektergebnisse in Form einer Reihe von Teilberichten und anderer Veröffentlichungen publiziert (siehe Kapitel 7). Mit diesem Abschlussbericht wird den Lesern eine prägnante und übersichtliche Zusammenfassung zur Verfügung gestellt. Bezüglich der detaillierten Ergebnisse verweisen die Autoren auf die Bo2W-Teilberichte. Zur anschaulichen Vermittlung der Projektaktivitäten und –ergebnisse des Gesamtprojekts stellt das Team in diesem Kapitel in fünf Unterabschnitten besonders relevante Forschungsbeiträge vor.

#### 3.1. Forschungsbeitrag 1: Mengenmodellierung

Ein Forschungsschwerpunkt des Bo2W-Projektes war die bestmögliche Abschätzung des aktuellen und zukünftigen Mengenaufkommens relevanter Altgeräte wie Fernseher, Notebooks, Computer, Mobiltelefone und Blei-Säure-Batterien in Ghana und Ägypten. Basierend auf diesen Angaben wurden die Mengen der in diesen Produkten verarbeiteten Metalle wie Kobalt, Palladium, Gold, Silber, Blei sowie anderer Materialien ohne eindeutiges Erlöspotential wie Kunststoffe und Bildröhrenglas für die aktuellen Recyclingmärkte in Ghana und Ägypten abgeleitet. Die Entwicklung wurde für diese beiden Länder bis ins Jahr 2025 abgeschätzt. Solch detaillierte Informationen sind relevant für derzeitige und potenzielle neue Geschäftspartner für Ghana und Ägypten aus dem Kreis internationaler Recyclingunternehmen.

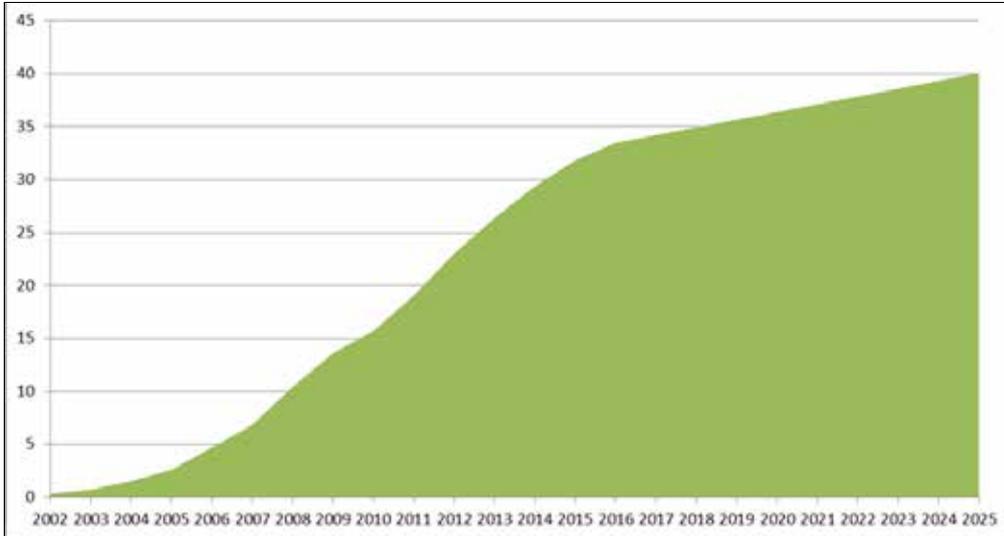
Weiterhin sind diese Daten ebenfalls für andere Akteure wie örtliche Behörden und nationale Regulierungsstellen relevant, besonders aufgrund der sogenannten Verlustbringer wie CRT-Glas oder Kunststoffkomponenten als Bestandteil bestimmter Geräte. Diese Bestandteile haben einen potentiell negativen Wert für das Recyclinggeschäft und könnten unter den gegebenen Bedingungen ernste Gesundheits- und Umweltprobleme in Ghana und Ägypten verursachen. Das Bo2W Projekt konnte diesen nationalen bzw. lokalen Akteuren in Ghana und Ägypten konkrete Informationen zum Ausmaß dieser Problematik und der notwendigen Kosten für deren Adressierung (Abfallwirtschaftspläne, notwendige Maßnahmen) liefern (siehe Kapitel 3.3.).

Durch die folgenden Arbeitsschritte erzielte das Bo2W-Projektteam die Ergebnisse für Ghana und Ägypten:

1. Abschätzung und Hochrechnung der Anzahl ausgewählter Gerätetypen in Benutzung (Sammlung von Bestandsinformationen);
2. Kalkulation der Anzahl ausgewählter Altgeräte (z.B. Mobiltelefone) für die entsprechende Zeitreihe durch Berücksichtigung der Lebensdauer und Bestandsinformationen;
3. Zusammenstellung von Daten aus erster Hand durch die Bo2W Industriepartner Umicore, Johnson Controls und VAC bezüglich der enthaltenen Menge der untersuchten Metalle in ausgewählten Altgeräten (z.B. durchschnittlicher Silberanteil pro Mobiltelefon) sowie der Menge an enthaltenen Verlustbringern pro Gerät;
4. Kalkulation und Hochrechnung des theoretischen Recyclingpotentials (bei 100% Sammelquote) der untersuchten Metalle in den ausgewählten Altgeräten sowie die entsprechenden Daten bezüglich der wichtigen Fraktionen mit potentiell negativem Erlös.

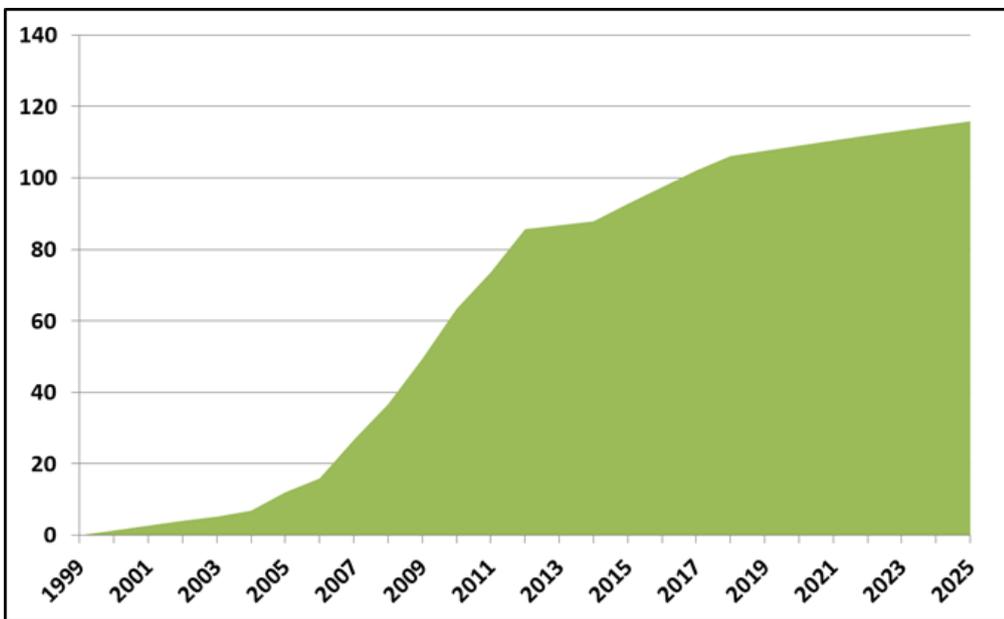
Abbildung 3-1 und 3-2 zeigen Beispiele für diese Ergebnisse. Diese sind in den Bo2W-Teilberichten für Ghana und Ägypten detailliert dokumentiert (siehe Referenzen in Kapitel 7).

**Abbildung 3-1: Hochrechnung genutzter Mobiltelefone in Ghana von 2002 bis 2025 [in Millionen]**



Quelle: Hochrechnung und Darstellung Öko-Institut

**Abbildung 3-2: Hochrechnung genutzter Mobiltelefone in Ägypten von 1999 bis 2025 [in Millionen]**



Quelle: Hochrechnung und Darstellung Öko-Institut

Abbildung 3-1 zeigt anhand des Beispiels der Mobiltelefon-Entwicklung in Ghana ein enorm wachsendes Recyclingpotential für diese Altgeräte-Produktkategorie auf. Der Bestand aktiv genutzter Mobiltelefone in Ghana wird bis 2025 auf 40 Millionen Einheiten anwachsen, und das bei einem Anfangsbestand nahe Null im Jahr 2002. Wie in Abbildung 3-2 für das Beispiel der Mobiltelefon-Bestandsentwicklung in Ägypten demonstriert, ähneln sich die Trends für Ghana und

Ägypten im Großen und Ganzen, trotz großer Unterschiede in den absoluten Zahlen aufgrund von Bevölkerungszahlen und anderen länderspezifischen Indikatoren. Ähnliche Trends ermittelte das Bo2W-Projektteam auch für andere Altgeräte wie z.B. Notebooks, Desktop Computer und Fernseher. Bildröhrenfernseher und Röhrenmonitore werden vom Aufkommen ein Maximum durchlaufen (siehe Teilberichte Ägypten und Ghana, Quelle Kapitel 7).

Zusammenfassend stimmten die Ergebnisse des Bo2W-Projekts bezüglich der Kalkulation und Hochrechnung der Mengen relevanter Altgeräte wie Fernsehern, Notebooks, Computern, Mobiltelefonen usw. im Falle von Ghana und Ägypten detailliert mit den grundsätzlichen Hochrechnungen vorhergehender Studien über die Elektroschrott-Erzeugung in Entwicklungs- und Schwellenländern überein (siehe bspw. Yu et al. 2010). Es wurde deutlich, dass die Anzahl der meisten Altgeräte im nächsten Jahrzehnt aufgrund der wachsenden Gerätebestände in Ländern wie Ghana und Ägypten steil ansteigen wird.

Hervorzuheben sind in diesem Zusammenhang die fundierten Fachkenntnisse und die Erfahrungen aus erster Hand, die unsere Bo2W Projektpartner Umicore, Johnson Controls und VAC bezüglich der Materialzusammensetzung der verschiedenen Altgeräte einbrachten, was eine exzellente Grundlage für den Verlauf des Arbeitsschrittes 3 im Gesamtansatz darstellte (siehe oben). Im abschließenden Arbeitsschritt 4 fertigten die Partner Kalkulationen und Hochrechnungen des Altgeräte-Potentials bezüglich der untersuchten Metalle und der Mengen an Fraktionen mit negativem Erlöspotential an. Für die Edelmetalle Gold, Silber und Palladium konnte insgesamt ein kumuliertes Recycling Potential von einigen Tonnen ermittelt werden, für die Basismetalle wie Blei betrug es mehrere Tausend Tonnen pro Jahr (detaillierte Ergebnisse im Bo2W Länder Teilbericht, siehe Kapitel 7). Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass zur Erschließung dieses Potentials effiziente Sammlungs-, Vorbehandlungs- und Endrefiningprozesse unabdingbar sind.

Die ausführlichen Informationen zum aktuellen und prognostizierten Potential an Altgeräten und deren wertvoller Metallanteile sind von elementarer Bedeutung für Akteure des Abfall- und Recyclingsektors in Ghana und Ägypten. Bezüglich der wirtschaftlichen Perspektiven ergaben die Mengenabschätzungen für beide Länder Potentiale für schnell wachsende Märkte für Sammlung, Vorbehandlung und Recycling. Gleichzeitig bedürfen wichtige aktuelle Herausforderungen wie Gesundheits- und Umweltbedrohungen durch untragbare Verfahrensweisen (offenes Verbrennen von Kabeln usw.) und die sehr einfachen Arbeitsbedingungen des derzeitigen, meist informellen Recyclingsektors in Ghana und Ägypten in Zukunft noch dringender einer Lösung.

Für das Bo2W-Projektteam war eine weitere wichtige Aufgabe, Lösungsvorschläge zur Adressierung der bislang unsachgemäßen Behandlung der Materialfraktionen mit negativem Erlöspotential wie CRT-Glas und Kunststoffkomponenten in Ghana und Ägypten zu entwickeln. Die diesbezüglichen Projektergebnisse werden unter Forschungsbeitrag 3 (Kapitel 3.3.) näher beschrieben.

### **3.2. Forschungsbeitrag 2: Schulung und Wissenstransfer**

Eine weitere Aufgabe des Bo2W-Projekts bestand darin, die lokalen Partner in Ghana und Ägypten bezüglich angemessener und optimierter manueller Demontagemethoden, sicherer Transportvorgänge, Verpackung und Lagerung von Altgeräten und abgetrennter Materialien zu schulen. Für diesen wichtigen Wissenstransfer spielten die Bo2W-Projektpartner aus der Industrie (Umicore, Johnson Controls, VAC) eine tragende Rolle durch aktive Teilnahme an Schulungsveranstaltungen und Konzeption von Trainingsmaterialien. Hauptadressat hierfür war der örtliche Bo2W-Projektpartner in Ghana – City Waste Recycling Ltd. – und die in Ägypten ansässigen neu in den Markt eingestiegenen Unternehmen im Elektroschrott-Sektor ITG und RecycloBekia. Zudem wurden

auch für Verwaltungsvertreter und andere Akteure der Zivilgesellschaft Schulungen durchgeführt. Die folgenden Bilder sollen einen Eindruck über die Aktivitäten der Bo2W-Partner in den Jahren 2012-2015 während verschiedener Besuche in Accra/Ghana und Kairo/Ägypten vermitteln.

**Abbildung 3-3: Schulung, Optimiertes Demontieren von Elektroschrott und Wissenstransfer über angemessene Verpackung ausgedienter Blei-Säure Batterien auf dem CWR-Gelände in Accra/Ghana**



Quelle: Öko-Institut

Diese Wissenstransfer- und Schulungsaktivitäten im Rahmen des Projekts stellten eine tragende Säule des Bo2W-Konzeptes dar. Zunächst half das Demontage-Training den entsprechenden Unternehmen in Ghana und Ägypten dabei, die verschiedenen Fraktionen zu trennen und einem aus ökologischer Sicht bestmöglichen weiteren Recycling zuzuführen (siehe auch Forschungsbeitrag 3 für weitere Informationen). Ferner unterstützte der Wissenstransfer die lokalen Demontageunternehmen bei der Minimierung der Gesundheits- und Sicherheitsrisiken für die Mitarbeiter sowie der Reduzierung umweltschädlicher Emissionen unter den lokalen Rahmenbedingungen. Insgesamt sollen die verbesserten Verfahrensweisen zu einer Optimierung der Wiederverwertungsraten der untersuchten Metalle (Kupfer, Palladium, Silber, Gold, Kobalt, Blei, Seltene Erden) und anderer Materialanteile sowie zur Sicherung besserer Arbeitsbedingungen für die Mitarbeiter führen.

**Abbildung 3-4: Elektroschrott-Demontage bei ITG**

Quelle: Öko-Institut

Ein bleibendes Produkt des 2. Forschungsbeitrags sind Poster mit Anleitungen zur Demontage von CRT-Fernsehern und Desktop-Computern sowie mit Hinweisen zur Verpackung von gebrauchten Blei-Säure-Batterien. Das Projektteam zog die Herstellung übersichtlicher Poster dem Erstellen umfangreicher Gebrauchsanleitungen vor und ließ sich diesbezüglich von den lokalen Bo2W-Projektpartnern CEDARE und City Waste Recycling Ltd. beraten. Zielgruppe für die Poster sind Demontageunternehmen in Ghana und Ägypten und natürlich nicht zuletzt deren Mitarbeiter. Daher wurden die Poster in Englisch, Französisch, Arabisch und zwei lokalen Ghanaischen Sprachen (Twi & Hausa) übersetzt und mit einer Vielzahl von Bildern versehen, um sicher zu stellen, dass sie von den lokalen Kräften inklusive möglicher Analphabeten verstanden werden können. Die Poster wurden ebenfalls im PDF-Format an ausgewählte Akteure in Ghana und Ägypten gesandt (siehe Kapitel 7 – Bo2W Referenzen) und können in anderen Ländern ebenfalls genutzt werden (die Poster sind auf der Internetseite [www.resourcefever.org](http://www.resourcefever.org) veröffentlicht). Die folgende Abbildung zeigt die englische Version der Anleitung zur Verpackung von ausgedienten Blei-Säure-Batterien.

Abbildung 3-5: Bo2W-Poster mit Anweisungen zur Verpackung von Blei-Säure-Batterien

## Packaging Lead-Acid Batteries for Bulk Transports

**Health & Safety**

**Wear personal protective equipment <sup>1</sup>**

**Avoid damages to batteries <sup>2</sup>**

**Change clothes after work**

**Maintain high personal hygiene standards**

**Step 1**  
Apply caps or isolation tape to the positive poles (+) of all batteries

**Step 2**  
Close any holes with plastic or rubber material

**Step 3**  
Pack damaged batteries in heavy weight poly-ethylene plastic bags

**Step 4**  
Choose strong and intact pallets for transport <sup>3</sup>

**Step 5**  
Place a layer of card-board between every battery layer (also on the pallet)

**Step 6**  
Stack all batteries upright and avoid poles getting in contact

**Step 7**  
Make sure that all batteries are placed within the horizontal limits of the pallet

**Step 8**  
Do not stack higher than 3 layers, place max. 1.000 kg on pallet, place damaged batteries in top layer

**Step 9**  
Cover the top layer with card-board and wrap with shrink wrap as many times as necessary to stabilize the load

**Step 10**  
Mark each pallet with the following warning labels: ☹ Package orientation ☹ Hazard label: Class 8, Corrosives ☹ UN 2794: BATTERIES, WET, FILLED WITH ACID ☹ Overpack

**Step 11**  
Load the stacks into a container in a way that pallets are protected from sliding <sup>4</sup> Only load one layer of stacked pallets and avoid overloading <sup>5</sup>

**Step 12**  
Mark container on all 4 sides with the following labels: ☹ Hazard label: Class 8, Corrosives ☹ UN 2794: BATTERIES, WET, FILLED WITH ACID

**Further information:** [www.resourcefrav.org](http://www.resourcefrav.org)

<sup>1</sup> Overall safety boots, work gloves, dust mask, protective goggles

<sup>2</sup> Handle with care, do not drop or throw batteries, keep upright at all times

<sup>3</sup> Use only intact pallets with a maximum of 2 broken boards. Best pallet size for loading in 40' HC sea-container = 1.100 x 1.140 mm

<sup>4</sup> Follow the following transport profiles that have no spacing when placed in a container, use plastic or the necessary wooden bars between pallets to avoid uncontrolled movement

<sup>5</sup> 40' HC containers should not be loaded with more than 26.00 metric tons of freight

SPONSORED BY THE

**Federal Ministry of Education and Research**

Quelle: Öko-Institut

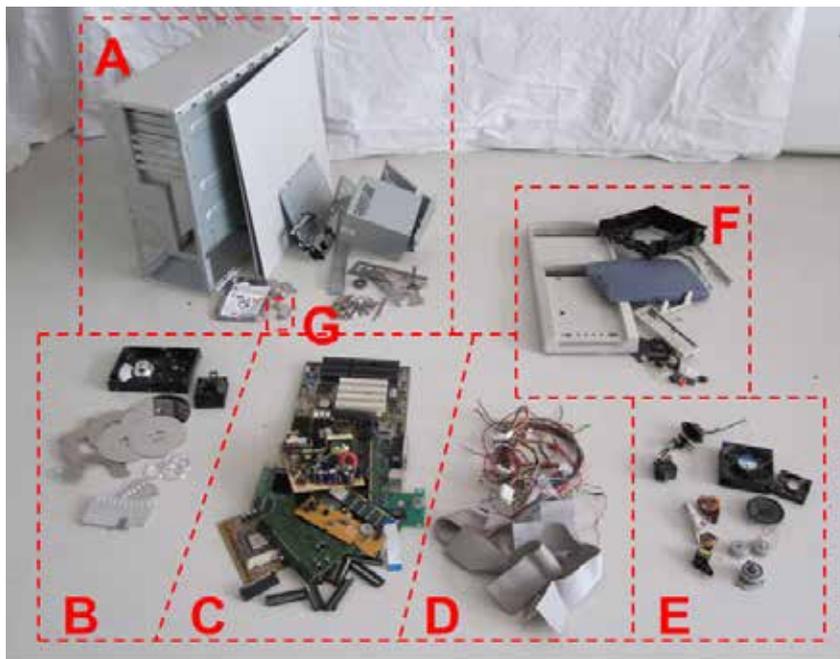
### 3.3. Forschungsbeitrag 3: Unterstützung bei Entscheidungsprozessen

Den unter Forschungsbeitrag 2 beschriebenen Aktivitäten zum Thema Schulung und Wissenstransfer bei der manuellen Zerlegung folgte die praktische Unterstützung der KMUs in Ägypten und Ghana bezüglich der notwendigen Entscheidungsprozesse nach technischen, sozio-ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten.

Beispielsweise plante in 2012 eines der neuen ägyptischen Elektroschrottunternehmen das Ablaugen von Leiterplatten mit Säure, um eine Lösung der konzentrierten Edelmetalle zu erzielen. Die Bo2W-Partner Öko-Institut und Umicore erarbeiteten stattdessen zusammen mit dem lokalen KMU eine optimierte Vorgehensweise sowohl in ökonomischer als auch ökologischer Hinsicht, die im Einklang mit dem Bo2W-Ansatz steht. Eine sorgfältige manuelle Demontage des Elektroschrotts zur Separierung der Materialanteile wurde implementiert. Die Fraktionen können anschließend modernen High-Tech-Anlagen zugeführt werden.

Folgende Abbildung zeigt die optimale manuelle Zerlegungstiefe am Beispiel eines Desktop-Computers.

**Abbildung 3-6: Optimierte Demontage und Sortierung eines Desktop-Computers**



- A: Stahlteile
- B: Aluminiumteile
- C: Leiterplatten
- D: Kabel
- E: Kupferstahlteile
- F: Plastikteile
- G: Magnete

Quelle: Öko-Institut

Diese Informationen zum optimierten manuellen Demontieren von Elektroschrott stellten eine elementare Unterstützung für afrikanische KMUs dar, die sich im Elektroschrottsektor gründeten. Sehr häufig setzten solche Unternehmen Arbeitskraft und Kosten für das Aussortieren von – im übertragenen Sinne gesprochen – jeder einzelnen Schraube, unnötig ein. Dies ist auf alle Fälle nicht notwendig, da internationale Unternehmen die anschließenden Vorbehandlungs- (z.B. mechanische Stahl-Kupfer Trennung) und Metallveredelungsprozesse bereits optimiert haben. Durch die Unterstützung der Bo2W-Partner Umicore, Johnson Controls und VAC konnten die beteiligten Arbeitskräfte in Ländern wie Ghana und Ägypten durch optimierte manuelle Demontageverfahren die Trennung und Weiterleitung stark nachgefragter Materialien in guter Qualität zu lokalen (z.B. Stahl) oder internationalen Partnern (z.B. Leiterplatten für Umicore, Magnete für VAC) sichern.

Eine weitere Aufgabe bestand in der Entwicklung einer Lösung zur Beendigung des offenen Verbrennens von Kabeln. Diese Verfahrensweise ist in vielen Entwicklungs- und Schwellenländern gängige Praxis des informellen Sektors. Der Grund für dieses Vorgehen ist das Freilegen des reinen Kupfers auf billigstmögliche Weise. Allerdings birgt diese Praxis eines der größten Gesundheits- und Umweltrisiken im Zusammenhang mit dem informellen Elektroschrott-Handel. Die nächste Abbildung vermittelt einen Eindruck über diese Brisanz.

**Abbildung 3-7: Offene Kabelverbrennung in Agbogbloshe in Accra/Ghana**



Quelle: Öko-Institut

Es ist erwähnenswert, dass der Bo2W-Partner City Waste Recycling Ltd. (CWR) ein paar Monate nach offiziellem Projektende des Bo2W-Projekts eine mechanische Kabel-Schreddermaschine zur Trennung von Kupfer und Plastikisolierung kaufte. Somit ist CWR nun in der Lage, eine umweltverträgliche Alternative zur offenen Kabelverbrennung in Accra anzubieten. Der informelle Sektor Accras ist somit aufgefordert, diese neue und bessere Alternative in Zusammenarbeit mit CWR zu nutzen.

Entscheidungsprozesse wurden durch den Bo2W-Partner Johnson Controls auch bzgl. des korrekten Umgangs und Transports von Blei-Säure-Batterien unterstützt. So wurde der lokale Partner CWR bestärkt, ausschließlich vollständige (inclusive der Säure) ausgediente Blei-Säure-Batterien von Anbietern in Ghana anzunehmen. Der Grund für diese Maßnahme ist die für den informellen

Sektor gängige Praxis, die schädliche Säure ins Erdreich abzulassen oder gar das Öffnen der Batterien mit Macheten, um an die Bleiplatten zu gelangen. Es ist offensichtlich, dass solch unseriöse Praktiken eine ernste Umweltbedrohung für Ghana darstellen. Daher sendet der lokale Partner CWR in Ghana an den Bo2W-Partner Johnson Controls nur ungeöffnete Batterien. Außerdem kann es als Erfolg des Bo2W-Projekts verbucht werden, dass die Ghanaische Umweltbehörde davon überzeugt werden konnte, den Export von ausgedienten Blei-Säure-Batterien aus Ghana ohne Säure zu verbieten. Diese Maßnahme soll zum Beenden des unkontrollierten Ablassens von Batteriesäure ins Erdreich führen, indem die Abnahmepfade für entleerte Batterien reduziert werden. Ungeachtet dessen ist eine hohe Wachsamkeit durch die Behörden unbedingt notwendig, um ungewünschte Ausweicheffekte wie informelles Umschmelzen von Blei-Säure-Batterien zu vermeiden.

Die europäischen Bo2W-Partner aus der Industrie und die lokalen Akteure in Ghana und Ägypten führten im Rahmen verschiedener Projektreisen in beiden Ländern diverse Zerlegeversuche durch. Ein anschauliches Beispiel war ein Demontageversuch von Computer-Festplattenlaufwerken (HDDs) unter ghanaischen Arbeitsbedingungen. Dieser Versuch wurde in den CWR Räumlichkeiten in Accra mit maßgeblicher Unterstützung des Bo2W-Partners VAC durchgeführt.

### Abbildung 3-8: Demontage eines Computer-Festplattenlaufwerks



A: Abdeckung (Aluminium)

B: Gehäuse mit Platten und Schwingspulen-Aufbau (hauptsächlich Aluminium)

C: Leiterplatte

D: Magnete

E: Magnetbeschlüge und andere Stahlteile

Quelle: Öko-Institut

Normalerweise verkaufen Elektroschrott-Demontagebetriebe in Entwicklungsländern die kompletten Computer-Festplattenlaufwerke zum Aluminiumrecycling (fast 80% des Festplattengewichtes besteht auf Aluminiumteilen). Nichtsdestotrotz hat das Bo2W-Team analysiert, ob eine detailliertere Demontage der Festplatten bessere ökonomische Ergebnisse sowohl für das Demontageunternehmen als auch bezüglich der Raten für die Metallrückgewinnung ergeben könnte. Neben den Basismetallen Stahl und Aluminium enthalten die Festplatten ebenfalls Kupfer und Edelmetalle (Fraktion C: Leiterplatten) und Seltene Erden (hauptsächlich Neodym in Magneten: Fraktion D). Das Bo2W-Projektteam untersuchte in einem gemeinsamen Demontageversuch alle

relevanten Parameter einschließlich der Demontagedauer bei CWR für unterschiedliche Szenarien.

Das Ergebnis macht deutlich, dass eine Trennung der Festplatten in zwei Fraktionen – die Leiterplatten für anschließendes Kupfer- und Edelmetallrecycling und der Großteil des Restes der Festplatten zum Aluminiumrecycling – deutliche ökonomische Vorteile gegenüber dem Szenario ohne weitere Separation liefert. Es ist erwähnenswert, dass der Ausbau der Leiterplatte und die anschließende Kupfer-/Edelmetallraffinierung sehr hohe Rückgewinnungsraten (>95%) für Kupfer, Gold, Silber und Palladium erzielt. Wird die komplette Festplatte zum Aluminiumrecycling gegeben, ist zu erwarten, dass der Großteil der Edelmetalle für die Wiedergewinnung verloren geht. Die Ergebnisse des Demontageversuchs gelten für formale ghanaische Arbeitsbedingungen. Jedoch zeigten Sensitivitätsberechnungen, dass selbst mit sehr viel höheren Arbeitskosten von bis zu 8 USD/Std. (das Hauptszenario war mit 0,77 USD/Std. kalkuliert) die Separation der Leiterplatten aus den Festplatten ökonomisch immer noch umsetzbar wäre.

Allerdings zeigte der Demontageversuch ebenfalls, dass der zusätzliche ökonomische Vorteil durch die Trennung in weitere Fraktionen – hauptsächlich Magnete für die Wiedergewinnung Seltener Erden – für das Demontageunternehmen recht gering ist. Zudem machten die fallenden Preise für Seltene Erden diese Option sogar noch weniger attraktiv. Der Bo2W-Partner VAC erhielt ein Muster ausgebaute Magnete (Neodym-Eisen-Bor – NdFeB-Magnete) zwecks Qualitäts-Checks von CWR. Es wurde deutlich, dass Stahlunreinheiten in den Magnetmaterialien (Schrauben) etc. zusätzliche Vorbehandlung (und Kosten) erforderlich machen würden, um ein NdFeB-Material zu erzeugen, dessen Reinheitsgrad sich für die Produktion neuer Magneten durch VAC eignen würde. Die Bo2W-Partner kamen daher zu dem Schluss, dass aus technischer Sicht Magneten aus Festplatten sich mehr für nasschemische Recyclingprozesse für NdFeB-Magnete eignen. Eine solche Methode wurde im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprogramms von den Partnern des MORE-Projekts entwickelt (Bast et al. 2014). Detaillierte Ergebnisse des Festplattendemontageverfahrens in Ghana wurden bereits in einem eigenen Bo2W-Teilbericht publiziert (siehe Kapitel 7).

Die Bo2W-Partner fokussierten sich ebenfalls auf mögliche Lösungen für den Umgang mit spezifischen Materialien mit negativem Erlöspotential wie CRT-Glas und Kunststoffen von Elektrogeräten. Das CRT-Glas ist aufgrund hoher Bleianteile als kritisch zu bewerten. Kunststofffraktionen im Elektroschrott enthalten normalerweise bromierte Flammschutzmittel. Im Rahmen des Bo2W-Projekts wurden detaillierte Auswertungen bezüglich akzeptabler Recycling- oder Entsorgungsmöglichkeiten für diese beiden Fraktionen mit negativem Erlöspotential durchgeführt. Dabei lag der Hauptfokus auf der Analyse potenzieller zusätzlicher Kosten für umweltverträgliche Alternativen im Vergleich zu einer unkontrollierten Entsorgung dieser Materialien. Im letzteren Fall werden die Umweltkosten auf die Allgemeinheit externalisiert. Die detaillierten Ergebnisse dieser Untersuchung wurden bereits in zwei Bo2W-Teilberichten publiziert (siehe Kapitel 7).

Das Hauptfazit bezüglich der Kunststoffkomponenten ist, dass durch die Nutzung intelligenter Demontage- und Separierungsmethoden in Kombination mit High-Tech-Kunststoffrecyclingunternehmen zumindest eine Kostenneutralität möglich sein sollte. Natürlich hängen diese Ergebnisse zum großen Teil von den Preisentwicklungen auf dem Kunststoffmarkt ab.

Im Fall von CRT-Glas resultierten alle untersuchten Optionen in einem negativen Erlös-Szenario für das Demontageunternehmen. Tatsache ist, dass umweltverträgliches Recycling bzw. Entsorgung von CRT-Glas eine globale Herausforderung darstellt. Das Bo2W-Team identifizierte einige akzeptable Möglichkeiten in Europa. Allerdings ergaben sich hierbei jeweils Kosten für den afrikanischen Demontageunternehmer - selbst ohne Einbezug der zusätzlichen Transportkosten von

Afrika nach Europa. Daher untersuchte das Bo2W-Team ebenfalls lokale Lösungen innerhalb Afrikas, d.h. die Errichtung öffentlicher Deponien mit akzeptablen Standards für die kontrollierte Entsorgung der CRT-Glasfraktionen. Da die Errichtung einer Deponie Vorlaufzeit erfordert, sind pragmatische Lösungen notwendig wie z.B. Lagerhaltung oder der Export nach Europa.

Aufgrund der Tatsache dass die Errichtung einer solchen Deponie Kosten verursacht, ist ein Finanzierungssystem für Demontageunternehmen notwendig, um die negativen Erlöse abzufangen. Zum Beispiel würde in Ägypten für die sichere Beseitigung der erwarteten kumulativen Volumina an CRT-Glas eine Gesamtfinanzierung von ca. 4,5 Millionen Euro bis 2025 benötigt. Daher empfiehlt das Bo2W-Team für Länder wie Ghana und Ägypten koordinierte internationale Aktionen, um umweltverträgliche Lösungen der CRT-Glas-Entsorgung finanziell sicherzustellen.

### 3.4. Forschungsbeitrag 4: Dialog mit Akteuren

Der Austausch mit und von Akteuren in Ghana und Ägypten war von Beginn des Bo2W-Projektes an eine elementare Aufgabe. Für die Umsetzung des Bo2W-Konzeptes in die Praxis (hier in Ghana und Ägypten) mussten viele lokale Akteure über die Wirkungen des Bo2W-Ansatzes und den daraus folgenden positiven Perspektiven für die beiden Länder informiert und überzeugt werden. Eine Schlüsselrolle hierfür spielten die beiden lokalen Bo2W-Partner CEDARE in Ägypten und City Waste Recycling Ltd. in Ghana. Diese standen bereits in Kontakt mit vielen Akteuren aus Politik, Verwaltung, Zivilbevölkerung und Industrie, einschließlich Vertretern des existierenden informellen Abfallsektors. Unter Koordinierung durch das Öko-Institut brachten die lokalen Bo2W-Partner CEDARE und CWR die lokalen Akteure in Ghana und Ägypten mit den industriellen Bo2W-Partnern Umicore, VAC und Johnson Controls in direkten Kontakt. Dadurch wurde unmittelbar wertvoller Know-How-Transfer eingeleitet und die Basis für Geschäftsbeziehungen gelegt.

Im Rahmen der monatlichen Telefonkonferenz der Bo2W-Projektpartner wurden die Projektreisen nach Ghana und Ägypten diskutiert und geplant. Die Kontaktaufnahmen mit Vertretern der wesentlichen Akteursgruppen in Ghana und Ägypten machten einen bedeutenden Teil der Tagesordnungen der Projektreisen aus. Daher waren die lokalen Bo2W-Projektpartner die Gastgeber bzw. Organisatoren für die wichtigsten bilateralen Treffen. Während der Projektreisen konnten die europäischen Bo2W-Projektpartner (Öko-Institut und die Industriepartner) in direkten Kontakt mit Vertretern verschiedener Ministerien wie dem Ministry for ICT in Ägypten (zeitweilig sogar auf Vizeminister- oder Ministerebene), mit Leitern von wichtigen Behörden wie dem Ghanaischen Umweltamt (EPA), mit Leitern von Recyclingunternehmen (ITG und RecycloBekia in Ägypten), mit Vertretern des informellen Abfallsektors (z.B. Ghana mit den Leitern der Greater Accra Scrap Dealers Association), mit Vertretern einbezogener nichtstaatlicher Organisationen (z.B. Spirit of the Youth in Kairo) und mit vielen weiteren Akteuren treten.

Mit diesem bilateralen Ansatz erreichte das Bo2W-Projektteam einen kontinuierlichen, engen und konstruktiven Dialog, der die Grundvoraussetzung zur Erfüllung der Bo2W-Projektziele bildete. Ein gutes Beispiel hierfür ist der Dialog mit dem Ghanaischen Umweltamt, das in Ghana zuständig für die Exportmeldungen von Materialien über den Hafen Tema nach Antwerpen oder Hamburg ist (siehe Forschungsbeitrag 5). Die zahlreichen bilateralen Besprechungen wurden ebenfalls dazu genutzt, ausgewählte Akteure zu Veranstaltungen des Bo2W-Projektes einzuladen. Folgende Hauptveranstaltungen fanden im Rahmen des Bo2W-Projektes in Kairo, Accra, Hoboken und Berlin statt:

- Stakeholder Workshop im Juni 2013 in Accra,

- Verschiedene Workshops mit der Green ICT Group in Kairo,
- Meilenstein Workshop im November 2013 in Hoboken
- Abschließender Stakeholder Workshop im Juli 2015 in Accra,
- Abschlussveranstaltung des Bo2W-Projektes im September 2015 in Berlin.

Zu den Veranstaltungen in Europa, dem Meilenstein-Workshop bei Umicore in Hoboken (Belgien) und der Abschlussveranstaltung in Berlin, lud das Bo2W-Team ausgewählte Stakeholder aus Ghana und Ägypten ein und organisierte deren Reise. Die internationalen Gäste hatten ebenfalls die Möglichkeit, die High-Tech-Metallrecyclinganlage von Umicore in Hoboken (Gewinnung von Kupfer, Edelmetallen und anderen Metallen aus Elektroschrott wie Leiterplatten) sowie die High-Tech-Bleirecyclinganlage von Johnson Controls in Krautscheid (Gewinnung von Blei aus ausgedienten Blei-Säure-Batterien) zu besichtigen.

Fasst man die Erfahrungen der genannten Stakeholder-Austauschmöglichkeiten zusammen, kann festgehalten werden, dass in diesen Aktivitäten die Grundlage für die Erreichung der Projektziele lagen. Für zukünftige Ansätze zur Implementierung des Bo2W-Konzeptes in Entwicklungs- und Schwellenländern ist ein solches kommunikatives Vorgehen unbedingt zu empfehlen.

**Abbildung 3-9: Gruppenbild vom Bo2W Meilenstein Workshop (Nov. 2013 bei Umicore in Hoboken/Belgien)**



Quelle: Öko-Institut

### 3.5. Forschungsbeitrag 5: Pilothafte Umsetzung des Bo2W-Konzeptes

Ein Hauptziel des Bo2W-Projektes war die pilothafte Umsetzung des Bo2W-Konzeptes in die Praxis in Ghana und Ägypten. Dies bedeutet hauptsächlich die manuelle und sorgfältige Zerlegung von Elektroschrott (und die angemessene Behandlung von Blei-Säure-Batterien) vor Ort und den Export der separierten Materialien, für die keine passenden lokalen Kapazitäten für das Metallrefining existieren, in die modernen Anlagen der Bo2W-Partner nach Europa.

In Ghana agierte der lokale Bo2W-Projektpartner City Waste Recycling Ltd. als formales Kleinunternehmen (KMU) im Recyclingsektor mit Erfahrung im Bereich des Kunststoffrecyclings und – einige Jahre später – auch im Bereich Elektroschrottdemontage. In Ägypten war die Situation eine

andere – aufgrund der Tatsache, dass der lokale Bo2W-Partner CEDARE eine wissenschaftliche Denkfabrik für verschiedene Umweltthemen einschließlich Elektroschrott, jedoch selbst kein Demontagebetrieb ist. Dennoch konnte das Bo2W-Team mit der Unterstützung von CEDARE frühzeitig zwei neu gegründete Unternehmen in Ägypten finden, die sich gerade im Anfangsstadium des Elektroschrott-Sammelns und Demontierens befanden. Innerhalb der Projektlaufzeit (2012-2015) konnten die Bo2W-Partner bemerkenswerte Fortschritte bezüglich der Marktkennnisse und des Know-Hows dieser beiden neuen Unternehmen im Elektroschrottsektor in Ägypten feststellen. Beispielsweise begann ein Unternehmen mit dem Betrieb eines neuen Demontageprozesses und das zweite Unternehmen konnte einen bemerkenswert schnell wachsenden Zugriff auf Elektroschrottströme in Ägypten aufweisen. Es ist erwähnenswert, dass dieser Fortschritt trotz der schwierigen politischen Umstände in Ägypten in den Folgejahren nach der Ägyptischen Revolution im Januar 2011 erzielt werden konnte.

Eine ähnliche Situation für Ägypten und Ghana bestand in der Tatsache, dass der informelle Sektor den größten Anteil am Abfallsektor dieser beiden Länder, vergleichbar mit den meisten Entwicklungsländern und sogar Schwellenländern ausmacht. D.h. dass formelle Unternehmen wie City Waste Recycling Ltd. bezüglich der Beschaffung von Altgeräten mit dem informellen Sektor konkurrieren oder z.B. mit Teilen des existenten und gut organisierten informellen Sektors in der Region Accra in Ghana kooperieren müssen. Die verbleibenden Herausforderungen, die daraus resultieren, werden in den folgenden Kapiteln 4, 5 und 6 diskutiert.

Trotzdem gelang den Bo2W-Partnern die pilothafte Umsetzung des Bo2W-Konzeptes bezüglich der Blei-Säure-Batterien (von Ghana nach Deutschland) und der Leiterplatten von Ägypten/Ghana nach Belgien. Diese pilothafte Umsetzung wurde durch alle in den Forschungsbeiträgen 1-4 bereits erwähnten Projektaktivitäten ermöglicht und gesichert. So konnte im Rahmen dieser pilothaften Umsetzung eine nachhaltige Demontage von Materialanteilen und eine Wiedergewinnung der untersuchten Metalle wie Kupfer, Gold, Silber und Palladium von Umicore und Blei von Johnson Controls in deren hochtechnisierten Metallraffinerien (mit sehr hohen Wiedergewinnungsraten und minimalen Umweltauswirkungen) in Belgien und Deutschland realisiert werden.

Die notwendige Dokumentation für die Verpackung und Verschiffung diverser Container der Sekundärmaterialien aus Ägypten und Ghana nach Europa konnte mit der Unterstützung der erfahrenen Bo2W-Partner aus der Industrie (Umicore, VAC, Johnson Controls) und den lokalen Behörden in Ghana und Ägypten geleistet werden. Für weitere separierte Materialien wie Stahl oder Aluminium waren lokale Raffinerien in Ägypten und Ghana potentielle Geschäftspartner. Ein Export ausgedienter Blei-Säure-Batterien ist aus Ägypten aufgrund nationaler Vorschriften nicht möglich. Im Unterschied zur Situation in Ghana ist das interne Recycling von Blei-Säure-Batterien innerhalb Ägyptens sinnvoll, da in Ägypten große Produktionsunternehmen Blei-Säure-Batterien für den lokalen Markt herstellen und daher auf die Versorgung mit großen Bleimengen angewiesen sind. In Ghana existiert keine Herstellung von Blei-Säure-Batterien.

Die pilothafte Umsetzung des Bo2W-Konzeptes in Ghana und Ägypten belegte die Machbarkeit des gesamten Bo2W-Ansatzes in einem großen Umfang, was einen Materialfluss von Sekundärmaterialien nach Europa in der Größenordnung mehrerer Dutzend Tonnen bedeutet. Ungeachtet dessen deckte das Bo2W-Projekt gravierende strukturelle Hindernisse auf, die für die Umsetzung des Bo2W-Konzeptes in großem Umfang in Ländern wie Ägypten und Ghana überwunden werden müssen (siehe Kapitel 4-6).

**Abbildung 3-10: Pilothafte Umsetzung: City Waste Recycling Ltd, Accra**



Quelle: Öko-Institut

#### 4. Hindernisse bei der Umsetzung des Bo2W-Konzepts

Trotz der oben beschriebenen Ergebnisse und Erfolge des Bo2W-Projekts wurden verschiedene strukturelle Barrieren für die breite Implementierung des Bo2W-Konzepts identifiziert. Selbstverständlich waren praktische Hindernisse bereits zu Beginn des Projektes von den Bo2W-Partnern nicht ausgeschlossen worden. Doch mit dem Projektfortschritt erlangte das Team mehr und mehr Erfahrungen aus erster Hand über die ernsthaften strukturellen Barrieren, hier für die Pilotländer Ghana und Ägypten. Es darf dabei nicht vergessen werden, dass Ghana und Ägypten Entwicklungsländer mit sowohl gemeinsamen als auch speziellen Problembereichen sind. Vor diesem Hintergrund müssen die großen Herausforderungen für die Verbesserung der Abfallwirtschaft dieser Länder eingeschätzt werden. Und es ist nur ein paar Jahrzehnte her, dass sogar in Industrieländern wie Deutschland Abfallwirtschaft gerade im Bereich Altfahrzeuge und Elektroschrott ein ernstes Problem darstellte.

Die Externalisierung der Kosten für Gesundheit und Sicherheit, Umweltschutz und zumutbaren Arbeitsbedingungen durch die dominierende informelle Abfallwirtschaft in Ländern wie Ghana und Ägypten sind das Hauptproblem für die umfassende Verbreitung des Bo2W-Konzepts. Seriöse Unternehmen, welche diese Kosten selbst tragen, befinden sich daher in einem großen Wettbewerbsnachteil.

Die Sammlung, die Zerlegung und der Handel mit Elektroschrott und Altfahrzeugschrott sichert vielen tausenden Menschen, die im informellen Abfallsektor arbeiten, das schiere tägliche Überleben. Diese Menschen dulden selbst die kleinsten Einbußen ihrer Gewinne nicht, die durch Beachtung von Umweltgesetzen, von Sicherheits- und Gesundheitsvorkehrungen sowie durch grundlegende Arbeitsrechte hervorgerufen werden. Täglich sichtbare Auswirkungen sind die offene Verbrennung von Elektronikschrott - hauptsächlich Kupferkabel mit Isolationsmaterialien, die Deponierung von Kathodenstrahlröhren (bleihaltiges Glas) und Kunststofffraktionen in Gräben oder Lagunen (siehe folgendes Bild), das Ausschütten von Batteriesäure in den Boden und viele andere gefährliche unkontrollierte Praktiken.

**Abbildung 4-1: Unkontrolliertes Deponieren von wertlosen Fraktionen in Agbogbloshie in Accra/Ghana**

Quelle: Öko-Institut

Deshalb muss die aktuelle Situation in Ghana und Ägypten in Bezug auf Elektronikschrott und Altfahrzeugschrott als ungleiches Wettbewerbsfeld betrachtet werden.

Der weit verbreitete Mangel an grundlegenden Umweltgesetzen und -vorschriften und/oder die mangelnde Umsetzung bestehender Regelungen in Ghana und Ägypten verstärken dieses ungleiche Wettbewerbsfeld zusätzlich. Außerdem haben viele Menschen, die in der Abfallwirtschaft in diesen Ländern tätig sind, keine Informationen über die oft gefährlichen Auswirkungen ihrer täglichen Praxis. Dies wurde offensichtlich anlässlich des Stakeholder-Workshops in Accra im Juli 2015. Ein international anerkannter Experte für das Recycling von Blei-Säure-Batterien informierte bei dieser Veranstaltung das ghanaische Publikum einschließlich der Akteure der informellen Abfallwirtschaft über die sehr ernsthaften Gesundheitsauswirkungen durch Bleivergiftungen. Es zeigte sich, dass bei vielen Teilnehmern bis dato kaum Informationen und Kenntnisse über die schweren oder sogar lebensgefährlichen Auswirkungen von Bleivergiftungen auf die menschliche Gesundheit vorhanden waren.

In Ghana beispielsweise arbeiten ca. 80 % der Erwerbstätigen im informellen Sektor. Dies ist der Hauptgrund dafür, weshalb Umweltschutz und andere Vorschriften nicht bekannt oder missachtet werden und das Bewusstsein für Gesundheitsrisiken gänzlich nicht vorhanden ist. Daher stellt die Einführung und Durchsetzung von Vorschriften durch die Behörden in diesen Ländern eine große

Herausforderung dar und könnte sogar zu sozialen Unruhen innerhalb der Zielgruppen im informellen Sektor führen.

Die Folge der beschriebenen strukturellen Hindernisse ist, dass KMUs wie City Waste Recycling Ltd. in Ghana, die sich dem Bo2W-Konzept verpflichtet haben, unter einem ungleichen Wettbewerb leiden. Die Konkurrenz des informellen Abfallhandels hat in den meisten Fällen einen klaren wirtschaftlichen Vorteil bezüglich der Akquisition von Elektroschrott und Kfz-Abfällen, was auf die Kosten der Externalisierung des Umweltschutzes usw. zurückzuführen ist. Die wichtigsten Vorschläge zur Überwindung dieser Hindernisse werden in Kapitel 5 beschrieben

## 5. Wie die Herausforderungen bewältigt werden können

Wie in Kapitel 4 dargestellt, ist umwelt- und sozialverträgliches Recycling derzeit nicht wettbewerbsfähig im Vergleich mit dem informellen Recycling in Entwicklungsländern. Aus ökonomischer Perspektive können die informellen Praktiken folgendermaßen charakterisiert werden durch:

- Keine Kosten durch Steuern, Abgaben, Versicherungen etc.
- Geringes Einkommen der Arbeitskräfte und fehlende Sicherheitsvorkehrungen
- Fokus liegt nur auf wertvollen Fraktionen („cherry-picking“)
- Externalisierung der Kosten (hohe Umweltauswirkungen gehen zu Lasten der angrenzenden Regionen und der Gesellschaft)

Dieser strategische Nachteil ist von besonderer Bedeutung in Regionen wie in den urbanen Räumen Ghanas, wo das Sammeln von Elektroschrott und ausgedienten Blei-Säure-Batterien überwiegend durch eine informelle Sammlung erfolgt. Es wird eine direkte Auszahlung durch Bargeld und die Abholung der Altgeräte vor Ort (Privathaushalte und Unternehmen) angeboten. Mit diesen Bedingungen kann ein sozial- und umweltgerechtes Recycling nicht konkurrieren. Die Kostenbasis ist deutlich höher und folglich kommt es zu Schwierigkeiten beim Sammeln und der Akquisition von Altgeräten für das Recycling.

Aufgrund dieser strukturellen Hindernisse konnte die pilothafte Umsetzung des Bo2W-Ansatzes im Pilotland Ghana nur auf moderate Mengen an Elektroschrott und ausgedienten Blei-Säure-Batterien zurückgreifen. Trotz einer unterzeichneten Absichtserklärung (Memorandum of Understanding) mit der Greater Accra Scrap Dealers Association (GASDA) im Februar 2013 und verschiedenen Ansätzen zum Sammeln von Elektroschrott und ausgedienten Blei-Säure-Batterien (ULABs) für das Recycling, blieben die gesammelten Mengen moderat. In den meisten Fällen wurde deutlich, dass der informelle Schrottmarkt in Ghana – vor allem in den städtischen Zentren – sehr gut informiert und hoch wettbewerbsfähig ist. Obwohl die meisten Unternehmen und Einzelpersonen, die moderate oder große Schrottmengen verkaufen, sich prinzipiell für eine Geschäftspartnerschaft mit dem Bo2W-Projekt ausgesprochen hatten, ist es gängige Praxis die Preise mit verschiedenen Ankaufsstellen kurzfristig zu vergleichen bevor ein Handel abgeschlossen wird. Somit wird praktisch das gesamte Altgerätematerial an den Höchstbietenden verkauft. Da das Bo2W-Modell ökonomisch nicht mit dem informellen Recyclingsektor in Ghana konkurrieren kann, konnten nur wenige Mengen an Elektroschrott und ULABs erworben werden. Die Situation in Ägypten stellt sich sehr ähnlich dar.

Es ist unwahrscheinlich, dass sich an der Situation nur durch weiteres Bestreben in der Sammlung auf Privathaushaltsebene etwas ändert: Sollte ein formales Sammelsystem aufgesetzt werden, würden die steigenden Kosten für Infrastruktur und Logistik den ökonomischen Nachteil gegenüber

dem informellen System weiter verstärken. Weiterhin werden die Anreize, die Unternehmen und Haushalte geboten werden können, immer deutlich unter dem Level des informellen Sektors liegen, die mit minimaler Gewinnspanne, Investment und laufenden Kosten arbeiten.

Dennoch wurden im Bo2W-Projekt verschiedene Möglichkeiten zur Überwindung dieser Hindernisse identifiziert. Auch wenn keiner dieser Ansätze die perfekte Lösung des beschriebenen Dilemmas darstellt, ist dennoch zu empfehlen, dass diese zu einer zielgerichteten Strategie gebündelt werden für eine nachhaltige Transformation des Elektroschrott- und Altfahrzeugrecyclings in Entwicklungs- und Schwellenländern.

### 5.1. Verbesserter Zugang zu Abnahmemärkten

Verglichen mit den offiziell registrierten Recyclingunternehmen besitzt der informelle Sektor ebenfalls ökonomische Nachteile. Diese Nachteile können überwiegend folgendermaßen eingruppiert werden:

- Für viele Fraktionen wie Leiterplatten, Kupfer und Aluminium, kann der informelle Sektor nicht auf den nachgelagerten Markt zugreifen, da dieser meist in anderen Ländern ansässig ist. Dies liegt in ihrer informellen Natur und daran, dass große Metallraffinerien nur mit registrierten Firmen Geschäfte abwickeln. Weiterhin sehen sich kleine informelle Recycler vor dem Problem, die notwendige Schrottmengen in mehreren Tonnen pro Fraktion für eine solche direkte Geschäftsbeziehung zu produzieren. Infolgedessen ist der informelle Sektor von verschiedenen Zwischenhändlern abhängig. Während einige Zwischenhändler Schrott direkt aus dem informellen Sektor in Afrika erwerben, kümmern sich andere wiederum um Lagerung und Verschiffung. Zwischenhändler sind aber nicht nur in Afrika aktiv. Es wird angenommen, dass speziell Leiterplatten ebenso an Schrotthändler in anderen Regionen der Welt verkauft werden, die wiederum das Material in der Metallraffination einsetzen. Natürlich zielt jeder Zwischenhändler auf einen Gewinn ab. Während viele Zwischenhändler nützliche Dienste zur Verfügung stellen wie das Organisieren der Lagerung und des Transports, ist in diesem System der Zwischenhändler die Gewinnverteilung nicht transparent.
- Weiterhin führen diese komplexen Handelsketten zu einem Verlust an Rückkopplungsschleifen von den Metallrefining-Unternehmen zu den lokalen Demontageunternehmen in den Entwicklungs- und Schwellenländern. Metallrefining-Unternehmen stellen ihren Lieferanten umfassende Dokumentationen zur Materialqualität zur Verfügung stellen. Diese Informationen können aber nur zur Optimierung der Demontageprozesse genutzt werden, wenn die Zwischenhändler diese Information bereitstellen und an die lokalen Akteure weitergeben.

Somit können direkte Geschäftsbeziehungen zwischen international operierenden Metallrefining-Unternehmen und lokalen Demontageunternehmen die zuvor beschriebenen ökonomischen Nachteile des formellen und nachhaltigen Recyclings reduzieren. Dieser Ansatz der direkten Geschäftsbeziehungen wurde in der Umsetzung des Bo2W-Projekts in den Pilotländern verfolgt. Es konnten dabei zwei Stärken des Ansatzes belegt werden, zum einen dass höhere Preise für die Output-Fraktionen erzielt werden und zum anderen die Rückmeldeschleifen von Metallrefining-Unternehmen zu lokalen Demontageunternehmen etabliert werden können.

Dennoch zeigen sich bei dieser Strategie einige Herausforderungen:

- Viele lokale Demontageunternehmen in Entwicklungs- und Schwellenländern sind Neugründungen in diesem Bereich und schwierig von den internationalen Metallrefining-Unter-

nehmen einzuschätzen. In Zeiten von steigender Bedeutung von due diligence Aspekten (due diligence = eine mit „gebotener Sorgfalt“ durchgeführte Risikoprüfung) in Rohstofflieferketten sind die Bestrebungen von direkten Einbindungen von kleinen und mittleren Demontageunternehmen eine beträchtliche Aufgabe.

- Bei einer direkten Lieferung an Metallrefining-Unternehmen, müssen Demontageunternehmen ebenso für den Transport, die Logistik und die Vorfinanzierung aufkommen. Der letztgenannte Aspekt ist von besonderer Bedeutung, da Metallrefining-Unternehmen in der Regel nur empfangenes Material nach Prüfung bezahlen. Wenn man bedenkt, dass Demontageunternehmen zunächst Altmaterial sammeln und vorfinanzieren, bedeutet dies, dass erhebliche Finanzmittel zur Verfügung stehen müssen, um die Cash-flow-Lücke zu überbrücken.

## 5.2. Start von B2B-Geschäftsbeziehungen

Große nationale und internationale Unternehmen besitzen oft CSR-Strategien, in denen untersagt wird, ihren Abfall an nicht-registrierte Sammler/Recycler zu übergeben. Idealerweise erkundigen sich diese Unternehmen auch nach relevanten Betriebsgenehmigungen und Zertifikaten für ein umwelt- und sozialverträgliches Recycling. Der von solch großen Unternehmen erzeugte Elektroschrott ist häufig sehr vielversprechend für ein Recycling, da es sich meistens um Büroausstattung handelt, die positive Nettoerlöse sicherstellen. Dieses Business-to-Business-Segment (B2B) ist ein potentiell wichtiger Teilmarkt für umwelt- und sozialverträgliches Recycling, wenn nicht nur der Preis sondern auch Standards für umwelt- und sozialverträgliches Recycling zu Grunde gelegt werden.

Neben großen Unternehmen ist der öffentliche Sektor ein bedeutender Nachfrager von Elektrogeräten. Häufig sammeln öffentliche Institutionen wie Schulen, Universitäten und Behörden die aussortierten Elektrogeräte in bedeutenden Mengen. Diese Altgeräte werden oft über Auktionen an den Meistbietenden abgegeben. Grundsätzlich sollte jedoch der öffentliche Sektor eine Vorbildfunktion und Vorreiterrolle für seine Altgeräte übernehmen und seinen Elektroschrott und Altfahrzeuge ausschließlich an Betriebe übergeben, die ambitionierte Umwelt-, Gesundheits- und Sozialstandards vorweisen können.

Diese Strategie kann besonders lukrativ für Start-up-Recyclingunternehmen sein, um sich auf dem Markt zu etablieren und ambitionierte Standards umzusetzen und beizubehalten. Dennoch ist diese Strategie nur auf einen Teilmarkt begrenzt. Sie wird nicht die Probleme des unsachgemäßen Umgangs mit dem großen Mengenaufkommen an Elektroschrott und Altfahrzeugen von privaten Haushalten und Kleingewerbe lösen.

Die Regierung kann diese Strategie auf zweierlei Weise unterstützen:

- Eigene Abfallvolumina nur an Betriebe übergeben, die hohe Standards vorweisen;
- Unternehmen auffordern, nach diesen Richtlinien zu handeln.

## 5.3. Anreize versus Verbote

Unter Berücksichtigung der enormen Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen bei nicht umwelt- und sozialverträglicher Behandlung von Elektroschrott und ausgedienten Blei-Säure-Batterien (ULAB), ist offensichtlich, dass Verbote in allen Fällen ein bedeutendes Politikinstrument darstellen. Allerdings wirken sich diese auf Bereiche aus, in denen große Bevölkerungsgruppen ihr Einkommen im informellen Sektor erwirtschaften. Für das Pilotland Ghana wird angenommen, dass

80% der Arbeitskräfte unter informellen Bedingungen arbeiten (Osei-Boateng & Ampratwum 2011). Für Ghana ist ebenfalls bekannt, dass informelle Sammler und Recycler gerade in diesem Bereich arbeiten aufgrund der fehlenden wirtschaftlichen Alternative (Prakash & Manhart 2010). Des Weiteren haben viele Beobachtungen im Rahmen des Bo2W-Projektes gezeigt, dass die Praktiken des informellen Sektors strengen ökonomischen Überlegungen folgen. Dies wird anhand der folgenden Beispiele veranschaulicht:

- Kabel werden verbrannt, um den Metallkern von der Isolierung freizulegen (meist Kupfer, aber auch Aluminium), da Kabel mit Ummantelung von den Metallhändlern nicht angenommen werden. Obwohl die Metallkerne auch mechanisch freigelegt werden könnten (z.B. mittels Messer oder Kabelgranulator), werden diese Optionen nicht genutzt, da sie entweder deutlich arbeitsintensiver sind oder vergleichsweise hohes Investment und laufende Kosten verursachen.
- Fraktionen, die für die informellen Sammler und Recycler keinen Nettoerlös bringen (z.B. CRT-Glas, Kunststoff und Batteriesäure)<sup>2</sup> werden mit dem geringsten Aufwand bezüglich Arbeitszeit und Kosten entsorgt. Das bedeutet, dass diese Fraktionen unkontrolliert verklappt werden, häufig direkt bei den Zerlegestandorten. Um das Abfallvolumen zu verringern, werden brennbare Fraktionen regelmäßig verbrannt (meistens Kunststoffe). In manchen Fällen wie z.B. den gebrauchten Blei-Säure-Batterien werden die Fraktionen mit negativem Erlöspotential (in diesem Fall die Säure) bereits während der Sammlung eliminiert, um das Transportgewicht zu reduzieren.
- Es wurde weiterhin beobachtet, dass informelle Recycler ihre Prozesse nach wirtschaftlichen Überlegungen optimieren. Zum Beispiel war es in 2009 in Agbogbloshie gängige Praxis mit Hilfe alter Autoreifen die Kabel zu entzünden<sup>3</sup>. Alte Autoreifen stehen in Ghana kostenlos und ausreichend zur Verfügung und wurden daher lange zur Kabelverbrennung eingesetzt. Die informellen Recycler beobachteten jedoch, dass das Feuer mit Altreifen die Schmelztemperatur von Aluminiumlegierungen übersteigt und somit Sekundäraluminium verloren geht. Folglich stoppte der informelle Sektor den Einsatz von Altreifen für die Kabelverbrennung und setzt stattdessen heute Schaumstoffmaterial von Altkühlgeräten als Alternative ein.

Unter diesen Bedingungen ist es plausibel, dass eine Verhaltensveränderung nicht durch reine Verbote erzielt werden kann. In den Fällen, in denen Verbote einen negativen Einfluss auf die Geschäftsaktivitäten haben, ist es im undurchsichtigen Charakter des informellen Sektors wahrscheinlich, dass diese Verbote schnell umgangen werden. Als Beispiel kann hier genannt werden, dass verbotene Aktivitäten zu einer temporären oder dauerhaften Verlagerung dieser Aktivitäten in die Hinterhöfe und wenig bekannte Plätze führen.

Allerdings sollte das Argument der schwierigen Durchsetzung nicht dafür genutzt werden, von Verboten und Sanktionen generell abzusehen. Gut gezielte Sanktionen sollten ausgerichtet sein auf offensichtlich kriminelle umwelt- und sozialunverträgliche Praktiken mit besonders negativen Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt. Unter anderem beinhaltet dies:

- Illegale Importe von Elektroschrott und Altfahrzeugen
- Offenes Verbrennen von Kabeln, Kunststoffen und Autoreifen

---

<sup>2</sup> In der Tat sind diese Fraktionen meist Komponenten mit negativem Erlöspotential, da die Kosten für eine umweltverträgliche Behandlung meist höher liegen als die Erlöse, die so erzielt werden können (siehe Kapitel 3).

<sup>3</sup> Aufgrund von Flammenschutzmitteln in der Kabelisolierung werden andere Brennstoffe zur Entzündung benötigt.

- Unkontrolliertes Ablassen der Batteriesäure
- Verstoß gegen Mindest-Umwelt- und Sozialstandards in registrierten Unternehmen.

Grundsätzlich kann die Entwicklung politischer Rahmenbedingungen empfohlen werden, die nicht nur vor Verschmutzungspraktiken abschrecken, sondern gleichzeitig klare Anreize für umweltgerechte Praktiken bieten. In Bereichen mit starkem informellem Sektor sollte dies in eine kostengünstige Sammelstruktur bezüglich Altgeräten und -fraktionen überführt werden, die relevante negative Auswirkungen für Mensch und Umwelt aufweisen. In solch einem System sollte es idealerweise die wirtschaftlichste Option sein, Fraktionen wie Kabel eher zu einem geordnetem Sammelzentrum zu bringen als unsachgemäßes Recycling wie Kabelbrennen durchzuführen.

Dennoch benötigt ein solches Anreizsystem zusätzliche Finanzmittel jenseits der Erlöse, die durch die Rohstoffe generiert werden können. Da eine solche Finanzierung in den meisten Entwicklungs- und Schwellenländern nicht ohne weiteres umsetzbar ist, steht dies in enger Verbindung mit den Ansätzen im folgenden Kapitel.

#### 5.4. Finanzierungsmechanismen & EPR für Elektroschrott

Wie in Kapitel 4 und am Beginn dieses Kapitels 5 dargestellt, ist umwelt- und sozialverträgliches Recycling derzeit in Konkurrenz zum informellen Recycling wirtschaftlich nicht wettbewerbsfähig. Wie bereits in Abschnitt 5.3. beschrieben, ist es höchst unwahrscheinlich, dass in Wirtschaftssystemen mit starkem informellem Sektor Wettbewerbsgleichheit alleine durch die Einführung von Sanktionsmechanismen für nicht sachgemäßes Recycling erreicht werden kann. Im Gegenteil, eine Kopplung von Teilmechanismen und wirtschaftlichen Anreizen wird empfohlen.

Gleichwohl wurde in den vorhergehenden Abschnitten dargestellt, dass ein wirtschaftlicher Anreiz nicht alleine durch die Einnahmen der gewonnenen Rohstoffe gedeckt werden kann, da umweltverträgliches Recycling im Gegensatz zum informellem Recycling, keine entscheidenden Erlösvorteile erzielen kann. Die Ausgaben sind höher für den umweltverträglichen Umgang mit Fraktionen mit negativem Erlöspotential und die Einführung von Sozial- und Umweltstandards.

In diesem Fall erfordert das umweltverträgliche Recycling zusätzliche Finanzierung, um mit den informellen Strukturen und Prozessen mithalten zu können.

Ein weltweit anerkanntes Mittel für die Einrichtung eines solchen Finanzierungsmechanismus ist das Konzept der erweiterten Herstellerhaftung (EPR). Es baut auf dem Prinzip auf, dass die Akteure, die Geräte auf den Markt bringen (Hersteller oder Importeure), für die umweltverträgliche Behandlung verantwortlich sind. In den meisten Fällen erfordern die EPR-Systeme nicht notwendigerweise, dass die Hersteller/Importeure ihre eigenen auf den Markt gebrachten Altgeräte entsorgen, sondern eine entsprechende Anzahl der durch sie in einem bestimmten Zeitraum auf den Markt gebrachten Geräte.

Das Design von EPR-Systemen kann erheblich variieren und es gibt keine Blaupause, die für alle Länder empfohlen werden kann. Derzeit gibt es einen Elektroschrott-Gesetzentwurf in Ghana, der, sofern durch das Parlament verabschiedet, auf ein EPR-System abzielt, bei dem Importeure von neuen und gebrauchten Elektro- und Elektronikgeräten sowie Hersteller, die im Land produzieren, mit einer Abgabe von 0,10 bis 5,00 Cedi pro Gerät (0,02 € bis 1,19 € pro Gerät<sup>4</sup>) belastet werden (EPA Ghana 2013). Mit dieser Abgabe soll ein Fond gespeist werden, der ausschließlich dafür bestimmt ist, umweltverträgliche Recyclingaktivitäten für Elektronikschrott zu unterstützen.

---

<sup>4</sup> Berechnet mit der durchschnittlichen Wechselrate 01.01.2015 - 31.10.2015 (1 GHC = 0,2373 €).

Auch wenn die Regierung in einem solchen Modell nicht nur die Rolle einer Regulierungsbehörde einnimmt, sondern auch die Verwaltung dieses Fonds, ist es dennoch möglich, die Einführung ausschließlich dem privaten Sektor zu überlassen. Dies wird gegenwärtig in Deutschland durchgeführt, wo sich Hersteller zur Stiftung „Elektro-Altgeräte Register“ zusammengefunden haben (Stiftung ear). Diese Stiftung registriert die Hersteller und organisiert die Abholung und den Transport von kommunalen Sammelstellen entsprechend der bestehenden rechtlichen Anforderungen.

In jedem Fall sollten folgende kritische Aspekte bei der Gestaltung eines EPR-Systems für Elektroschrott in Entwicklungs- und Schwellenländern berücksichtigt werden:

- Unter den Begriff “Hersteller” sollen alle Akteure einbezogen werden, die ein neu produziertes Produkt auf den Markt bringen.
- Dies bedeutet, dass Hersteller/Importeure von Elektro- und Elektronikgeräten und ihre Volumina sorgfältig und umfassend registriert werden müssen. Dies ist in Ländern, in denen viele kleine und mittlere Importeure dominieren, eine Herausforderung.
- Da EPR-Systeme die Finanzierung des umweltverträglichen Umgangs mit Abfällen erwirtschaften, besteht auch ein Risiko für den Missbrauch von Geldern. Daher sollte darauf geachtet werden, dieses Risiko zu minimieren z. B. durch unabhängige Überwachung dieser verwalteten Fonds durch Dritte. Alternativ kann in rein geschäftlich getriebenen Modellen (wo keine Mittel durch staatliche Konten geleitet werden) die Regierung (möglicherweise gemeinsam mit Drittanbietern) den Erfolg von EPR-Anstrengungen auf der Grundlage der Abfallmengen, die umweltverträglich behandelt wurden, bewerten.

## 5.5. Finanzielle Unterstützung für Start-up-Unternehmen

Weitere wichtige Einschränkungen für umweltverträgliche Demontageunternehmen, die der Bo2W-Philosophie folgen, ergeben sich aus der Zeitverzögerung zwischen dem Anfall von Investitions- und Betriebskosten einerseits und Einnahmen andererseits. Demontageunternehmen verdienen normalerweise erst nach dem Verkauf von separierten Fraktionen an nachgeschaltete Absatzmärkte. Insbesondere dann, wenn Unternehmen dem Ansatz der direkten Zusammenarbeit mit dem Metallrefining-Unternehmen folgen (siehe Abschnitt 5.1), erhalten sie Zahlungen erst nach aufwendigen Analysen am Metallhüttenstandort, der sich meist in Übersee<sup>5</sup> befindet. Die Demontageunternehmen müssen jedoch zuvor die Finanzierung für den Erwerb von Schrott, Demontage und Sortierung, Lagerung, Transport und Logistik übernehmen, bevor sie einen Erlös erzielen. Nach den praktischen Erfahrungen der Pilotimplementierung in Ghana reicht diese Cash-Flow-Lücke von 100.000 bis 1.000.000 Euro und erstreckt sich über Zeitspannen zwischen 0,5 bis zu 2 Jahren. In vielen Entwicklungs- und Schwellenländern sind Kredite zu angemessenen Konditionen in diesem Bereich nur schwierig zu erhalten.<sup>6</sup>

Somit erfordert eine systematische Förderung von umweltschonenden Demontageunternehmen, die der Bo2W-Philosophie folgen, besondere Kredite, die auf die Bedürfnisse dieser Geschäfte zugeschnitten sind, einschließlich moderater Zinssätze. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist,

<sup>5</sup> Die einzigen Hüttenwerke, die in Ghana vorhanden sind, sind für Sekundärstahl und Blei von Blei-Säure-Batterien. Gleichwohl kann der letztgenannte Typ nicht als Downstream-Option in Ghana empfohlen werden. Dies liegt an den offensichtlichen Mängeln des Managements für gefährliches Material und ihren Prozessen sowie dem Fehlen von grundlegenden Maßnahmen für Gesundheit und Sicherheit der Arbeiter sowie für die angrenzende Nachbarschaft. (Manhart, A. & Schleicher, T. 2015).

<sup>6</sup> Zum Beispiel liegt der Zinssatz für solche Kredite bei 30-40% p.a. in Ghana, was eindeutig die Profitabilität von Recyclingunternehmen übersteigt.

dass Banken ihre Kenntnisse im Recyclingbusiness, Altmetallhandel und der Abfallwirtschaft ausbauen.

## 6. Zusammenfassung

Die Gesamtaussage des internationalen Verbundprojektes Bo2W, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), kann durch folgende Punkte unterstrichen werden:

- Das Bo2W-Konzept steht für ein erfolgreiches Modell und sollte der Kernansatz sein, um ein umweltverträgliches und sozial akzeptables Elektroschrott- und Altfahrzeugrecycling in Entwicklungs- und Schwellenländern zu erreichen.
- Die Vorteile der Entwicklungs- und Schwellenländer sind insbesondere arbeitsintensive Prozesse, die positive sozioökonomischen Entwicklungen, hohe Rückgewinnungsraten für Wertstoffe sowie bessere Gesundheits-, Sicherheits- und umweltverträgliche Arbeitsbedingungen mit sich bringen.
- Die hohe Reinheit der getrennten Abfallfraktionen durch die manuellen Demontageprozesse ist für die Recyclingwirtschaft von besonderem Interesse. Vergleichbare Qualitäten der separierten Fraktionen sind durch mechanische Vorbehandlungsprozesse meistens nur sehr schwer zu erreichen.
- Daher sollten Strategien zur Entwicklung einer angemessenen Recyclinginfrastruktur in Entwicklungs- und Schwellenländern nicht auf reinen Technologietransfer setzen.
- Dennoch ist zu betonen, dass das Bo2W-Modell in den meisten Ländern mit einem sehr starken informellen Sektor konkurrieren muss, der einen klaren wirtschaftlichen Vorteil durch Externalisierung der Kosten aufweist.
- Aus diesem Grund konnte das Bo2W-Konzept derzeit nur in Nischenmärkten umgesetzt werden.
- Eine relevante Verbreitung des Bo2W-Konzepts kann nicht ohne eine konsequente Einwirkung auf die Rahmenbedingungen auf nationaler Ebene erwartet werden. Dies ist von Bedeutung, da Demontageunternehmen, die sich dem Bo2W-Konzept verpflichtet haben, unter dem ungleichen Wettbewerb auf dem Abfallmarkt leiden.
- Der erwähnte ungleiche Wettbewerb muss durch Änderung der Rahmenbedingungen verbessert werden. Es gilt, einen Business Case für das angemessene Recycling in Entwicklungs- und Schwellenländern zu realisieren.
- Das Prinzip der erweiterten Herstellerverantwortung (EPR) im Bereich Elektroschrott ist der Grundstein zur Verbesserung der Rahmenbedingungen. Basierend auf der anhaltenden nationalen Diskussion könnte Ghana die Vorreiterrolle zur Praxiseinführung des EPR Grundsatzes spielen.
- Die Herausforderungen an das Recycling von Elektroschrott und Altfahrzeugen werden durch die steilen Wachstumsraten dieser Abfallfraktionen in Entwicklungs- und Schwellenländern weiter zunehmen. Diese Fakten sind für Ägypten und Ghana durch die Ergebnisse des Bo2W-Projekts eindeutig verifiziert.
- Aufgrund der dramatisch wachsenden Herausforderung durch gefährliche Praktiken beim Recycling von Elektroschrott und Altfahrzeugen sollte in vielen Entwicklungs- und Schwellen-

lenländern ein koordinierter internationaler Förderprozess für ein umweltgerechtes Recycling durch die Vereinten Nationen initiiert werden. Dies ist dringend notwendig, da in vielen Ländern die nationalen Ressourcen auf Regierungsebene nicht ausreichen, um die wachsenden Probleme und den Notstand zu adressieren.

## 7. Anhang – Liste der Teilberichte im Rahmen des Bo2W-Projektes

Unter anderem sind folgende Bo2W-Teilberichte auf der Projektseite [http://www.resourcefever.com/project/global\\_circular\\_economy\\_of\\_strategic\\_metals.html](http://www.resourcefever.com/project/global_circular_economy_of_strategic_metals.html) veröffentlicht:

- a) Manhart, A.; Schleicher, T.; Degreif, S.: Global Circular Economy of Strategic Metals (Bo2W) - Chapter Ghana (April 2014);  
[http://www.resourcefever.com/publications/reports/BO2W\\_Report\\_ChapterGhana\\_WP2\\_3\\_2014\\_Manhart\\_Schleicher.pdf](http://www.resourcefever.com/publications/reports/BO2W_Report_ChapterGhana_WP2_3_2014_Manhart_Schleicher.pdf)
- b) Degreif, S.; Mehlhart, G.; Merz, C.: Global Circular Economy of Strategic Metals (Bo2W) - Chapter Egypt (July 2014);  
[http://www.resourcefever.com/publications/reports/Bo2W\\_Report\\_Egypt\\_WP2\\_2\\_and\\_2\\_4\\_final\\_2014\\_07\\_21.pdf](http://www.resourcefever.com/publications/reports/Bo2W_Report_Egypt_WP2_2_and_2_4_final_2014_07_21.pdf)
- c) Bleher, D.: Recycling options for waste CRT glass (April 2014);  
[http://www.resourcefever.com/publications/reports/Bo2W\\_Report\\_CRT\\_glass\\_Daniel\\_Bleher.pdf](http://www.resourcefever.com/publications/reports/Bo2W_Report_CRT_glass_Daniel_Bleher.pdf)
- d) Bleher, D.: Recycling options for WEEE plastic components (October 2014);  
[http://www.resourcefever.com/publications/reports/Bo2W%20Report\\_thermoplastics\\_October2014.pdf](http://www.resourcefever.com/publications/reports/Bo2W%20Report_thermoplastics_October2014.pdf)
- e) Manhart, A.; Meinel, J.; Walgenbach, S.: Bo2W: Legal and institutional requirements in Ghana (October 2014);  
[http://www.resourcefever.com/publications/reports/Bo2W\\_legal\\_requirements\\_Ghana\\_final.pdf](http://www.resourcefever.com/publications/reports/Bo2W_legal_requirements_Ghana_final.pdf)
- f) Manhart, A.; Buchert, M.; Degreif, S.; Mehlhart, G.; Meinel, J.: Recycling of Hard Disk Drives - Analysing the optimal dismantling depth for recyclers in developing countries and emerging economies (November 2015);  
[http://www.resourcefever.com/publications/reports/Bo2W\\_HDD\\_Dismantling\\_Nov2015\\_final.pdf](http://www.resourcefever.com/publications/reports/Bo2W_HDD_Dismantling_Nov2015_final.pdf)

Im Rahmen des Projektes wurde ein Film über das Recycling von Blei-Säure-Batterien in Ghana produziert und ist veröffentlicht unter:

<http://www.oeko.de/en/up-to-date/2015/new-film-on-the-recycling-of-lead-acid-batteries-in-ghana/>

Die folgenden Bo2W-Poster sind in den Sprachen Englisch, Französisch, Arabisch, Twi und Hausa auf der Projektwebsite (unter Brochures) abzurufen:

- a) Dismantling CRT
- b) Dismantling Desktop Computer
- c) Packaging Lead Acid Batteries

Weiterhin sind im Rahmen der Berliner Recycling- und Rohstoffkonferenz folgende Tagungsbeiträge in den letzten Jahren veröffentlicht worden:

Buchert, M.; Manhart, A.: Globale Kreislaufführung strategischer Metalle: Best-of-two-Worlds Ansatz. In Thome-Kozmiensky, K.J.; Goldmann D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 6. Nietwerder: TK Verlag Karl Thome-Kozmiensky, 2013.

Manhart, A.; Ahiayibor, V.; Buchert, M.; Bleher, D.; Meinel, J.; Meskers, C.; Picard, M.; Schleicher, T.; Vandendaelen, A.: Status des Projekts Best-of-two-Worlds - Beispiel Ghana. In Thome-Kozmiensky, K.J.; Goldmann D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 7. Neuruppin: TK Verlag Karl Thome-Kozmiensky, 2014.

[Mehlhart, G.; Buchert, M.; Bleher, D.: Status des Projekts Best-of-two-Worlds - Beispiel Ägypten. In Thome-Kozmiensky, K.J.; Goldmann D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 8. Neuruppin: TK Verlag Karl Thome-Kozmiensky, 2015.

Ebenfalls sind Präsentationen der Bo2W-Workshops (u.a. der Abschlussveranstaltung am 24.9.2015) und anderen Veranstaltungen auf der Projektwebseite veröffentlicht. Weitere Veröffentlichungen (wie z.B. zusätzliche Teilberichte) werden ebenfalls in Kürze auf die Projektwebseite gestellt.

[http://www.resourcefever.com/project/global\\_circular\\_economy\\_of\\_strategic\\_metals.html](http://www.resourcefever.com/project/global_circular_economy_of_strategic_metals.html)

## 8. Literaturverzeichnis

Chancerel, P. (2010). Substance flow analysis of the recycling of small waste electrical and electronic equipment: An assessment of the recovery of gold and palladium (1. Aufl). ITU-Schriftenreihe: Bd. 09. [Clausthal-Zellerfeld]: [Papierflieger].

EPA Ghana (2013). Hazardous and electronic waste control and management bill (2013).

European Commission (2014). Report on critical raw materials for the EU: Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials.

Gmünder, S. (2007). Recycling - from waste to resource: Assessment of optimal dismantling depth of a desktop PC in China based on eco-efficiency calculations. Diploma thesis. Zürich.

Keller, M. (2006). Assessment of gold recovery processes in Bangalore, India, and evaluation of an alternative recycling path for printed wiring boards. Diploma thesis at the Institute for Spatial and Landscape Planning, Regional Resource Management at the ETH Zurich. Zürich.

Kuper, J. & Hojsik, M. (2008). Poisoning the poor: Electronic waste in Ghana. Amsterdam.

Manhart, A. (2011). International Cooperation for Metal Recycling From Waste Electrical and Electronic Equipment. Journal of Industrial Ecology, 15(1), pp. 13–30. doi:10.1111/j.1530-9290.2010.00307.x.

- Manhart, A. & Schleicher, T. (2015). The recycling chain for used lead-acid batteries in Ghana: Observations and general considerations. Available at <http://www.econet.international/index.php?id=3>.
- Meskers et al. (2009). Impact of pre-processing routes on precious metal recovery from PCs. Proceedings of EMC 2009, GDMB Medienverlag, Clausthal Zellerfeld.
- Osei-Boateng, C. & Ampratwum, E. (2011). The Informal Sector in Ghana. Accra. Available at <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/ghana/10496.pdf>, last accessed on 12 Nov 2015.
- Prakash, S. & Manhart, A. (2010). Socio-economic assessment and feasibility study on sustainable e-waste management in Ghana. Freiburg. Available at <http://www.oeko.de/oekodoc/1057/2010-105-en.pdf>, last accessed on 12 Nov 2015.
- Puckett, J.; Westervelt, S.; Gutierrez, R. & Takamiya, Y. (2005). The Digital Dump: Exporting Re-use and Abuse to Africa. Seattle. Available at <http://ban.org/library/TheDigitalDump.pdf>, last accessed on 07 Jul 2015.
- Salhofer, S.; Spitzbart, M.; Meskers, C.; Hagelüken, C.; Schöps, D.; Kriegl, M. & Panowitz, G. (2009). Vergleich von manueller Demontage und mechanischer Aufbereitung von PCs.: Technical Paper. Wien.
- Sepúlveda, A.; Schluep, M.; Renaud, F. G.; Streicher, M.; Kuehr, R.; Hagelüken, C. & Gerecke, A. C. (2010). A review of the environmental fate and effects of hazardous substances released from electrical and electronic equipments during recycling: Examples from China and India. Environmental Impact Assessment Review, 30(1), pp. 28–41. doi:10.1016/j.eiar.2009.04.001.
- Wang, F.; Huisman, J.; Meskers, C. E.; Schluep, M.; Stevels, A. & Hagelüken, C. (2012). The Best-of-2-Worlds philosophy: Developing local dismantling and global infrastructure network for sustainable e-waste treatment in emerging economies. Waste Management, 32(11), pp. 2134–2146. doi:10.1016/j.wasman.2012.03.029.
- World Health Organization (2014). Data and statistics. Available at <http://www.who.int/research/en/>, last accessed on 25 Nov 2014.
- Yu, J.; Williams, E.; Yu, M. & Yang, Y. (2010). Forecasting Global Generation of Obsolete Personal Computers. Environmental Science & Technology, 44, pp. 3232–3237.
- Zhao, G.; Wang, Z.; Dong, M. H.; Rao, K.; Luo, J.; Wang, D.; Zha, J.; Huang, S.; Xu, Y. & Ma, M. (2008). PBBs, PBDEs, and PCBs levels in hair of residents around e-waste disassembly sites in Zhejiang Province, China, and their potential sources. Science of The Total Environment, 397(1-3), pp. 46–57. doi:10.1016/j.scitotenv.2008.03.010.