

Wieso Abfall?

Entsorgung von Photovoltaik-Anlagen

Jürgen Beckmann, Bayerisches Landesamt für Umwelt

Die Entsorgung von ausgedienten Photovoltaik-Anlagen steht noch am Anfang. Doch es gibt vielversprechende Aktivitäten für den Aufbau von Sammelsystemen und die Errichtung von spezialisierten Behandlungsanlagen. Der folgende Beitrag gibt einen Überblick zum derzeitigen Stand bei der Entsorgung von PV-Altanlagen.



Zukünftige Abfallmengen

Die ersten PV-Anlagen wurden Anfang der Neunziger Jahren installiert. Einen ersten Boom gab es in Deutschland ab 1999 mit dem 100.000 Dächer-Solarstrom-Programm der Bundesregierung, mit dem ca. 300 MWp installiert wurden. Seit 2004 führt das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) zu dem bekannten starken Zubau an PV-Anlagen. So wurden allein 2011 ca. 240.000 neue PV-Anlagen mit ca. 7.500 MWp installiert. Insgesamt gibt es damit bundesweit ca. 1 Mio. PV-Anlagen mit knapp 25.000 MWp Leistung[1]. Zwischen 2002 und 2009 betrug der bayerische Anteil an der in Deutschland installierten PV-Leistung (kumulativ) ca. 40%. Daher werden zukünftig auch dort die ersten größeren Abfallmengen anfallen.

Photovoltaik-Anlagen sind dazu konzipiert, über viele Jahre hinweg und unter stark schwankenden Umweltbedingungen, Sonnenlicht in Strom umzuwandeln.

Abbildung 1 zeigt die typische Zusammensetzung von PV-Modulen (kristallin und Dünnschicht). Aufgrund ihrer langen Lebensdauer fallen die meisten PV-Anlagen erst mit erheblicher Zeitverzögerung nach ihrer Inbetriebnahme als Abfall an. Man geht allgemein von einer „technischen Lebensdauer“ der Module von 25 bis über 30 Jahre aus, Tendenz steigend. Relevante Abfallmengen fallen somit voraussichtlich ab 2020-2025 an.

Je nach Studie [2, 3, 4, 5] existieren unterschiedliche Angaben für die langfristig zu erwartenden Abfallmengen. Es bestehen erhebliche Unsicherheitsfaktoren, z. B. hinsichtlich Produktionsmenge, tatsächlicher Nutzungsdauer, Export, Umrechnung nach technologieartspezifischem Gewicht. Tabelle 1 zeigt beispielhafte Abschätzungen für zukünftige Abfallmengen [5].

Derzeit bestimmen insbesondere Produktionsausschuss, Transport- und Installationsschäden sowie Garantiefälle die Abfallmengen. Dazu kommen vereinzelt Schneelast-, Hagel- oder Marderschäden. Noch sind die Abfallmengen sehr gering. Im 1. Quartal 2012 hat das freiwillige Rücknahmesystem „PV Cycle“ (s.u.) europaweit ca. 1.500 t Altmodule zurück genommen, nach ca. 1.300 t im gesamten Jahr 2011 [3]. Es ist allerdings davon auszugehen, dass insgesamt deutlich höhere Mengen (vor allem an Produktionsausschuss) anfallen. Hier dürften die Mengen in den 5-stelligen Bereich kommen.

Derzeit fallen überwiegend siliziumbasierte Module an. Siliziumfreie Dünnschichtmodule (z.B. Cl(G)S, CdTe) sind als Module der „2. Generation“ noch nicht so lange auf dem Markt und haben noch einen geringen Marktanteil. Zukünftig wird sich ihr Anteil allerdings weiter erhöhen. Langfristig werden auch Abfälle aus heute

neuen Technologien, der „3. Generation“ (z. B. organische Solarzellen) relevant.

Wechselrichtern wird generell eine kürzere Lebensdauer als den Modulen zugesprochen. Während die spätere Entsorgung von Wechselrichtern, Stromzählern und Kabeln über die für Elektro- und Elektronik-Altgeräte bestehenden Entsorgungswege bereits heute problemlos erfolgen kann, müssen diese Voraussetzungen für die Entsorgung von PV-Altmodulen erst noch geschaffen werden.

Rechtliche Aspekte

Bislang gibt es aus Sicht der Abfallwirtschaft keine produktspezifischen Rechtsvorschriften zur Sammlung oder Entsorgung von PV-Altanlagen. Das wird sich demnächst EU-weit ändern. Das Europäische Parlament hat beschlossen, dass zukünftig auch Photovoltaik-Anlagen in den Anwendungsbereich der Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE) [6] fallen. In Deutschland wird dies durch die Änderung des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes (ElektroG) [7] erfolgen. Damit sind gravierende Veränderungen für die Hersteller von PV-Anlagen verbunden. In bestimmten Fällen zählen auch Händler/Vertreiber als Hersteller, z. B. wenn sie PV-Module importieren und hier erstmals in Verkehr bringen.

Kernpunkte der Regelung sind:

- | Registrierungspflicht für Hersteller vor dem erstmaligen in Verkehr bringen.
- | Nachweis einer insolvenzsicheren Garantie im Registrierungsverfahren, damit im Konkursfall eine für die Allgemeinheit kostenlose Entsorgung der PV-Altanlagen sichergestellt ist.
- | Herstellerpflicht zur Rücknahme, Verwertung, Einhaltung von Verwertungsquoten und Kostenübernahme.
- | Nachweis von Mindestsammelmengen bzw. Sammelquoten.

| Umfangreiche Melde- und Berichtspflichten. Für die genauere Ausgestaltung ist allerdings das Verfahren über die Änderung des ElektroG bis ca. Ende 2013 abzuwarten. Ziel muss dabei sein, die relativ engen EU-Vorgaben in Deutschland praktikabel umzusetzen.

Sammelsysteme

Grundvoraussetzung für eine ordnungsgemäße Verwertung sind funktionierende Sammelsysteme zur Erfassung und Rücknahme der PV-Altanlagen. Man kann grundsätzlich zwischen kollektiven und individuellen Sammelsystemen unterscheiden.

2007 hat die Solarbranche das freiwillige europäische Rücknahme- und Recyclingprogramm für PV-Altmodule „PV Cycle“ gegründet. Nach eigenen Angaben repräsentiert PV Cycle ca. 90% des europäischen Solarmarkts. Das kollektive Sammelsystem betreibt derzeit in Europa ca. 220 Sammelstellen. Dort können PV Cycle-Mitglieder ihre Altmodule kostenlos abgeben. Derzeit gibt es 73 Sammelstellen in Deutschland, 27 davon in Bayern. Unter www.pvcycle.de kann die nächst gelegene PV Cycle-Sammelstelle ermittelt werden. Kleinmengen (< 30-40 Module) müssen selber zur Sammelstelle transportiert werden. Größere Mengen werden direkt vor Ort abgeholt. PV Cycle stellt getrennte Sammelbehälter für kristalline bzw. Dünnschicht-Module bereit. Obwohl PV Cycle die angestrebte Anerkennung als herstellereigenes Sammelsystem durch die EU versagt wurde, wird dieses Branchensystem voraussichtlich eine tragende Rolle bei der zukünftigen Entsorgung von PV-Altanlagen einnehmen.

Das im Juli 2011 gegründete französische Sammelsystem „Centre européen pour le recyclage de l' énergie solaire“ (CERES) [8] spielt derzeit in Deutschland noch keine Rolle.

Es gibt auch Hersteller, die im Rahmen einer individuellen Produktverantwortung ihre eigenen Altmodule freiwillig zurücknehmen. Deren Anzahl

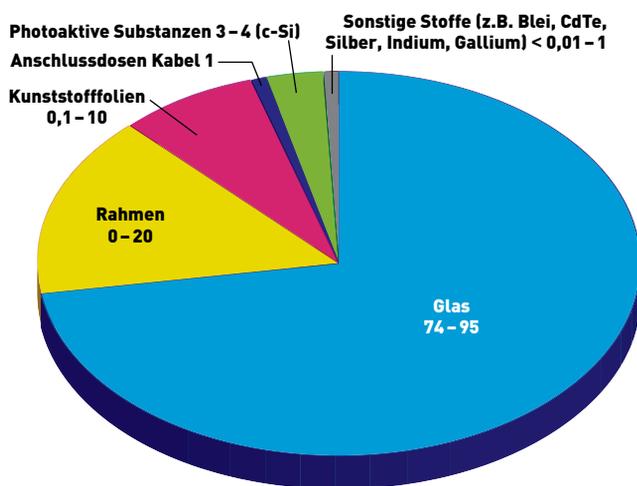


Abb. 1 Typische Zusammensetzung von PV-Modulen (kristallin und Dünnschicht) in Gew.%

Jahr	Abfallmengen in 1.000 t (Prognose)
2025	14 - 22
2030	152 - 223
2035	1.800 - 2.900
2040	2.200 - 3.900
2045	2.300 - 4.200
2050	4.900 - 9.600

Tab. 1 PV-Abfallprognosen, gerundet [5]



Jürgen Beckmann ist staatlich geprüfter Umweltschutzingenieur am Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU). Er berät Kommunen, Gewerbebetriebe und Haushalte bei der Entsorgung von Elektroaltgeräten sowie zur Umsetzung des Elektrogerätegesetzes. Seit 2005 beschäftigt er sich mit der Entsorgung von PV-Anlagen.



End of Life von PV-Modulen, PV Cycle, Quelle: Altmodule © PV Cycle

ist bislang aber begrenzt. Die Fa. First Solar hat als weltweit erstes Unternehmen der Solarbranche ein vorfinanziertes Rücknahme- und Recyclingprogramm für eigene CdTe-Module aufgebaut [9]. Seit Jahren nimmt auch die SolarWorld AG ihre Herstellerverantwortung zur Rücknahme von PV-Altanlagen und des werterhaltenden Recyclings von Solarmodulen und Silizium wahr [10]. Nach eigenen Angaben bietet auch Abound Solar ein Rücknahmesystem für die eigenen Module an [11].

Zunehmend treten Anbieter aus dem Bereich der Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten (EAG) auf und bieten Ihre Dienste und Erfahrungen auch für die Entsorgung von PV-Altanlagen an.

Aus abfallwirtschaftlicher Sicht sollten PV-Altanlagen in speziell dafür vorgesehene Sammel-

strukturen und anschließend in spezialisierte Recyclinganlagen verbracht werden. Dadurch sind einerseits eine bestmögliche Rohstoffnutzung und Ressourcenschonung erreichbar, andererseits sind die Behandlungsanlagen zur Auslegung und Kapazitätsauslastung auf zuverlässige Mengen aus geordneten Sammelsystemen angewiesen.

Über 85% der 2011 in Deutschland installierten PV-Anlagen sind der Leistungsklasse bis 30 kWp zuzuordnen [12]. Damit ist die Mehrzahl der Anlagen auf viele zukünftige Abfallbesitzer insbesondere im ländlichen und kleinstädtischen Bereich verteilt. Dies wird sich auch auf die zukünftige Gestaltung der Sammel- und Rücknahmesysteme auswirken müssen.

Für die Sammlung von PV-Altmodulen aus privaten Haushalten bedeuten die Vorgaben des

ElektroG, dass zukünftig jeder öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger (Landkreis, kreisfreie Stadt) in seinem Entsorgungsgebiet (mindestens) eine Sammelstelle für die kostenlose Annahme vorhalten muss. Für kleine PV-Mengen aus privaten Haushalten erscheint das sinnvoll. Für den Rückbau großer PV-Anlagen sollten andere Lösungen gefunden werden.

Zunehmend interessant wird der Zweitmarkt für gebrauchte PV-Module [13]. Da kaum ein Hersteller/Händler ausreichend Lagermengen älterer Module vorrätig hat, wird die Nachfrage nach gebrauchten Austauschmodulen bei Herstellern, Versicherungen und Kleinanlagenbetreibern zunehmen.

Für Installateure könnte es durchaus lukrativ sein, Altmodule zunächst im wachsenden Zweitmarkt (z.B. www.secondsol.de) anzubieten, an-

Tab. 2 Übersicht Behandlungsanlagen für PV-Module (Stand 4/2012)

Firma	Sunicon	Solarcycle	First Solar	Loser Chemie	Saperatec	Lobbe	Reiling
Standort(e)	Freiberg/Sachsen	Bitterfeld/Wolfen	Frankfurt (Oder)	Langenweißbach	Bielefeld	Espenhain	Torgau, Marienfeld
Modultyp für Recycling (ggf. geplant)	Kristalline Module	Silizium-Module Dünnschicht-Modul (CIS, CIGS)	CdTe-Module	Waferbruch Dünnschicht-Module (CIS, CIGS, CdTe)	Dünnschicht-Module (CIS, CIGS, CdTe)	Silizium-Module Dünnschicht-Module (CIS, CIGS, CdTe)	Silizium-Module
	Ausschuss Gebraucht	Ausschuss Gebraucht, Defekt	Ausschuss Gebraucht, defekt	Ausschuss Gebraucht, defekt	Ausschuss Gebraucht, defekt	Ausschuss Gebraucht, defekt	Ausschuss Gebraucht, Defekt
Anmerkungen	Pionier (2003) bei Recyclinganlagen	Recyclinganlage der 2. Generation mit vollautomatisierter Anlagentechnik in Planung	Recyclinganlage für CdTe-Module (weltweit) an jedem Produktionsstandort in Betrieb	Pilotanlage in Betrieb Erweiterung geplant	Pilotanlage in Betrieb Ausbau Produktionskapazität geplant Genehmigter Entsorgungsbetrieb Demontageservice/Containergestellung	Versuche in Labor und Technikum, Anlagenbetrieb für 2013 geplant Gemeinsame Behandlung mit LCD-Panelen	Flachgasaufbereitung im Industriemaßstab in Betrieb Recyclinganlage der 2. Generation in Planung
	Pilot-Anlage wurde 2011 demontiert						
Verfahrenstechnik	Kombination thermischer, physikalischer, chemischer Verfahrensschritte	Kombination thermischer, physikalischer, chemischer Verfahrensschritte	Zerkleinerung, Kombination Trocken- und Nassprozesse	Verbundöffnung, Chemische Behandlung der Halbleiterschichten	Trennung von Verklebungen und Beschichtungen mit Hilfe von Tensiden	Kombination aus Kälteschock-versprödung und chem.-physikalischer Behandlung	Rein mechanisch-physikalische Aufbereitungs- und Sortiertechnik
Internet	www.solarworld.de	---	www.first-solar.de	www.loserchemie.de	www.saperatec.de	www.lobbe.de	www.reiling.eu



PV Cycle Container, Quelle: Kontainer © PV Cycle



Angelieferte Altmodule, Rahmenabtrennung
Quelle: Reiling Glas Recycling GmbH & Co. KG

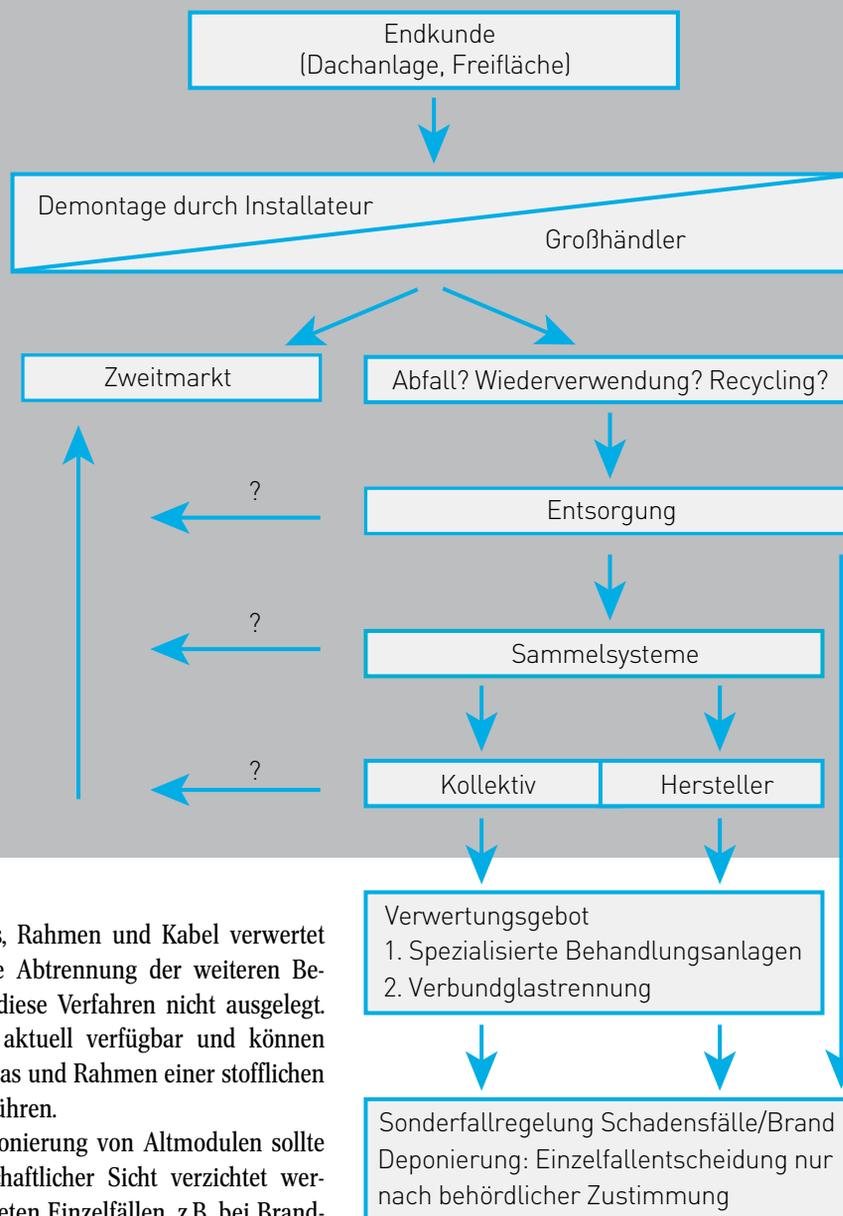


Abb. 2 Erfassungswege für PV-Altanlagen

statt sie ins Abfallregime abzugeben. Der Vorbereitung zur Wiederverwendung von Abfällen kommt auch in der neuen 5-stufigen Abfallhierarchie des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) [14] eine besondere Bedeutung zu. Hier besteht Potenzial, die zukünftigen Abfallberge etwas zu verringern. Abbildung 2 zeigt Erfassungswege für PV-Altanlagen.

Behandlungsanlagen

Aus abfallwirtschaftlicher Sicht sollten die gesammelten Altmodule in geeigneten, am besten in dafür spezialisierten Behandlungsanlagen verwertet werden. Damit könnten nahezu sämtliche Bestandteile, auch die nur in sehr geringen Mengen enthaltenen Materialien (z.B. Silber, Indium, Germanium, Gallium, Cadmiumtellurid, Blei) zurück gewonnen werden. Voraussetzungen dafür sind aber Planungssicherheit sowie eine hohe und garantierte Anlagenauslastung. Bisher gibt es nur wenige Behandlungsanlagen, die sich zumeist noch im Pilot- und/oder Planungsstadium zur industriellen Umsetzung befinden. Die Wirtschaftlichkeit ist bisher nicht gegeben.

Die Tabelle 2 zeigt eine Übersicht über die derzeitigen Behandlungsanlagen (Stand 4/2012).

Insgesamt steht der gesamte PV- Entsorgungszweig noch am Anfang und kann bisher auch nur geringe PV-Mengen (häufig Produktionsausschuss) behandeln. Größere Kapazitäten bestehen dagegen bei anderen Verfahren wie z. B. beim Verbundglasrecycling. Hier können allerdings bisher „nur“ die Hauptkomponenten der

PV-Module Glas, Rahmen und Kabel verwertet werden. Für die Abtrennung der weiteren Bestandteile sind diese Verfahren nicht ausgelegt. Dafür sind sie aktuell verfügbar und können insbesondere Glas und Rahmen einer stofflichen Verwertung zuführen.

Auf eine Deponierung von Altmodulen sollte aus abfallwirtschaftlicher Sicht verzichtet werden. In begründeten Einzelfällen, z.B. bei Brand Schäden, ist eine Deponierung mit behördlicher Zustimmung dagegen möglich.

Ausblick

Welche der Verfahrenstechnologie(n) sich am Ende durchsetzen werden, bleibt abzuwarten. Der Bedarf an größeren Behandlungskapazitäten inklusive weiterer Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten ist vorhanden. Mit zunehmender Recyclingtiefe steigt auch die Wertschöpfung durch die Erlöse der zurück gewonnenen wertvollen Bestandteile. Größere bereits durchgeführte Rückbaumaßnahmen zeigen, dass stoffspezifische Recyclingquoten von über 90% erreichbar sind.

Der Entsorgungsbereich für PV-Anlagen ist derzeit erheblich in Bewegung. Während kleinere Start-Up-Unternehmen mit innovativen Technologien versuchen, auf dem Markt Fuß zu fassen, ist derzeit noch nicht entschieden, wie sich z. B. die für Herbst 2012 angekündigte Schließung der First Solar-Werke in Frankfurt (Oder) auf den Weiterbetrieb der dort betriebenen Recyclinganlage auswirken wird. Auch die Zukunft des Joint

Ventures „Solarcycle GmbH“ mit der in Bitterfeld geplanten großen Recyclinganlage ist ungewiss.

Es besteht die Hoffnung, dass mit den Regelungen des neuen Elektrogerätegesetzes, z. B. zur verpflichtenden Einhaltung von Sammel- und Verwertungsquoten verstärkt hochwertige Entsorgungsstrukturen für PV-Altanlagen aufgebaut werden.

juergen.beckmann@lfu.bayern.de

Literatur beim Autor

Fazit Die zu entsorgende Abfallmenge an PV-Modulen ist derzeit zwar noch gering, sie wird aber in Zukunft rasant ansteigen. Neue gesetzliche Regelungen bringen erhebliche Veränderungen für die Solarbranche. Der Solarinstallateur sollte Altmodule nach einer Prüfung auf Wiederverwendung geordneten Sammelsystemen zuführen. Dadurch können die Abfälle in geeigneten Recyclinganlagen verwertet, enthaltene Rohstoffe genutzt sowie Ressourcen geschont werden.