

# SOLARMODULRECYCLING

## HOCHWERTIGES MODULRECYCLING WEIT ÜBER WEEE-RICHTLINIE HINAUS



Copyright Solar Factory GmbH 2013

Bild 1: Solarpark Solar Factory GmbH, Haldengelände Gewerbepark Saxonia. Inbetriebnahme 2008; Erweiterung 2010

Aufgrund der Umsetzung der WEEE-Richtlinie<sup>1)</sup> in nationales Recht bis Februar 2014, entwickeln die EU-Länder notwendige Infrastrukturen für die Sammlung (85 %) und Wiederverwertung (80 %) von Solarmodulen (Solarmodulstoffströme). Die Vorgaben sind im Zeitraum von vier Jahren prozentual ansteigend zu erfüllen. Sammelstrukturen sind aufgrund der Aktivitäten der Industrieverbände PV Cycle und CERES in der EU bereits flächendeckend im Aufbau und werden ständig erweitert. Damit ist die WEEE-Richtlinie jedoch nicht erfüllt, denn Solarmodule müssen dem Recycling zugeführt werden.

Dass hochwertiges Recycling, welches auch die enthaltenen Sondermetalle umfasst, ökologisch sinnvoll ist, haben Studien längst bewiesen. Jedoch schreibt die WEEE-Richtlinie „nur“ eine 80%ige Behandlung der Module vor. Mit der Verwertung von Glas und Rahmen wird das bereits erfüllt. Hochwertiges Recycling wird lediglich in einer unverbindlichen Passage der Richtlinie als „sinnvoll“ bezeichnet. „Es ist zu begrüßen, dass es Unternehmer gibt, die sich dafür engagieren“ sagt der ehemalige Geschäftsführer der Sunicon, Dr. Karsten Wambach von Wambach-Consulting. Das entspreche auch dem Ziel

der Ressourcenschonung der EU und der Deutschen Bundesregierung.

Wirtschaftlich sind Anlagen des hochwertigen Recyclings mit Risiken verbunden, weil diese, das betont Dr. Wambach, sehr früh im Wettbewerb mit anderen, bodenständigen Anbietern und Technologien stehen. Notwendige Planungsvoraussetzungen, wie gesetzliche Rahmenbedingungen wird es in Deutschland erst im Februar 2014 geben. Die vertragliche Grundlastsicherung deutscher Anlagen mit Produktionsabfällen von Herstellern, sollte ursprünglich deren Planungssicherheit gewährleisten. Davon ausgehend sollte die Anlagenkapazität sukzessive ausgebaut werden, erläutert Dr. Wambach. Wegen der Verlagerung der Modulproduktion nach Asien entfällt diese Grundlastsicherung deutscher Anlagen weitgehend. „Mit guten Voraussetzungen ist das jedoch trotzdem machbar“ sagt der Experte, die Anlagenbetriebe sei aus unternehmerischer Sicht eine Frage der Abschätzung der Rahmenbedingungen und der zu erwartenden Durchsatzmengen pro Anlage. Die Politik sei gefordert, konkrete Richtlinien und Anreize zu definieren, wenn Deutschland technologischer Kompetenzstandort für die Wiedergewinnung wertvoller Rohstoffe wie Silizium, Indium, Tellur und Silber werden soll. In diesem sehr dynamischen und noch mit vielen Fragezeichen gekennzeichneten Marktgefüge kann es passieren, so Dr. Wambach, „dass der nationale Gesetzgeber Anforderungen über die bekannte neue europäische WEEE-Richtlinie hinaus stellt“. Für Deutschland gelte das im Besonderen, da das überarbeitete deutsche Elektrogerätegesetz (ElektroG) noch nicht fertiggestellt ist.

Fall	Größe/Anzahl	Empfehlung
Kleinmodul	Einzelexemplar	Händler Wertstoffhof
Dachanlage o.ä.	Installateur	Gewerbliche Rücknahme Systemnutzung
Großanlage	Installateur; Demontageunternehmen	Gewerbliche Rücknahme Systemnutzung
Freifieldanlage	Installateur; Demontageunternehmen	Gewerbliche Rücknahme Systemnutzung

Copyright: Dr. Karsten Wambach-Consulting 2013

Tabelle 1: Demontage und Rücknahme von Solarmodulen

Solarzellentyp	
Kristallines Silizium	mono-, multikristallin, foliengezogen
Dünnschichtsolarzellen	amorphes Si, CdTe, CIS, andere
Modulaufbau	
Frontseite	Glas, Acrylat, PC, PET, Tefzel, andere
Rückseite	TPT, TAT, Glas, Stahl, Acrylate, PC, andere
Verbundmaterial	EVA, PVB, PU, Acrylate, Silikone, andere
Rahmung	
Metalle	Alluminium, Stähle
Kunststoffe	PC, PU, PET, andere
Rahmenlos	-

Copyright: Dr. Karsten Wambach-Consulting 2013

Tabelle 2: In Solarmodulen enthaltene Rohstoffe

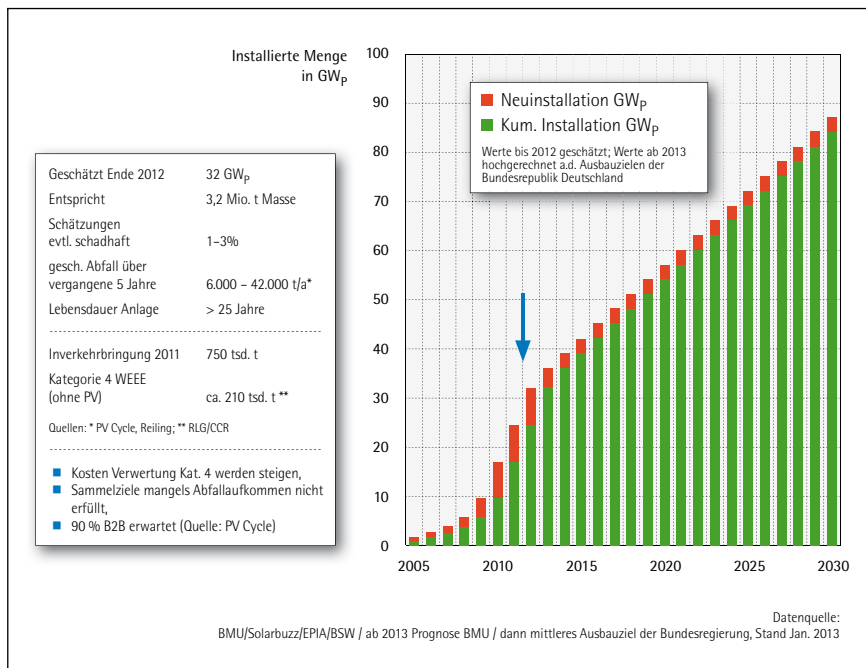


Bild 2: Installierte Solarmodule in Deutschland

### WEEE-Richtlinie

Laut der 2012 novellierten WEEE-Richtlinie müssen Solarmodule aus privater Anwendung (B2C) und gewerblicher Anwendung (B2B) kostenlos gesammelt und einer Weiterbehandlung (Recycling) zugeführt werden. Die Kosten muss der Hersteller tragen, der dabei die Möglichkeit hat, sich an einem kollektiven Sammelsystem zu beteiligen (z.B. PV Cycle; CERES) oder eine individuelle Lösung anzuwenden. Angaben über bereits 2020 zu recycelnde Modulmengen belaufen sich je nach Quelle auf 18 bis 35.000 Tonnen Module. Das entspricht einem Rücklauf von fast zwei Millionen Modulen, äußert Karsten Wambach.

Der Großteil der Modulinstallationen erfolgte in den vergangenen vier Jahren, mit einer Lebenszeit von noch rund 20 Jahren. Ein Werk arbeite bei heutigem Stand der Technik erst ab 20.000 Tonnen im Jahr rentabel, sagt Wambach. Und diese Rechnung gehe nur bei den gegenwärtigen Energie- und Rohstoffpreisen auf.

### Struktur und Überwachung der Solarmodulstoffströme

Wambach erläutert die bisherige Struktur der Überwachung der Solarmodulstoffströme. Demnach überwacht das EAR (Elektroaltgerätregister) im Rahmen des Elektrogerätegesetzes unter dem nach der aktuellen WEEE-Novelle ab Februar 2014 auch Solarmodule als Elektroschrott behandelt werden müssen, die Stoffströme von Solarmodulen.

Hersteller, die Module auf den Markt bringen, müssen sich bei der EAR registrieren lassen und die Verkaufsmengen

künftig regelmäßig melden. Das EAR ordnet gemäß dem Marktanteil der Hersteller für die in den Verkehr gebrachten Solarmodule, Abholaufträge von der Sammelstelle für Geräteabfälle zum Verwerter an. Diese müssen vom Hersteller innerhalb von vier Tagen abgewickelt werden. Die Abholaufträge richten sich nach dem Anteil des Herstellers an der gesamten im jeweiligen Kalenderjahr in Verkehr gebrachten Mengen an Elektro- und Elektronikgeräten pro Geräteart (ElektroG § 14 Abs. 5 Nr. 2). Die Kosten für die Abholung und die Entsorgung trägt der Hersteller. Auch geeignete Dienstleister und zugelassene Transporteure können eingebunden werden. Die Verwerter melden die Mengen und Verwertungsquoten ebenfalls an die EAR. Die Richtlinie schreibt vor, dass Endkunden die Module nach der Nutzung einer geeigneten Sammelstelle zuführen müssen. Diese Abgabe ist für den Endkunden kostenlos.

Die Höhe der notwendigen Rückstellungen für die Entsorgung der Solarmodule ergibt sich über die Gebührenordnung der EAR, die Sammel- und Transportkosten sowie Kosten für die Verwertung der Module. Aktuell steht die Entsorgungskostenstruktur von Solarmodulen am Entsorgungsmarkt mit Deponierungskosten im Wettbewerb. Der Annahmepreis für eine Tonne Solarmodule beim Recycler beläuft sich aktuell auf etwa 80 Euro als unterem Kostenwert. „Das Preisgefüge kann sich jedoch im Zuge der Entwicklung dieser gesamten Sammel- und Recyclinginfrastruktur verändern“, kommentiert Dr. Wambach. Für Elektrogeräte bestehen heute mehrere langfristige insolvenzgesicherte Sys-

### Beteiligte Akteure PV-Sammelinfrastruktur

- Industrieverband PV CYCLE, CERES (herstellereinitiiert)
- Entsorgung eigener Systeme der Hersteller im Rahmen ihrer E-Schrott-Aktivitäten
- E-Schrott Dienstleister
- Recycler
- Logistikunternehmen
- Kommunale Sammelstellen

### Offene Fragen zur Schließung von Organisationslücken

#### Sammlung

- Definition der Module und der Sammlung
- Detaillierung der Sammlung bei kommunalen Stellen
- Optierungsrecht der Kommunen
- Hol- oder Bringsysteme
- Verpflichtungen des Handels

#### Abfallbehandlung

- Promotion der Wiederverwendung
- Spezielle Anforderungen an die Behandlung
- Zertifizierung der Behandlungsstellen
- Ressourceneffizienz der Rückgewinnung

### Heutige Situation PV-Modul-Recycling

- Abfallströme durch hohen Wettbewerb und „Bemusterungen“ schon heute hochdispers
- Keine separate Sammlung von PV
- Geringe Abfallmengen rechtfertigen derzeit kaum Neuinvestitionen
- Gesetzgeber bietet derzeit kaum Anreize für hochwertige Recyclinglösungen

### Anforderungen an Sammelstellen verdeutlichen den Sinn der separaten Sammlung

- Separate Sammlung der Module
- ggf. Typentrennung? (nach Schulung)
- Zu vermeiden sind alle unnötigen Folgeschäden durch unsachgemäße Lagerung
- Lamine auch mit gebrochenen Frontglasscheiben nicht weiter knicken oder zerschlagen
- Vermeidung von Bruch der eingebetteten Zellen
- Module plan stapeln
- Dosen und Rahmen müssen nicht entfernt werden
- Transport und Lagerung der Module z.B. mittels standardisierter Verpackungsmittel wie Holz- oder Pappkisten; Einweg- oder Europaletten (auch im Paletten-Tauschverfahren); ausrangierte oder Einweggestelle
- Staplergängige Verpackung, z.B. in Containern

Copyright: Dr. Karsten Wambach-Consulting 01.02.2013

teme, denen Hersteller beitreten können. „Pioniere müssen unternehmerisch sehr vorsichtig agieren“, sagt Wambach. Aktuell gilt es die Organisationslücke der Zuweisung von Modulen an Recycler zu schließen und Recycling-Annahmekosten planbar zu machen. Der volatile Markt werde von Auflagen bei Einspeisevergütungen, von Versicherungen, sich verändernden rechtlichen Rahmenbedingungen (EEG, Conto Energia), einer aktuell noch geringen Investitionsbereitschaft in hochwertige Recyclinglösungen sowie von Andienungs- und Rückstellungspflichten beeinflusst.

### Projekt Essenz r<sup>3</sup> – Messung von Ressourceneffizienz 2012–2015

Auch die Ressourceneffizienz der Rohstoffrückgewinnung soll künftig wissenschaftlich fundiert vergleichbar sein. Daran arbeitet das Forschungsprojekt Essenz der TU Berlin. Der Umgang mit kritischen Materialien soll transparent gemacht werden. Ein Hinweis, dass hochwertiges Recycling zukünftig bedeutender wird. Ressourceneffizienz ist bisher nicht eindeutig definiert. Dafür bedarf es eine konkrete Definition des Begriffs und von ausgewählten Indikatoren. „Beides wird im Essenz-Projekt entwickelt“, sagt Vanessa Bach, die in das Projekt involviert ist. „Wenn die Methode fertig ist, soll sie natürlich branchenübergreifend anwendbar sein. Das beinhaltet dann alle Materialien und in Fallbeispielen einzelne Produkte. Bezogen auf Solarmodule können wir mit der Essenz-Methode die Bestandteile Glas, Aluminium, Kunststoffe und natürlich Silicium bewerten. In wie weit sich Auswirkungen auf die Recyclingstruktur ergeben, kann ich ohne eine durchgeführte Studie nicht sagen. Sicherlich wird sich aber diese Recyclingstruktur an den kritischen Rohstoffen orientieren, sprich eher daran Silizium zurück zu gewinnen als Glas.“ Zurzeit befindet sich die Essenz-Methode noch in der Entwicklung.



Bild 4: Glasrecyclat

### PV Cycle

Auf die Frage, ob PV Cycle den Umsetzungsstand der WEEE-Richtlinie-Umsetzung in nationales Recht der einzelnen EU-Länder erfasst kommentiert Alina Lange von der PV Cycle-Unternehmenskommunikation: „Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es noch keine konkreten WEEE-Gesetze auf Länderbasis. Die Mitgliedsstaaten haben bis Februar 2014 Zeit um die WEEE-Richtlinie in nationales Gesetz umzuwandeln. Manche Länder, wie die Tschechische Republik, Flandern (Belgien) oder Italien, haben aber zwischenzeitlich andere Gesetze mit Abfallentsorgungsverpflichtungen für PV-Module verabschiedet. So sind seit letztem Jahr die Sammlung und das Recycling von PV-Altmodulen unter momentan geltendem Energiegesetz in Italien verpflichtend. Als führendes Rücknahme- und Recyclingprogramm begrüßen wir jedoch Ne Investitionen und die Weiterentwicklung im Bereich PV-Modulrecycling. Daran sei PV Cycle proaktiv beteiligt. PV Cycle hat nach eigenen Angaben, bis dato mehr als 5.500 Tonnen an PV-Altmodulen bearbeitet. „Wir repräsentieren rund 90 % des europäischen PV-Markts. In 2012 haben wir darüber hinaus unsere erste Länderniederlassung Italien gegründet“. Weitere Niederlassungen sollen folgen.“

### CERES (European Center for the Recycling of Solar Energy)

CERES, gegründet im Januar 2012, ist ein gemeinnütziger Verband mit Sitz in Paris, der ähnlich wie PV Cycle als Non-Profit-Verband, mit sich etwas unterscheidender Satzung agiert. Zusammen mit den Herstellern von Photovoltaik-Modulen, Solarkraftwerkeigentümern und anderen Interessierten setzt sich CERES für die Wiederverwertung ausgedienter Module ein. Nach eigenen Angaben ein „innovatives Programm für die Sammlung und das Recycling gebrauchter Solarmodule und Produktionsausschuss entwickelt“ und seit der Gründung bereits über 500 Tonnen an ausgedienten und beschädigten Modulen gesammelt. Im September 2012 schloss CERES eine Kooperation mit PV-Recycling mit Sitz in Tempe, Arizona, USA. CERES betreibt gemeinsam mit seinen Partnern die Organisation von Sammelstellen für ausgediente Module in ganz Europa und erhebt statistische Daten. Mit pv recycling soll nach Angaben der Kooperationspartner eine „umweltfreundliche, sozial und finanziell verantwortliche Lösung des Modulrecyclings entstehen“, die in den USA und in Europa angeboten wird. Mit rund 114 Mitgliedern ist CERES ein europäischer Wettbewerber von PV Cycle, der aufgrund seiner Kooperation auch in den USA agiert.



Bild 3: Siliziumrecyclat

### Neue Recyclingtechnologien in Deutschland – Hauptakteure sind nicht die Modulhersteller

Insgesamt betrachtet sind Solarmodule gefragte Produkte auf dem Entsorgungs- und Recyclingmarkt. Aktuell sind bereits verschiedene Recycling-Anlagen in Betrieb, befinden sich in der Pilotphase oder der fortgeschrittenen Laborphase. Neben Modulherstellern sind vorwiegend Glasentsorger wie z.B. die Reiling GmbH & Co. KG in diesem Marktsegment aktiv, die aktuell, laut Dr. Wambach, eine 90%ige Recyclingquote von Solarmodulen durch das Glas- und Metallrecycling erreichen. Sondermetalle können mit diesen Anlagen nicht recycelt werden. Aufgrund von Verunreinigungen der Glasabfälle resultiert kein hochreines Solarglas. Pro Jahr verbraucht die Solarbranche rund 650 Tonnen wertvoller Sondermetalle. Ein Großteil davon könnte in Deutschland per Recycling rückgewonnen werden.

### Hochwertiges Recycling

Solar World verfügt über eine technologische Recyclinganlage (ehemals Sunicon, heute Deutsche Solar), mit der Silizium hochrein wiedergewonnen werden kann. Die Anlage scheint still zustehen. Die Deutsche Solar verarbeitet aktuell nach eigenen Angaben nur Produktionsabfälle. First Solar betreibt eine eigene Recyclinganlage für Cadmiumtellurid (CdTe)-Dünnschichtmodule.

Neue Anlagentechnologien für das hochwertige Recycling von Solarmodulen funktionieren auf einer technologischen Basis, die langfristig auch andere, Verbundmaterialien enthaltende Produktkategorien, wie z.B. LCD-Bildschirme und OPV, verarbeiten können. Betreiber und Investoren für solche Anlagen sind aktuell privatwirtschaftliche Unternehmen, die ihre Expertisen nicht in der Solarmodulherstellung, sondern der Entsorgung oder dem hochwertigen Recycling, z.B. von Batterien haben. Zwei solche Anlagen sollen in Deutschland noch 2013 entstehen.

## Lobbe Industrieservice GmbH & Co. KG

Neue Technologien könnten auch das hochreine Glasrecycling möglich machen.

Die Lobbe Industrieservice GmbH & Co. KG hat ein Verfahren in EU-Patentierung, mit dem hochwertiges Solarmodulrecycling und das Recycling von weiteren Verbundmaterialien wie z.B. LCD-Bildschirmen wirtschaftlich möglich werden soll. Das Konzept erhielt im vergangenen November den Zukunftspreis der Zukunftsstiftung Südraum Leipzig. „Das Verfahren an sich basiert auf kryotechnologischen Prozessen, wie sie bereits etabliert im Lebensmittelbereich Verwendung finden (Schockgefrieren). Die größte Herausforderung für Lobbe ist es aktuell, mit letzten Tests darzustellen, ob dieses auf Solarmodule konzipierte Verfahren wirtschaftlich am Markt etabliert werden kann“, kommentiert Reinhard Eisermann, einer der Geschäftsführer von Lobbe. „Gelingt uns das, wäre das die erste Anwendung des Kryoverfahrens in diesem Produktsegment“. Das Kryoverfahren bietet seiner Beschreibung nach den Vorteil, dass Sandwichschichten sauber voneinander getrennt werden können. Das gilt auch für die Trennung von Glas von Folienbestandteilen und der sauberen Aufspaltung von Wafern. Weil das Herunterkühlen energieaufwändig ist, befindet sich Lobbe in den letzten abschließenden Untersuchungen und Tests, deren Ergebnisse entscheiden sollen, ob diese Anlage 2013 am Standort Leipzig errichtet werden soll. „Die Annahmepreise pro Solarmodul liegen aktuell bei 70 bis 80 Euro“, kommentiert Eisermann. „Wir müssten es schaffen, die Module in diesem Preisrahmen wirtschaftlich zu verarbeiten“. Deshalb ist es sinnvoll mit der Produktkategorie Solarmodule zu starten und zu lernen, wie das wirtschaftlich geht. Die Silberrückgewinnung ist das Hauptinteresse von Lobbe, aber auch Tellur und Indium sollen mit diesem Verfahren gewonnen werden. Aufgrund des Energieaufwands ist die Energieversorgung einer solchen Anlage mit regenerativer



Bild 5: Metallrezyclat

Copyright Accurec GmbH 2013

Energie momentan noch nicht vorgesehen. Aktuell müssen, so Eisermann, noch viele Solarmodule deponiert werden. „Wir sehen, dass sich der Solarmodulmarkt aktuell in einer Umbruchphase befindet und erwarten, dass eine Nachfrage für hochwertiges Solarmodulrecycling und stabile Preise für Silber, Indium und Tellur den wirtschaftlichen Betrieb einer solchen Anlage möglich machen.“ Eine fundierte Lobbe-Kalkulation wird sich darauf stützen müssen, welche Tonnagen am Markt für den Wettbewerb frei verfügbar sind. Darüber hinaus zeigt das Interesse des Fraunhofer Institutes an einer Lobbe-Kooperation, welche wissenschaftliche Bedeutung dem Thema beigegeben wird.

### Accurec GmbH

Das IME/RWTH Aachen und die 1995 gegründete Firma Accurec Recycling GmbH erhielten im November 2012 den Deutschen Rohstoffeffizienzpreis des Bundeswirtschaftsministeriums, in Anerkennung der herausragenden innovativen Leistungen zur effizienten Nutzung von Rohstoffen, „Sondermetalle“. Accurec will mit einer in Deutschland betriebenen Anlage in der Lage sein, sämtliche in Solarmodulen und auch anderen Elektronikgeräten enthaltenen Sondermetalle rückgewinnen zu können. „Accurec GmbH ist ein unabhängiges Recyclingunternehmen auf dem freien Markt, das sich neben seinem Kerngeschäft – dem Recycling von Batterien – nun auch auf die Wiederverwertung von zunächst kristallinen Silizium-Solarmodulen konzentriert. Man rechnet mit einer langsamen Anlaufkurve und geht zunächst davon aus, dass die Anlage, die noch Ende 2013 in Betrieb genommen wird zunächst eine jährliche Kapazität für 4.000 Tonnen PV-Module erreicht. Konkrete Prognosen, wann wie viele Module rücklaufen werden, gibt es aktuell nicht. Man rechnet damit, dass es Ausschreibungen und VergabeprozEDUREN geben wird, die die Modulzuführung zu Verarbeitungsanlagen regeln werden.“

Accurec hält diesen Wirtschaftszweig für einen zukünftig wachsenden Markt. Letztendlich muss man mit Deponiekosten konkurrieren müssen. Wieviel preiswerter man sein wird sollte nach einem halben Jahr Probetrieb und den entsprechenden Optimierungen deutlich werden. Die Kosten für das Solarmodulrecycling sind auch deshalb am Markt interessant, weil die Hersteller aufgefordert sind, einen konkreten Betrag pro Modul zu hinterlegen. Aktuell ist dieser Betrag noch nicht eindeutig geregelt. Die Anlage von Accurec, der Standort entscheidet sich in diesen Tagen, wird alle in Modulen

enthaltenen Rohstoffe wiedergewinnen, also über das Glas und die Metallrahmen hinaus auch das Silizium. Zunächst möchte man sich auf das wirtschaftliche Recycling von Silizium-Modulen konzentrieren. Langfristig, darunter sind ca. drei Jahre zu verstehen, sollen auch Dünnschichtmodule und Verbundmaterialien dazukommen. Auf der jährlichen Solarmodulrecycling Konferenz in Rom, veranstaltet von PV Cycle und EPIA im Januar 2013 stellte Accurec das Anlagenkonzept vor. „Vor einem Jahr waren auf dieser Konferenz noch rund 200 Teilnehmer. 2013 waren es lediglich noch rund 100 Teilnehmer. Auch das ist ein Zeichen dafür, dass es interessant werden wird, wie die Vergabemodi aussehen werden und welche Rolle PV Cycle dabei übernehmen wird“ kommentiert der Accurec Mitinhaber.

### Fußnoten

- 1) 2012 novellierte Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (engl.: Waste Electrical and electronic Equipment Directive)

### ZUR AUTORIN:

► Elke Kuehnle

Journalistin, Umwelt-, Organisationspsychologin M.A., München

elke.kuehnle@gmail.com

### weitere Informationen

- Projekt Essenz r<sup>3</sup> TU Berlin Institut für Technischen Umweltschutz Fakultät III Prozesswissenschaften (033R094): [www.r3-innovation.de/de/15427](http://www.r3-innovation.de/de/15427)
- CERES: [www.ceres-recycle.org](http://www.ceres-recycle.org)
- IME Metallurgische Prozesstechnik u. Metallrecycling der RWTH Aachen: [www.metallurgie.rwth-aachen.de](http://www.metallurgie.rwth-aachen.de) E-Mail: [bfriedrich@ime-aachen.de](mailto:bfriedrich@ime-aachen.de)
- Dr. Karsten Wambach-Consulting: [wambach@wambach-consulting.com](mailto:wambach@wambach-consulting.com)
- Pv recycling: [www.pvcycle.org/de](http://www.pvcycle.org/de)
- PV Cycle: [www.pvcycle.org/de](http://www.pvcycle.org/de)