



Entsorgung von Photovoltaik-Anlagen



Inhalt

1. PV-Module – Allgemein
2. Gesetzliche Grundlagen
3. ElektroG
4. Mengenszenarien
5. Sammlung – Behältnisse
6. Wiederverwendung - Vorbereitung zur Wiederverwendung
7. Behandlung – Behandlungsverordnung
8. LfU-Veröffentlichungen, Quellen





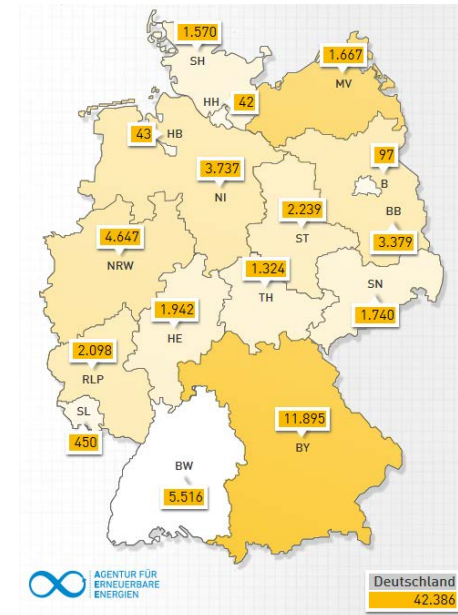
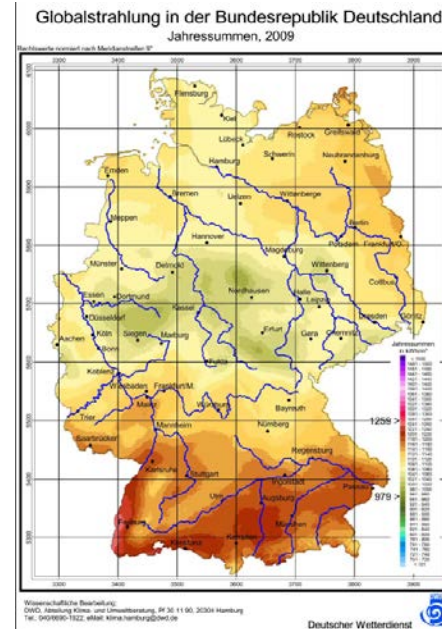
- Erste PV-Installationen: ~ 1990

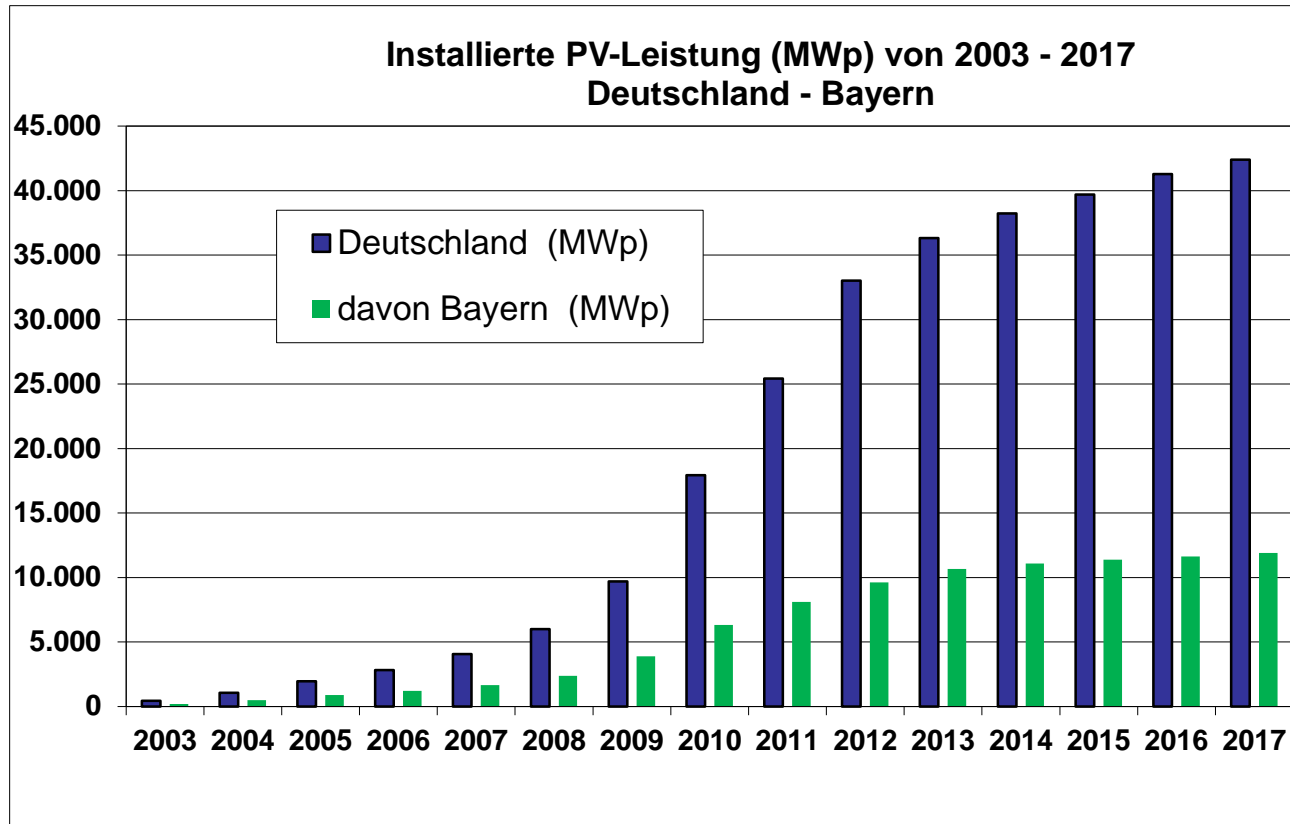
- Installierte Leistungen (2017):

- Welt: 386 GWp
- Europa: 110 GWp
- Deutschland: 42,4 GWp
1,64 Mio. Anlagen
- Bayern: 11,9 GWp

1. Bundesland mit Ø je 1 Modul/Einwohner

- PV-Beschäftigte: ca. 36.000 (2016)
- Solarstromspeicher: ca. 85.000 (2017)



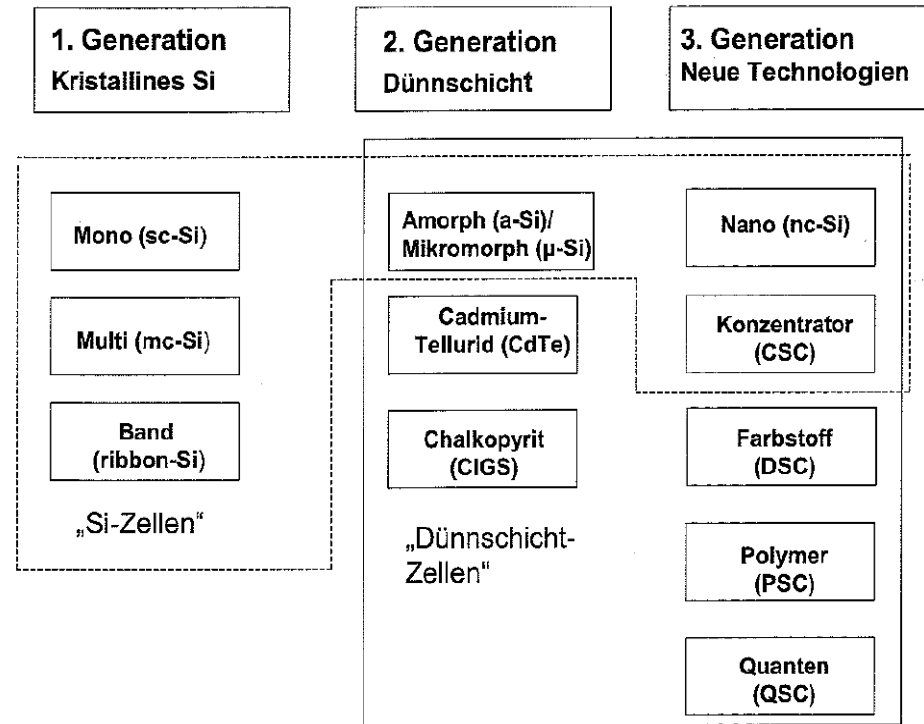


Anteil Bayern an installierter PV-Leistung:

in der **BRD**: 2005: **45 %** 2013: **30 %** 2017: **28 %**

in der **Welt**: 2005: **18 %** 2011: **12 %** 2017: **3 %**

- Verschiedene Technologien
- Gewicht: ca. 10 – 25 kg/Modul außer Solarfolien (BIOPV)
Building Integrated Organic Photovoltaic
- Faustformel:
1 MW = 100 t, 1 t = 10 kW
- "Normale" Lebensdauer > 25 a



Quelle: * Roadmap Ressourceneffiziente Photovoltaik 2020

- Zusammensetzung (Gew.-%)

Glas	Rahmen (Alu)	Kunststoffe Rückseite	Anschluss- dosen, Kabel	Photoaktive Substanzen	Schad-, Wertstoffe (Pb, CdTe, CdS, Ag, In, Ga)
65 - 95 %	10 – 12 %	0,1 -10 %	1 %	3 - 4% c-Si	< 0,01 - 1 %

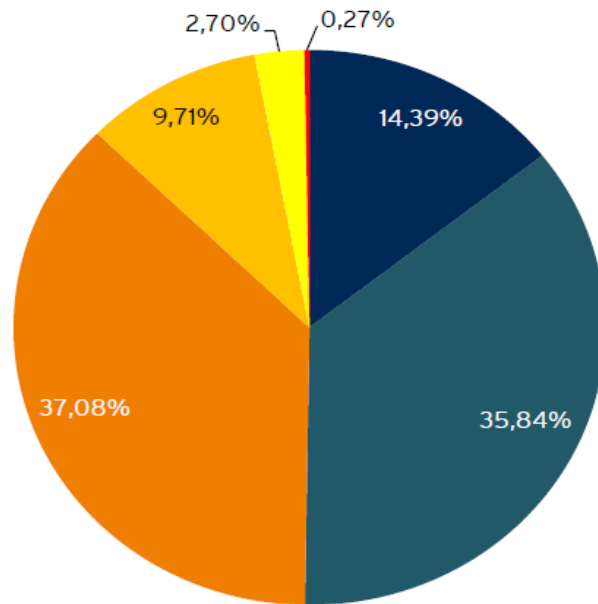


Anteile der neu installierten Leistung nach Anlagenklassen Januar - Dezember 2011

9



Neu installierte Anzahl



■ Anlagenklasse ≤ 5 kWp

■ Anlagenklasse > 5 bis 10 kWp

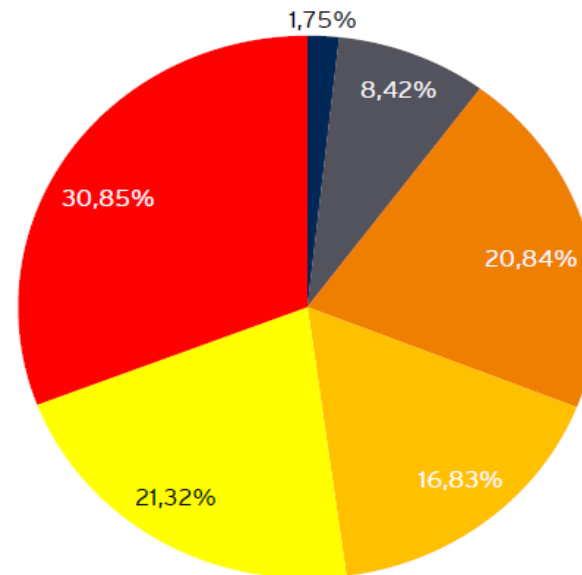
■ Anlagenklasse > 10 bis 30 kWp

■ Anlagenklasse > 30 bis 100 kWp

■ Anlagenklasse > 100 bis 1000 kWp

■ Anlagenklasse > 1000 kWp

Neu installierten Anlagenleistung



Quelle: Bundesnetzagentur, BSW-Solar 03/2012

Quelle: http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/bnetza_2011_konsolidiert.pdf

1. Photovoltaik - Allgemein



End of Life PV modules, PV Cycle



20 - 30 Jahre



Abfall





- EU-Recht
 - Abfallrahmenrichtlinie (AbfRRL 2008/98/EG)
 - **RoHS: Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment** (RL 2002/96/EG bzw. 2011/65/EU)
 - **WEEE: Waste Electrical and Electronic Equipment** (RL 2012/19/EU)
 - Abfallverbringungsverordnung (1013/2006/EG)
 - Europäischer Abfallartenkatalog
 - ...
- Umsetzung in nationales Recht durch
 - Kreislaufwirtschaftsgesetz (**KrWG**) mit Verordnungen, z.B. NachwV
 - **ElektroStoffV**
 - **Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG)**
 - Abfallverbringungs-gesetz (AbfVerbG)
 - Abfallverzeichnisverordnung (AVV)
 - ...
- Normen, z. B. DIN EN, RAL GZ, DIBt (Bauaufsichtliche Zulassung) ...



- **EU-Richtlinie 2011/65/EG vom 08.06.2011 (RoHS)**

Restriction of the Use of Certain **Hazardous Substances** in Electrical and Electronic Equipment (Stoffverbote, z.B. > 0,1 % Blei, > 0,01 % Cadmium, ...)

- über **ElektroStoffV** in nationales Recht umgesetzt
- Photovoltaik-Anlagen **nicht** im Anwendungsbereich

- **EU-Richtlinie 2012/19/EG vom 04.07.2012 (WEEE)**

Waste Electrical and Electronic Equipment

- über **neues ElektroG** vom 20.05.2015 in nationales Recht umgesetzt
- Photovoltaik-Anlagen **im** Anwendungsbereich

- Gesetz zur Neuordnung des Rechts über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten vom 20.10.2015 ([BGBl. Teil I Nr. 40 vom 23.10.2015](#)), zuletzt geändert, 3.7.17, BGBl. 2017, Teil I, Nr. 42, S. 1966

- **Ziele ElektroG**
 - Vermeidung von Abfällen
 - Vorbereitung zur Wiederverwendung stärken
 - Sammelmenge erhöhen, weniger Altgeräte im Hausmüll
 - Erhöhung Recyclingquoten
 - Behandlung nach Stand der Technik in zertifizierten Erstbehandlungsanlagen
 - Verringerung illegaler Exporte
 - Effizienz der Ressourcennutzung verbessern
 - Markverhalten der Verpflichteten regeln

- Wer ist betroffen?
 - gesamte PV-Branche in Europa, z. B. Hersteller und deren Bevollmächtigte, Importeure, Vertrieber, Solarteure, Verbände
 - „stiftung elektro-altgeräte register“ (1. Beliehene Behörde; 2. Regelsetzung durch Hersteller)
 - öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger, Vollzugsbehörden
 - Entsorgungsbranche, Systemanbieter
 - Anlagenbetreiber
 - Bürger

Alle Akteure haben bestimmte Pflichten und Rechte!

Solarthermische Module („Sonnenkollektoren“) sind nicht im ElektroG !



- Was bedeutet es, dass Photovoltaik-Anlagen im ElektroG sind?
 - Hersteller und Importeure müssen sich vor dem In-Verkehr-bringen bei der „stiftung elektro-altgeräte register“ www.stiftung-ear.de registrieren lassen
 - PV-Anlagen sind in Deutschland immer als **b2c**-Geräte zu registrieren
 - b2c (business to consumer) = Geräte aus priv. Haushalten (inkl. Kleingewerbe), dafür ist insolvenz sichere Garantie notwendig
 - Aktuell sind 178 PV-Hersteller (b2c) mit 229 Marken registriert, <https://www.stiftung-ear.de/verzeichnisse/>
 - Umsetzung der „geteilten Produktverantwortung“ (Grundprinzip ElektroG)
 - öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger müssen PV-Module aus privaten Haushalten kostenlos annehmen (**Sammlung**)
 - Hersteller müssen gesammelte PV-Module bei öRE abholen, ordnungsgemäß entsorgen und Finanzierung übernehmen (**Entsorgung**)

- Was bedeutet es, dass Photovoltaik-Anlagen im ElektroG sind?

- Bürger können Altmodule (b2c) kostenlos am WSH abgeben, max. 50 Module werden als haushaltsüblich angesehen
- ÖrE müssen eigene Sammelgruppe 6 einrichten
- Getrennte Sammlung Silizium-Modulen und Nicht Silizium-Modulen sinnvoll
- Sammlung und Beförderung sind so durchzuführen, dass die Vorbereitung zur Wiederverwendung, Demontage und das Recycling nicht behindert werden.
- Altmodule müssen dem Entsorgungsregime des ElektroG zugewiesen werden





- Was bedeutet es, dass Photovoltaik-Anlagen im ElektroG sind?
 - Rücknahmepflicht großer Vertreiber (§ 17) für Module **aus priv. Haushalten**
 - Rücknahmepflicht gilt nur für Vertreiber mit > 400 m² Verkaufs(grund)fläche für EAG
 - Am Ort der Übergabe oder in unmittelbarer Nähe
 - Für Internet-Händler (Online-Handel) gilt Lager- und Versandfläche > 400 m²
 - Geeignete Rückgabemöglichkeit in zumutbarer Entfernung zum jeweiligen Endnutzer
 - Mit Neukauf (1:1 Rücknahme):
 - Kostenlose Rücknahme eines Altgeräts der gleichen Geräteart mit i.W. gleichen Funktionen
 - Ohne Neukauf (0:1 Rücknahme):
 - Kostenlose Rücknahme von kleinen EAG (keine äußere Abmessung > 25 cm)
 - in haushaltsüblichen Mengen
 - Im Einzelhandelsgeschäft oder in unmittelbarer Nähe
 - Freiwillige Rücknahme „kleinerer“ Vertreiber ist weiterhin möglich
 - Anzeige- und Mitteilungspflicht bei freiwilliger und verpflichtender Rücknahme



- Was bedeutet es, dass Photovoltaik-Anlagen im ElektroG sind?
 - Hersteller-Rücknahme(pflicht) (§ 19) für PV-Module **aus sonstiger Herkunft** bzw. **haushaltsunübliche Mengen**
 - Hersteller muss Besitzer eine „zumutbare Möglichkeit zur Rückgabe schaffen und die Altgeräte entsorgen“, wenn
 - anderer Nutzer als private Haushalte und
 - PV-Module als Neugeräte nach dem 24.10.2015 in Verkehr gebracht wurden
 - Für historische PV-Module (aus sonstiger Herkunft), die vor dem 24.10.2015 in Verkehr gebracht wurden (sogenannte historische Altgeräte) ist Besitzer verantwortlich.
 - Die Kosten trägt der Entsorgungspflichtige (§ 19 Abs. 2 ElektroG)
 - Hersteller, Erwerber und Besitzer können abweichende Vereinbarungen treffen



- Was bedeutet es, dass Photovoltaik-Anlagen im ElektroG sind?
 - Behandlung nach Stand der Technik (§ 20 Abs. 2 ElektroG)
 - ElektroG enthält keine PV-spezifischen Vorgaben, wie PV-Module behandelt werden müssen (nur allgemeine Vorgaben)
 - Behandlung muss in zertifizierten Erstbehandlungsanlagen stattfinden
 - Keine Beseitigung ohne vorherige Behandlung
 - Keine Deponierung, keine Entsorgung als Bauschutt, keine Entsorgung über Metallhandel etc. !!!
 - Quoten:
 - Verwertung (stofflich und energetisch) 80 % (85 % ab 15.08.2018)
 - Vorbereitung zur Wiederverwendung und Recycling 70 % (80 % ab 15.08.2018)
 - Aufbau hochwertiger Verwertungskapazitäten erforderlich
 - Idealfall: Nicht nur gesetzliche Quoten einhalten (Glas, Rahmen), auch wertvolle (Spuren-)Bestandteile (Ag ...) zurück gewinnen (Ressourcen), aber Wirtschaftlichkeit für deren Rückgewinnung derzeit wohl nicht gegeben
 - Umfangreiche Informations-, Mitteilungs- und Anzeigepflichten für Hersteller, Vertreiber, öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger





- **Sammelziele für alle Altgeräte (nicht nur PV)**
 - Mindestsammelmenge für alle EAG: 4 kg/(Einwohner*Jahr) oder (wenn bereits erreicht) muss der Sammeldurchschnitt der letzten 3 Jahre erreicht werden, derzeit ca. 43 % erreicht
 - ab 2016: **45 %** Mindestsammelquote
 - ab 2019: **65 %** Mindestsammelquote
 - Berechnung:
$$\frac{\text{Gesamtgewicht EAG-Sammelmenge/Jahr}}{\text{Ø-Gewicht „In Verkehr gebr.“ Neugeräte/letzten 3 Jahre}}$$
 - Derzeit ca. 8,78 kg/Einw.*a (ggf. ca. 42,9 %) für 2015
 - Sammelziele beziehen sich auf sämtliche in Deutschland gesammelten Altgeräte (750.000 t/a – 200.000 t/a in den Vorjahren)



- Untergesetzliche Vollzugshilfen:
 - Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), s. www.laga-online.de
 - [LAGA-Mitteilung 31A](#) (enthält hilfreiche Hinweise zur Umsetzung ElektroG)
 - Allgemeine Anforderungen
 - Sammlung/Rückgabe von Altmodulen aus privaten Haushalten und „Großgewerbe“
 - Behandlung von Altmodulen in zertifizierten Erstbehandlungsanlagen
 - Informations-, Anzeige- und Mitteilungspflichten
 - [LAGA-Mitteilung 31B](#) (Technische Anforderungen an Behandlung und Verwertung)
 - Modulvarianten, Zusammensetzung,
 - Behandlungstechniken und Verwertungsverfahren für siliziumbasierte und siliziumfreie PV-Module

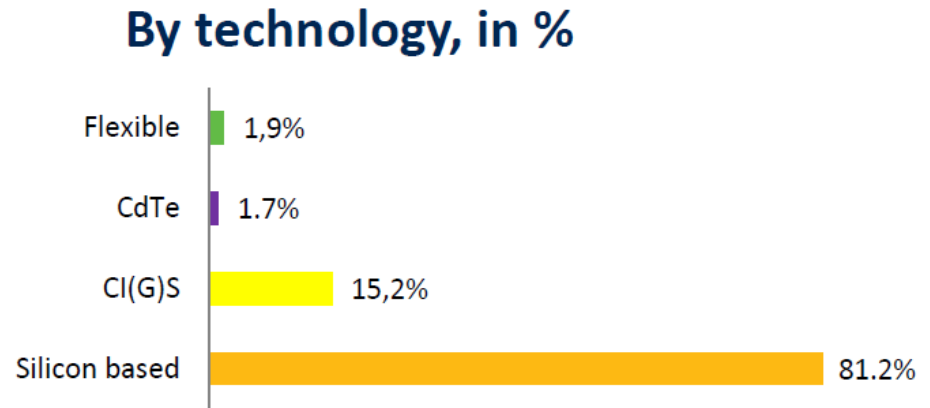
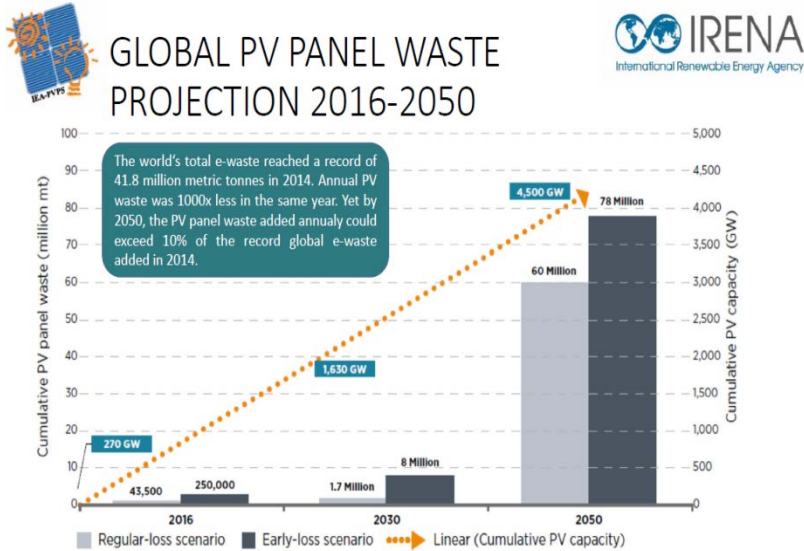
Diese LAGA-Mitteilungen geben wertvolle Hinweise zum Umgang mit gebrauchten PV-Anlagen und gelten auch für andere Elektro- und Elektronikgeräte (z. B. Wechselrichter)

Entsorgungsmenge =

	Produktionsausschuss	+	Abfall (EoL)
PV-Menge:	Unbekannt stark sinkend!		ca. 12.700 t durch PVCycle (EU,UK) davon ca. 7.400 (DE) X.000 t durch First Solar Y.000 t auf anderen Wegen ???
Tendenz:			
Abhängig von:	<ul style="list-style-type: none"> – Produktionshöhe – Produktionsqualität – Förderung nach EEG – ... 		<ul style="list-style-type: none"> – Transport-/Installationsschäden – Garantiefälle – Techn. Lebensdauer ≠ tatsächliche Nutzungsdauer – Wirkungsgraderhöhung – Ersatz nach Förderende – Wiederverwendung/Zweitmarkt

➔ Unklar: Wann fallen welche PV-Mengen als Abfall an

4. Mengenszenarien



Beispiel: PV Cycle Rücknahmemengen nach Technologie

- Abfallpotential derzeit > 4 Mio. t in Deutschland
- Schätzungen: EU: 2020: > 10.000 t, 2025: > 100.000 t
- Deutschland: 2050: 4,5 – 7 Mio. t

4. Mengenszenarien

Studie: Bio Intelligence Service (2011, EU-27)
Technologiespezifische Betrachtung (Anteil, Gewicht)



Reiling Glas Recycling GmbH und Co. KG

Jahr	Beispiele: Abfall in 1.000 t (Prognose)*
2025	14 – 22
2030	152 – 223
2035	1.800 – 2.900
2040	2.300 – 4.200
2050	4.900 – 9.600

Quellen:

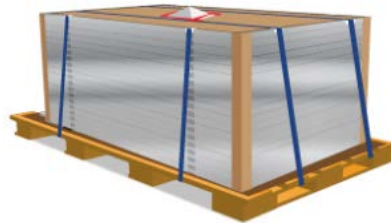
*Study On Photovoltaic Panels Supplementing The Impact Assessment For A Recast Of The WEEE Directive, Studie Bio Intelligence Service, European Commission DG ENV, Final Report, 14.4.2011, S. 50,

<http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/pdf/Study%20on%20PVs%20Bio%20final.pdf>

5. Sammlung – Behälter



PV Cycle: Einklappbare Kunststoff-Behälter



Ship multiple solar panels on a pallet

<https://www.solarodo.com/en/selling/pv-sales-guide-packaging>



Reiling Glas Recycling GmbH und Co. KG

Fazit: Unterschiedliche Möglichkeiten/Empfehlungen je nach Anbieter

5. Sammlung – Behältnisse



Standardtransporteinheiten

–

Behältnisse

SAMMELGRUPPE	STANDARDTRANSPORTEINHEIT	SONDERTRANSPORTEINHEIT EINER SAMMELGRUPPE
SG 1	1 Stück Abrollcontainer 38 m³	7 Stück Europalette je 0,75 m³ als Sondertransporteinheit der SG 1 für Nachtspeicherheizgeräte, die Asbest oder sechswertiges Chrom enthalten
SG 2	1 Stück Abrollcontainer 38 m³	
SG 3	1 Stück Abrollcontainer 38 m³	
SG 4	2 Stück Rungenpalette je 1 m³ und 2 Stück Eurogitterbox je 0,75 m³ und 1 Stück Spannringfass je 0,03 m³	
SG 5	1 Stück Abrollcontainer 38 m³ <i>alternativ</i> 3 Stück Absetzcontainer je 10 m³	7 Stück Eurogitterbox je 0,75 m³ als Sondertransporteinheit der SG 5 für batteriebetriebene Altgeräte
SG 6	3 Stück Kunststoff Palettenbox je 1 m³ <i>alternativ</i> 4 Stück Europalette je 0,75 m³	

BEHÄLTNIS	VOLUMEN	HINWEISE
Abrollcontainer	30 m³	Für SG 1, 2, 3 und 5 vorgesehen.
Abrollcontainer	38 m³	Für SG 1, 2, 3 und 5 vorgesehen.
Absetzcontainer	3 m³	Für SG 5 vorgesehen.
Absetzcontainer	5 m³	Für SG 5 vorgesehen.
Absetzcontainer	10 m³	Für SG 5 vorgesehen.
Big Bag	0,1 m³	Als Inlay im Zusammenhang mit Gitterboxen als Sondertransporteinheit für batteriebetriebene Altgeräte.
Eurogitterbox	0,75 m³	Für SG 3, 4 und 5 vorgesehen.
Europalette	0,75 m³	Für SG 1 und 6 vorgesehen.
Kunststoff Palettenbox	1 m³	Für SG 6 vorgesehen.
Leuchtstoffröhren-Box	1,5 m³	Für SG 4 vorgesehen.
Leuchtstoffröhren-Box	1,8 m³	Für SG 4 vorgesehen.
PV Big Bag	1 m³	Für SG 6 vorgesehen.
Rungenpalette	1 m³	Für SG 4 vorgesehen.
Spannringfass	0,03 m³	Für SG 4 vorgesehen.
Spannringfass	0,06 m³	Für SG 4 vorgesehen.



- Behältnisse müssen bruchsihere Erfassung ermöglichen, auch bei evtl. Bruch
- Stiftung ear stellt Kunststoff Palettenboxen 1m³ und Europaletten 0,75m³ und PV Big Bag kostenlos bereit, www.stiftung-ear.de
- Überdachte Aufbewahrung empfohlen
- Lichtgeschützte und trockene Lagerung
- Module ohne Rahmen wegen erhöhter Bruchgefahr getrennt sammeln
- Transportsicherung
- Beschädigte Kontakte/Kabel abkleben

5. Sammlung – Behältnisse

- Systemanbieter der Entsorgungsbranche
 - SecondSol (Zweitmarkt für Wiederverwendung)
 - take-e-way
 - Stiftung SENS eRecycling (Schweiz)
 - UFH (Österreich)
 - ...



Vollservice (z. B. Registrierung, Recycling, Berichtswesen) für Kunden/Mitglieder ist üblich

- Kollektive Rücknahmesysteme
 - Zusammenschluss mehrerer Hersteller
- Individuelle Rücknahmesysteme
 - herstellereigenes Rücknahmesysteme

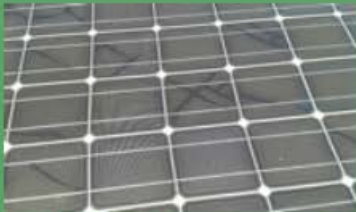




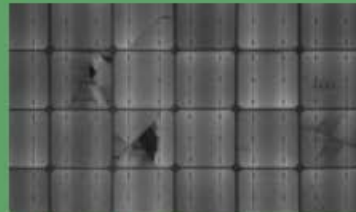
- 5 stufige Abfallhierarchie gem. § 6 **KrWG**
 - Vermeidung
 - Vorbereitung zur Wiederverwendung
 - Recycling
 - Sonstige Verwertung ((insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung)
 - Beseitigung



MODULE FÜR DAS REUSING ANKAUF MÖGLICH



PV-Module mit Schnecken Spuren



Mikrorisse und Zellbruch



Verfärbungen der Rückseitenfolie



Verfärbung der Zellverbinder



PV-Module mit Zellverfärbung



Module mit leichten Rahmenschäden



Verschmorte Anschlussdosen außen



Verschmorte Anschlussdosen innen



PV-Module mit defekten Solarkabeln



PV-Module mit fehlenden Steckern



Einschlüsse im Laminat (auf Anfrage)



Verfärbung des EVA (auf Anfrage)



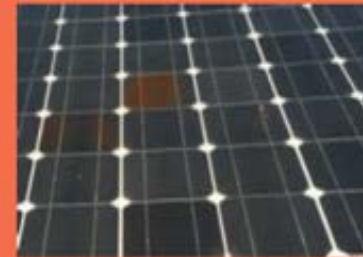
MODULE FÜR DAS REUSING KEIN ANKAUF MÖGLICH



PV-Module mit Glasbruch



PV-Module mit Delamination



PV-Module mit Hotspots



Schmorstellen auf der Frontseite



Schmorstellen auf der Rückseite



Schmorstellen auf der Rückseite

TESTEN UND ANKAUF VON SOLARMODULEN



Preisstaffel für den Ankauf von kristallinen PV-Modulen:

Volle Leistung:	max. 18 cent/Wp
Bis 5% Minderleistung:	max. 16 cent/Wp
Bis 10% Minderleistung:	max. 12 cent/Wp
Bis 15% Minderleistung:	max. 7 cent/Wp
Mehr als 15% Minderleistung:	max. 4 cent/Wp

Die Preise richten sich immer nach dem jeweiligen Defekt, Zustand und Alter der PV-Module.

Ankauf von Wechselrichtern:

Beim Ankauf von Wechselrichtern werden Preise für jedes Gerät vereinbart. Vorrangig werden einphasige Wechselrichter angekauft.

Eine Prüfung und Reparatur von Wechselrichtern ist grundsätzlich möglich.



- Projekt PV-Rec: Funktionserhaltendes Recycling von Photovoltaik-Modulen
 - Projektkonsortium (Techn. Hochschule Mittelhessen, Fa. Rühl Solar GmbH, Eigenbetrieb Abfallwirtschaft Lahn-Dill, ZME Elektronik Recycling, SM Inno Tech GmbH), Hessen Modell-Projekte aus Mitteln der LOEWE
 - Häufig Module mit wenig Fehlern → Schadensdiagnose, u. a. durch On-Site-Erfassungssysteme → maßgeschneiderte Repair-Schritte
 - Funktionserhaltung und Wiederverwendung von Komponenten
 - Reparatur mit oder ohne Zerlegung der Module
 - Rohstoffliches Recycling
 - Aufbau von Second-Life Modulen
 - Planung Demonstrations-/Pilotanlage

Projektende 7/2018



- Bisher nur wenig PV-Altmodule → wenig Behandlungskapazitäten bzw. -Anlagen
- Für Si-Module bisher meist trockenmechanische Verfahren
 - Schredern mit Aufbruch Verbund Glas-Zellen
 - Trennverfahren für Zielfractionen Metall, Kunststoffe und Glas (Alurahmen, Glas, Wafer aus Silizium, Kupfer-haltige Leiterbahnen, Silber und Alu aus Waferbeschichtung, Kunststoffe im Backsheet)
 - Verwertung Glas bisher zu Glaswolle, noch nicht in Behälter- oder Flachglasindustrie
Silizium wird weder gezielt rückgewonnen noch recycelt
- Für Dünnschichtmodule meist nasschemische Verfahren
 - Delaminierung: Ablösung der Folie oder Umhüllung durch physikalische, chemische oder thermische Zersetzung
 - Entfernung Glasbeschichtung und Trennung metallischer und nicht metallischer Fraktion
 - Extraktion und Raffination von Elementen

Kunststoffe und Glas können rein separiert werden für hochwertiges Recycling, ggf. auch Halbleitermaterialien

7. Behandlung Anlagen-Übersicht



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

Firma	Sunicon	Solarcycle	First Solar	Losser 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
Anmerkungen	Ausschuss Gebrauch	Ausschuss Gebrauch, Defekt	Ausschuss Gebrauch, defekt	Ausschuss Gebrauch, defekt	Ausschuss Gebrauch, defekt	Ausschuss Gebrauch, defekt	Ausschuss Gebrauch, Defekt
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.losserchemie.de	www.saperatec.de	www.lobbe.de	www.reiling.eu

http://www.abfallratgeber.bayern.de/publikationen/doc/elektro/entsorgung_photovoltaik.pdf

- Einige Verfahren wurden eingestellt bzw. nicht errichtet (z. B. Sunicon, Solarcycle)
- Zukünftig sind neue ressourcensparende Behandlungsverfahren notwendig, verschiedene Projekte/Fördermaßnahmen (z. B. PV-Rec, EoL-Cycle) laufen
- Verfahren derzeit noch vor großtechnischer Umsetzung



- Reiling (Marienfeld)

- PV-Module können mit den Technologien und den Kapazitäten der Flachglasrecyclingbranche verwertet werden
- Recyclingprozess in 3 Schritten:
 1. Entfernung des Rahmens und der Anschlussbox mit Kabeln
 2. Schreddern des Laminats (rahmenloses Modul)
 3. Sortierung & Reinigung des Glasgranulats
- Outputfraktionen:
 - Glas
 - Metalle (Aluminiumrahmen, Kupferkabel)
 - Reststoffe (Kunststoffe/Folien, Siliziumbruch)
 - Recyclingquote : über 80 %
- Positive Pilotversuche zum Einsatz von aufbereiteter Glasfraktion in Behälter-/Flachglasproduktion
- Verfahren derzeit nicht wirtschaftlich (wegen zu geringer Mengen)



Reiling Glas Recycling GmbH und Co. KG

7. Behandlung - kristalline Module

- Exner Trenntechnik (Langelsheim)
 - Annahme von kristallinen PV-Modulen, unberaubt, keine Dünnschicht, keine CdTe-Module
 - Zerkleinerung im Schredder, Klassierung, → FE-Metalle, NE-Metalle, Kunststoffe
 - Verwertungswegen für Al (Stahlindustrie), Cu (Edelmetallaufbereitung), Silizium (Glasindustrie), Kunststoffe (Zementwerke)
 - Aufschluss von Silber noch nicht wirtschaftlich



- First Solar (Frankfurt/Oder)

- Behandlungsanlagen je weltweitem Standort (Betrieb durch Dritten)
- Anlage(n) sind in Betrieb
- für Produktionsabfall und Altmodule
- nur für First Solar – Module
- Trockenprozess – Nassprozess -
weitere Nachbehandlung
- 90 % bzw. 95 % Rückgewinnungsrate
für Glas bzw. Halbleitermaterialien
- Rückgewinnung des CdTe durch
Partnerfirma, Wiedereinsatz für neue Module



Quelle: First Solar Module Recycling Facility



- Loser Chemie (Sachsen)

- Neue Genehmigung für weiteren Anlagenbetrieb läuft
- ggfs. mechanische Vorzerkleinerung
- Entmetallisierung und Auftrennung von CIS, CIGS, CdTe ist nur durch chemische Trennung möglich (hypochlorige Säure, Methansulfonsäure)
- Universelle chemische Methode für alle DS-Module und Si-Zellbruch
- Metalle (Cd, Mo, Te ...) gehen in Lösung, weitere Aufarbeitung möglich
- Entwicklung einer universellen Methode für Si- und DS-PV
- Recyceltes Glas für Flachglasproduktion geeignet



Entmetallisiertes
Bad für DS-
Produktionsabfall

sauberes Glas,
Metallsalzlösung-
(gelb), Indiumhydroxid,
Indium, sauberer
Kunststoff



Entmetallisiertes Glas



- Aktueller Stand
 - Derzeit noch geringer Mengenanfall
 - Kaum/keine spezifischen gesetzlichen Anforderungen für PV-Recycling
 - Staubentstehung
 - Silizium und Silber gehen verloren
 - Downcycling Flachglas zur Glaswolle
 - Kaum/keine Rückgewinnung strategischer Metalle (Indium, Gallium, Silizium)
 - politische Entscheidung notwendig
- Ziel
 - Konkrete Behandlungsanforderungen → Behandlungsverordnung
 - Ressourcennutzung
 - Stärkung Wiederverwendung und Vorbereitung zur Wiederverwendung

7. Behandlung – Behandlungsverordnung

- ElektroG enthält Verordnungsermächtigung für Behandlungs-Verordnungen:
- UBA – Projekt mit Empfehlungen (Stand 23.10.2017):
 - 1. Generelle Anforderungen
 - 2. Anforderungen an Verfahrensabläufe
 - 3. Anforderungen an Outputfraktionen



– 1. Generelle Anforderungen

- Bruch sichere Entladung
- Kein Vorbrechen oder Verdichten vor Sortierung und Erstbehandlung
- Kurzschlüsse ausschließen
- Witterungsgeschützte Lagerung
- Keine Vermischung der PV-Module mit Bauabfällen



– 2. Anforderungen an Verfahrensabläufe

- Erfassung von Staub bei Prozessen mit Staubentwicklung oder Schadstofffreisetzungsgefahr während Behandlung
- Getrennte Behandlung von siliziumbasierten und nicht siliziumbasierten Modulen, Verfahren für gemeinsame Behandlung zulässig, sofern bei Vermischung Grenzwerte für bestimmte Fraktionen zur Verwertung eingehalten werden
- Keine Vermischung/Verdünnung schadstoffhaltiger PV-Fraktionen mit anderen Fraktionen
- Max. Schadstoffgehalte für Glas und andere Fraktionen
 - Si-Module: (Pb: 100 mg/kg, Cd, Se: 1 mg/kg)
 - Nicht Si- und gemischte Module: (Pb, Se: 10 mg/kg, Cd: 1 mg/kg)
- Revisionsklausel:
Evaluation von Grenz- und Zielwerten nach 3 Jahren



– 3. Anforderungen an Outputfraktionen

- Vorrangige Verwertung von Glas für Flach- oder Behälterglas
- Rückgewinnung von Cd und Te
- Werkstoffliche Verwertung von Aluminium
- 2025: Anwendung von Verfahren zur Rückgewinnung von Ag und Si (aber in 2020 Überprüfung der Anforderung)
- 2030: Anwendung von Verfahren zur Rückgewinnung von In und Ga (aber in 2020 Überprüfung der Anforderung)

Offen, ob Behandlungsverordnung überhaupt kommt



8. LfU-Veröffentlichungen, weitere Quellen

- Entsorgung von Photovoltaik-Anlagen
 - Wieso Abfall? Entsorgung von PV-Anlagen
http://www.abfallratgeber.bayern.de/publikationen/doc/elektro/entsorgung_photovoltaik.pdf
- Berechnung der Immissionen beim Brand einer CdTe-PV-Anlage
<http://www.lfu.bayern.de/luft/doc/pvbraende.pdf>
- Photovoltaik-Altanlagen auf Deponien – Info 2
https://www.lfu.bayern.de/abfall/merkblaetter_deponie_info/doc/deponie_infomerkblatt.pdf
- Umweltwissen Sonnenergie http://www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_klima_00031.htm
- Schadstoffe in PV-Freiflächenanlagen - Sind sie eine Gefahr für den Boden? Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, <http://www.lfl.bayern.de/iab/boden/42814/index.php>
- Energieatlas: PV-Anlagen (Bestand, Potenzial, Planungsgrundlagen)
www.energieatlas.bayern.de
- Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten
 - Infoblatt Elektro- und Elektronik-Altgeräte
http://www.abfallratgeber.bayern.de/publikationen/entsorgung_einzeller_abfallarten/doc/elektro_altgeraete.pdf
 - Fachwissen ElektroG und Elektro(nik)geräte
http://www.izu.bayern.de/praxis/detail_praxis.php?pid=0201010100149
 - FAQ zur Entsorgung von Altgeräten http://www.izu.bayern.de/faq/index_faq.php?pid=0501020100
 - LfU-Fachtagung 2015 http://www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_abfall_00216.htm



8. LfU-Veröffentlichungen, weitere Quellen

- [Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland](#), Fraunhofer ISE, www.pv-fakten.de
- www.dwd.de
- [IRENA \(2018\), Renewable capacity statistics 2018, International Renewable Energy Agency, \(IRENA\), Abu Dhabi](#)
- Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher 2.0 , Jahresbericht 2018, ISEA, RWTH Aachen, Speichermonitoring, <http://speichermonitoring.de/>
- <http://www.pv-magazine.com>
- <http://iet.jrc.ec.europa.eu>
- www.epia.de, www.solarwirtschaft.de, www.photon.de, www.bundesnetzagentur.de, www.oekopol.de, www.pvcycle.de
- www.first-solar.de, www.loserchemie.de, www.saperatec.de
- <http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/pdf/Study%20on%20PVs%20Bio%20final.pdf>
- <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:197:0038:0071:de:PDF>
- www.bifa.de
- www.bdew.de
- Ventera Sachverständigenbüro, Weidenberg
- Roadmap Ressourceneffiziente Photovoltaik 2020
- [Round Table Recycling von PV-Anlagen, Wien 11/2013](#)
- Anforderungen an die Behandlung spezifischer Elektroaltgeräte unter Ressourcen- und Schadstoffaspekten, UBA-Text 70/2017, Abschlussbericht September 2017, Dessau
- LAGA Mitteilung 31A und 31B, www.laga-online.de → Mitteilungen
- Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher 2.0, Jahresbericht 2018, <http://www.speichermonitoring.de/ueber-pv-speicher/studien.html>
- Kritische mineralische Ressourcen von Photovoltaik-Dünnschicht-Technologien, Martin Chichy, Institut für Risiken und Sicherheitswissenschaften, Universität für Bodenkultur, Wien, 16.02.2017
- Umweltbundesamt, Entwicklung von Behandlungsanforderungen zur Behandlung von Elektroaltgeräten unter Ressourcen- und Schadstoffaspekten, Auszüge aus den AG

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Jürgen Beckmann
Bayerisches Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160
86179 Augsburg
juergen.beckmann@lfu.bayern.de
www.lfu.bayern.de