

**Ansprechpartner:**

Franz-Georg Elpers  
-Pressesprecher-

Kerstin Heemann  
Jessica Bode

**Kontakt DBU:**

An der Bornau 2  
49090 Osnabrück  
0541|9633-521  
[presse@dbu.de](mailto:presse@dbu.de)  
[www.dbu.de](http://www.dbu.de)

**Hintergrund: Gemeinsame Aufbereitung verschiedenartiger Photovoltaikmodule zur Wertstoffrückgewinnung (abgeschlossen)**

10.2.2020

Mit der schnellen Ausweitung der Photovoltaik (PV) in den letzten Jahren steigt auch das zukünftige Abfallaufkommen von ausgedienten PV-Modulen, und es wird unerlässlich, dafür eine Kreislaufwirtschaft zu schaffen. Derzeit sind in Europa etwa 8,1 Mio. t PV-Module installiert (Quelle: PV-Cycle). Für einzelne PV-Modultypen wurden in der Vergangenheit bereits Recyclingverfahren untersucht, wobei jedoch größtenteils keine kommerzielle Umsetzung erfolgte. Bislang war kein Aufbereitungsverfahren verfügbar, mit dem kristalline Siliziummodule und Dünnschichtmodule gleichzeitig in einer Linie verwertet werden können. Der Anteil von Dünnschichtmodulen liegt derzeit bei ca. 10 % mit steigender Tendenz. Eine Rückgewinnung von zum Beispiel Silber und Kupfer entlastet die Umwelt insbesondere deswegen, weil dadurch energieaufwändige Gewinnungsprozesse aus den Erzen in besonderem Maße vermieden werden können.

**Ziel:**

Gegenstand des Projektes war die Entwicklung eines industrietauglichen Verfahrens für die gemeinsame Aufarbeitung von gemischt anfallenden Photovoltaikmodulen. Neben der Auftrennung des Stoffstroms in die Hauptbestandteile Aluminium, Glas, Kunststoff, Nichteisenmetalle und Silizium wurde von der Enviprotect GmbH (Emsdetten) und dem Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. (Duisburg) ein Verfahren für eine Aufbereitungsanlage konzipiert. Erarbeitet wurde ein chemisches Recyclingkonzept, um auch Metalle wie Silber und Kupfer sowie die aus den Dünnschichtmodulen stammende Halbleiterfraktion (Gallium, Indium) als Konzentrate wieder in den Wirtschaftskreislauf zurückzubringen und Schadstoffe (Cadmium, Tellur) abzutrennen.

**Durchführung:**

Die Projektarbeiten wurden schwerpunktmäßig in drei Phasen durchgeführt. In einem ersten Schritt wurde das zu erwartende Entsorgungsaufkommen von verschiedenartigen Photovoltaikmodulen identifiziert. Daraufhin wurden verschiedene Zerkleinerungsverfahren im Labor- und anschließend im Technikumsmaßstab erprobt. Dabei hat sich das auf verschiedenen mechanischen Verfahren basierende Konzept als technisch und wirtschaftlich machbar erwiesen. Entscheidend ist eine Konzentration der Schadstoffe in zwei volumenreduzierte Fraktionen. Die Schadstoffe der Halbleiterschichten, wie Cadmium, Tellur und Selen, werden in der Feinkornfraktion angereichert, während Blei in der Feinkorn- und der Leiterbahnen-Fraktion angesammelt wird. Die anderen Ausgangsfraktionen liegen somit schadstofffrei vor und können stofflich verwertet werden. Für die Ausgangsfraktionen Aluminium, Kunststoffe und die Kabel sind gängige Verwertungsverfahren etabliert, und sie können an Recyclingunternehmen weitergegeben werden. Für die Feinkorn-, Leiterbahnen- und Nichtleiter-Fraktion wurden Verwertungsmöglichkeiten untersucht. Dazu wurden die Massenanteile der Fraktionen aus Einzelversuchen über Röntgenfluoreszenzanalysen bestimmt.

Der Fokus lag auf dem Glas- und Siliziumgehalt, den Wertstoffen Silber, Kupfer und Aluminium sowie den Schadstoffen Blei, Cadmium, Tellur und Selen. Die Feinkornfraktion besteht zum Großteil aus Glas und Silizium, das stofflich verwertet werden kann. Durch die Abrasion der Halbleiterschichten sind weiterhin die Schadstoffe Cadmium, Tellur und Selen in der Fraktion vorhanden. Eine chemische Trennung durch Herauslösen dieser Stoffe kann mit verdünnter Salpetersäure erfolgen. Die Leiterbahnen-Fraktion beinhaltet große Mengen an Silizium mit Verunreinigungen in Form von Glaspartikeln. Eine vollständige Separation der beiden Komponenten konnte nicht erreicht werden. Durch die elektrostatische Separation wurden die Wertstoffe Silber, Kupfer und Aluminium stark angereichert, ebenso wie der Schadstoff Blei. Zur Rückgewinnung der Wertstoffe und Abscheidung des Schadstoffes Blei kann verdünnte Salpetersäure eingesetzt werden. Die Nichtleiter-Fraktion mit einem Gesamtmassenanteil von beinahe 50 % besteht im Wesentlichen aus Glas und Silizium. Der Massenanteil von Störstoffen liegt nur bei etwa 0,5 %. Dennoch ist der Einsatz dieser Fraktion als Behälterglas aktuell nicht akzeptiert. Alternative Anwendungsfelder wären die Verwertungen als Glaswolle, Schaumglas, Zuschlagmaterial für Beton oder den Straßenbau und der Einsatz in der Keramikindustrie. Mit dem entwickelten Verfahren können Wertstoffe zurückgewonnen und Schadstoffe in volumenreduzierter Form abgeschieden werden, ohne dass eine diffuse Schadstoffverschleppung auftritt.

### Ergebnis:

Die gemeinsame Behandlung wirkt sich sowohl in ökonomischer als auch in ökologischer Sicht positiv aus. Mit chemischen Analysen der erzeugten Ausgangsfraktionen, aktuellen Marktwerten, den Leistungsdaten der Anlagenaggregate und den zu erwartenden Betriebs- und Entsorgungskosten wurde eine umfängliche wirtschaftliche Beurteilung des Verfahrenskonzeptes herausgearbeitet. Dabei zeigten sich Szenarien für eine wirtschaftliche Rentabilität. Grund dafür waren die hohen erzielbaren Marktpreise für Aluminium und Silber und die geringen Entsorgungskosten der selektiv abgeschiedenen Schadstoffe. Der Massenanteil an Indium und Gallium war nach den durchgeführten chemischen Analysen zu niedrig, um aktuell eine wirtschaftliche und ökologische Rückgewinnung rentabel zu machen. Mit ansteigendem Anteil an Dünnschichtmodulen sollte eine Rückgewinnung der seltenen Elemente Indium und Gallium weiterhin im Fokus stehen. Darüber hinaus bietet sich ein weiterer Untersuchungsbedarf für eine Wiederverwendung des anfallenden Halbleitersiliziums zur Produktion von neuen Photovoltaikmodulen an.

| <b>Ansprechpartner zum Projekt</b> |  |
|------------------------------------|--|
| Projektpartner:                    | Enviprotect Kühl- und Elektrogeräte-Recycling GmbH, Emsdetten, Nordrhein-Westfalen   |
| Name:                              | Iris Ann Lohmann   |
| Adresse:                           | Gutenbergstraße 9, 48282 Emsdetten   |
| Tel.:                              | (02572) 93 05 609  |
| E-Mail:                            | <a href="mailto:i.lohmann@lohmann-entsorgung.de">i.lohmann@lohmann-entsorgung.de</a> |
| Internetadresse:                   | <a href="http://www.enviprotect.de">www.enviprotect.de</a>                           |
| AZ:                                | 33913  |
| Fördersumme DBU:                   | 249.880  |
| Kooperationspartner:               | Institut für Energie- und Umwelttechnik (IUTA) e. V., Duisburg, Nordrhein-Westfalen  |