



# Energie- und Ressourceneinsparung durch Urban Mining-Ansätze anhand von Photovoltaik-Modulen

**Markus Schwarz & Simon Moser**

**15. Symposium Energieinnovation in Graz, 16. Februar 2018**

## Projekt ResUM

- Energie- und **R**essourceneinsparung durch **U**rbane **M**ining-Ansätze
- FuE-Dienstleistung in der 4. Ausschreibung von „Stadt der Zukunft“
- Konsortium:
  - Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement, TU Wien
  - Energieinstitut an der JKU Linz
- Laufzeit: Dezember 2017 – November 2018

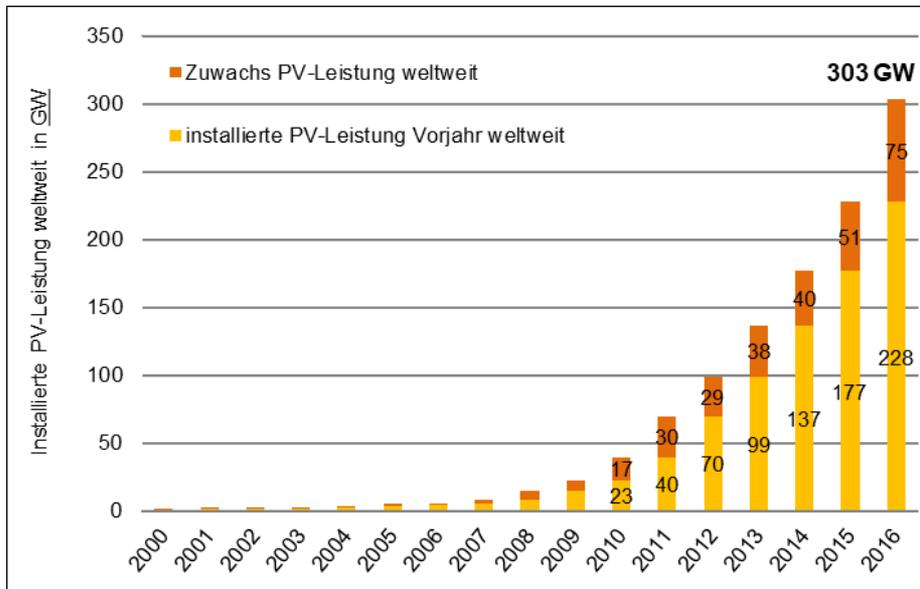


# Projekt ResUM

- **Ermittlung der Energie- und Ressourceneinsparungen durch Nutzung und Verwertung städtischer Materiallager**
- Anhand von 3 Fallstudien Untersuchung des Beitrags von Urban Mining zur Gestaltung ressourcen- und energieeffizienter Kreisläufe:
  - Case Study 1: Energie- und Ressourceneinsparung durch Urban Mining der erdverlegten Infrastruktur
  - Case Study 2: Ressourceneffiziente Bewirtschaftung von Alt-Gebäuden
  - **Case Study 3: Ressourceneffizienzpotential durch Recycling/Wiederverwendung von PV-Anlagen**
- Stakeholder-Einbindung & Ableitung von Empfehlungen

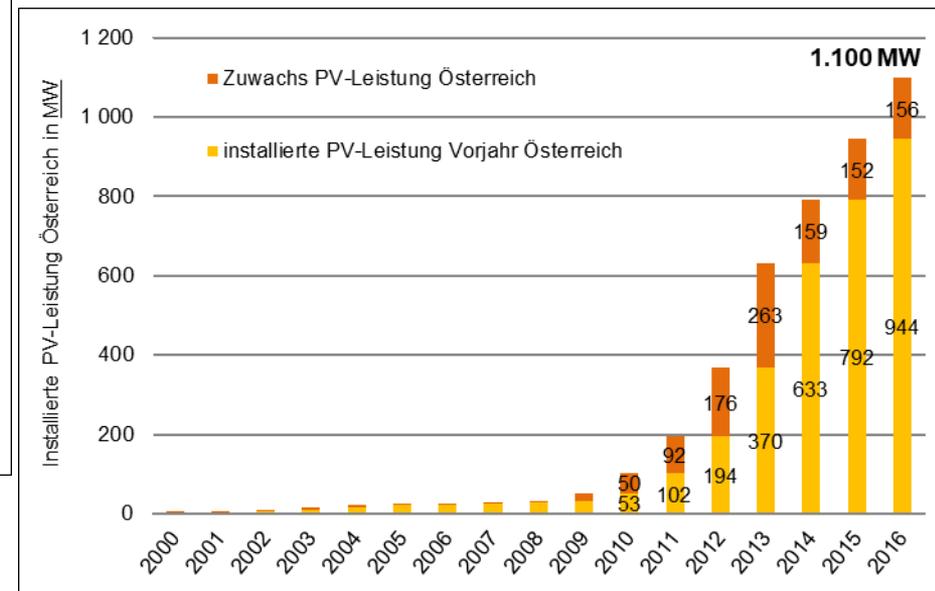
# Bedeutung der Photovoltaik

## ...weltweit



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf REN21 [1].

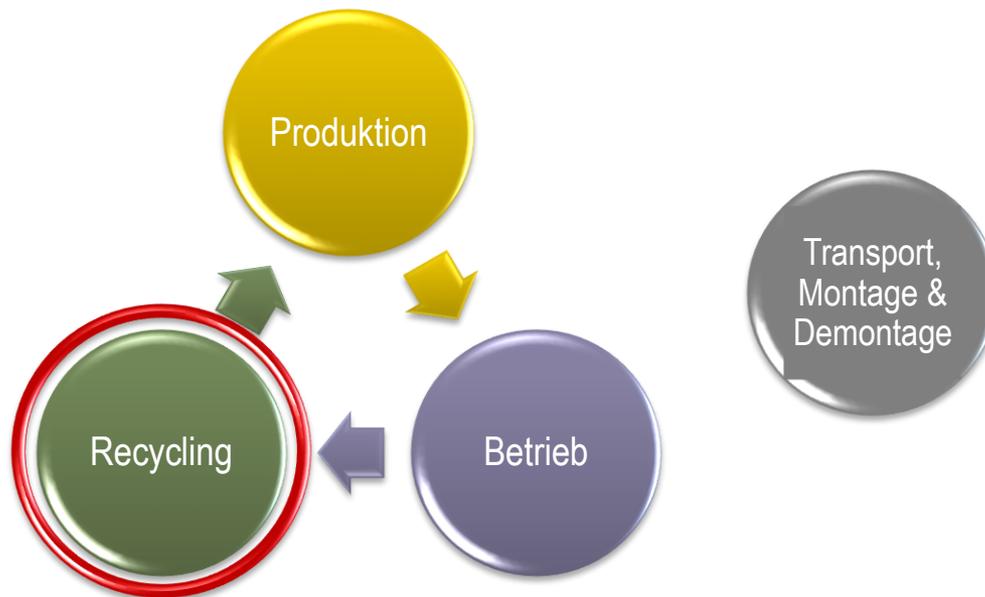
## ...Österreich



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Biermayr et al. [2].

# Systemgrenze & Fokus

- Systemgrenze: PV-Modul i.e.S. (Unterkonstruktion, Verkabelung und Wechselrichter i.w.S)
- Lebenszyklus von Produkten bzw. Systemen



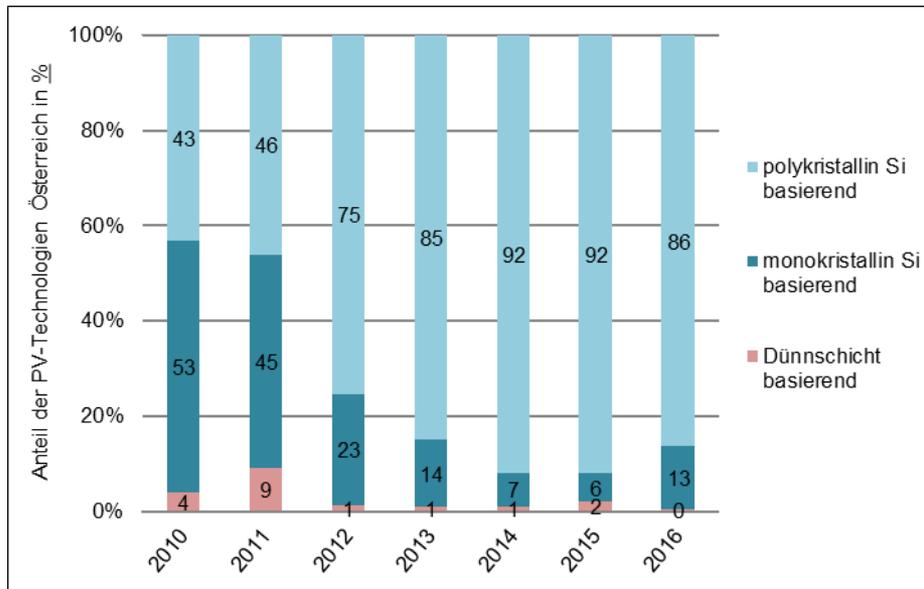
# Warum Recycling von PV-Modulen?

- **Zunahme an PV-Modulen** weltweit und Österreich
- **Ø Lebensdauer Module:** ~30 Jahre / Degradation
- Lebensdauer Modul vs. Balance of System (BOS)-Komponenten (Unterkonstruktion, Verkabelung, Wechselrichter)
- **Beschädigte Module** (Rahmen- und/oder Glasbruch, usw.) müssen frühzeitig getauscht werden
- PV-Module unterliegen seit 2014 der österr. Elektroaltgeräteverordnung (EAG-VO) auf Basis EU-Richtlinie 2012/19/EU (WEEE2)
- EU-Bestrebungen bzgl. **Kreislaufwirtschaft**  
→ *Circular Economy Strategy*



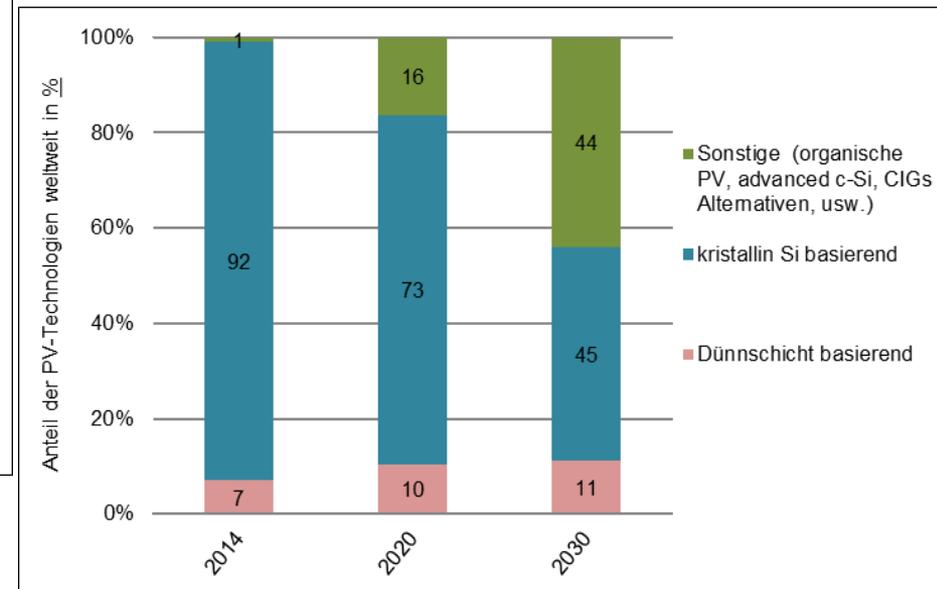
# PV-Technologien bestimmen zukünftige Abfallströme

## ...Österreich



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Biermayr et al. [2].

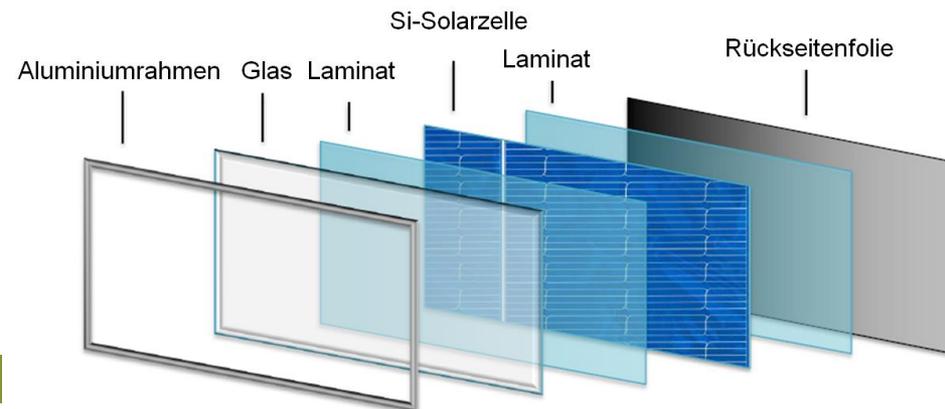
## ...weltweit



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Weckend et al./IRENA [3].

# Welche Abfallströme sind zu erwarten?

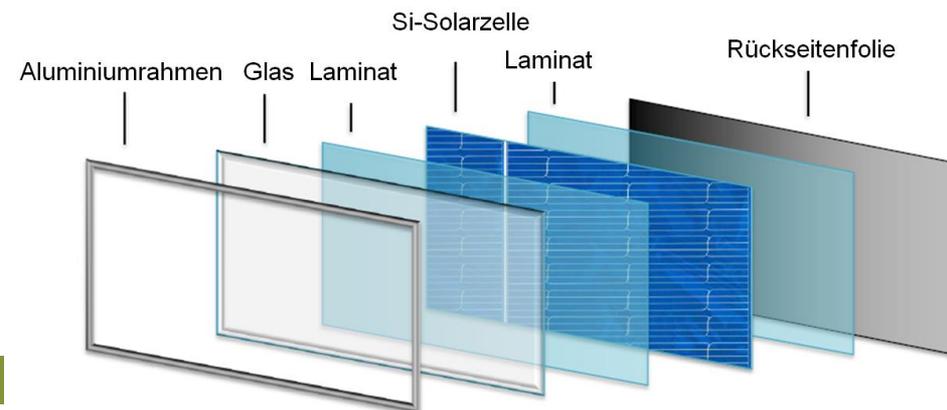
- **Kumulierte Abfallströme weltweit** (*Weckend et al./IRENA [3]*):
  - 2016: bis zu 250.000 t PV-Module
  - 2030: bis zu 8 Mio. t PV-Module
  - 2050: bis zu 78 Mio. t PV-Module
- Derzeit relativ homogener Abfallstrom (v.a. kristalline Zellen)  
→ in Zukunft variable Technologien → technische, ökonomische und organisatorische Herausforderung



Quelle: Accurec [4].

## Recycling-Kette: Sammlung

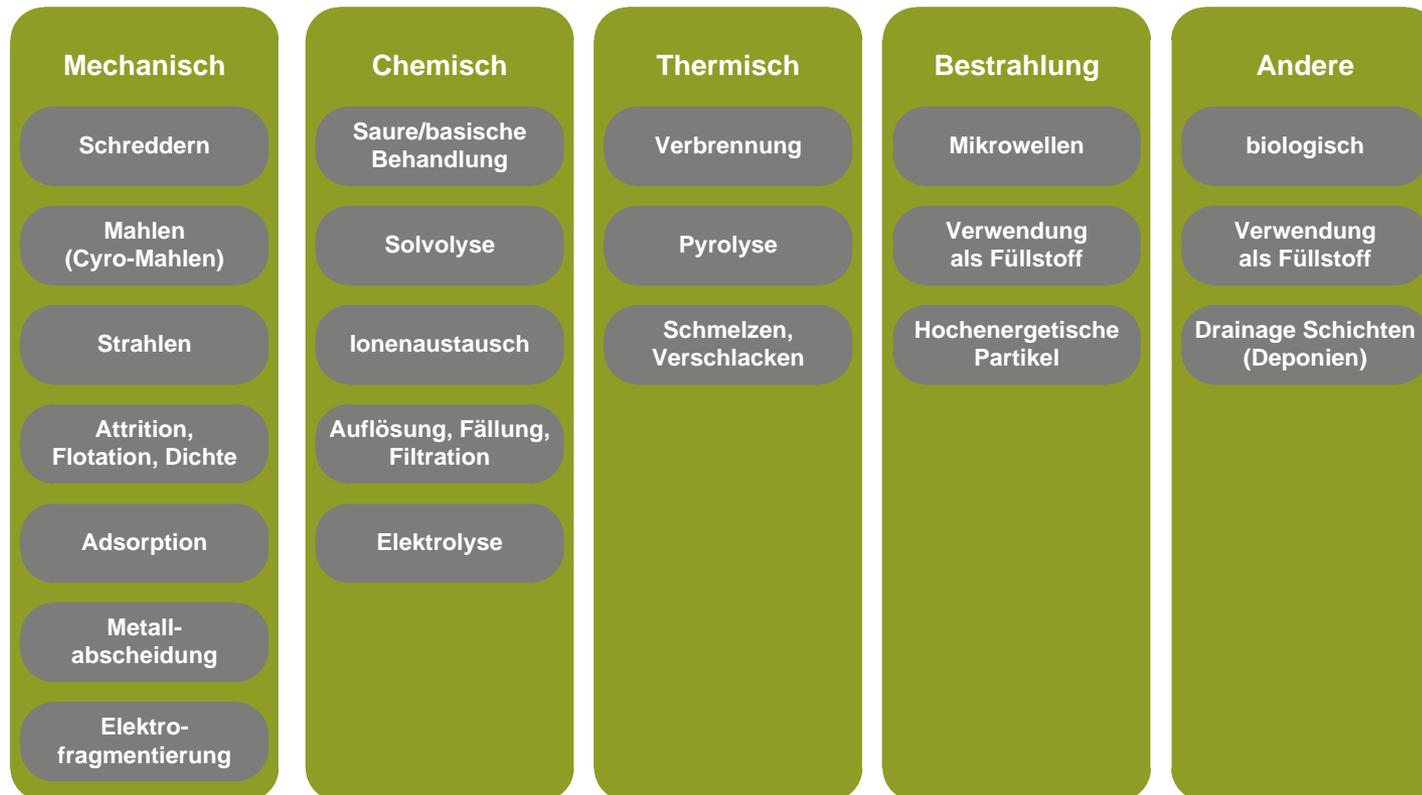
- Verantwortlich für Entsorgung ist der ***Erst-in-Verkehr-Bringer***  
→ österr. Hersteller, Importeure, Händler → **Prinzip der Herstellerverantwortung** für den gesamten Lebenszyklus
- PV-Module sind befugtem Sammler oder Behandler zu übergeben  
→ diese übernehmen die Verpflichtung der *Erst-In-Verkehr-Bringer*
- Getrennte Sammlung kristalliner Module und Dünnschichtmodule!



Quelle: Accurec [4].

# Recycling-Kette: Behandlung

## Übersicht bereits erprobter PV-Recyclingverfahren

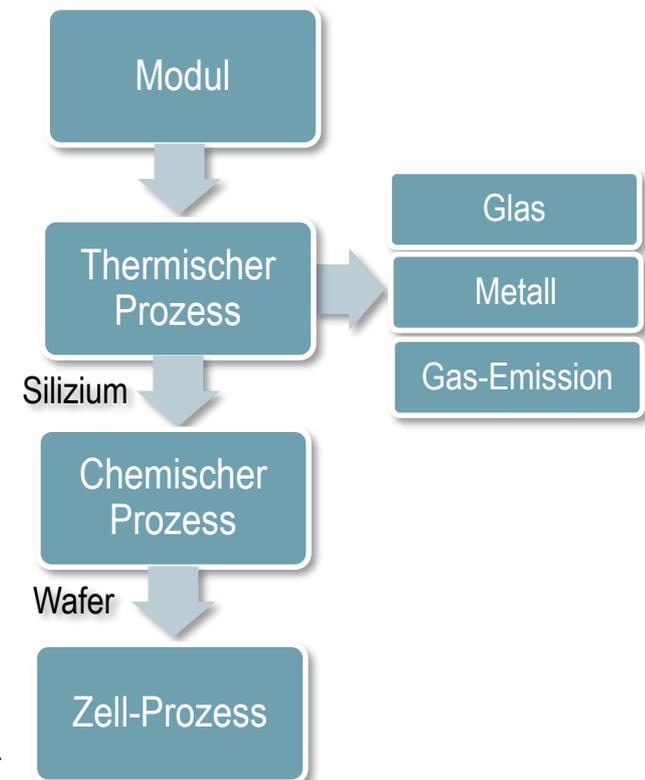


Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Fielder [5].

# Recycling-Kette: Behandlung

## Pilotanlage für kristalline Module:

1. Kunststoffteile bei 600°C verbrannt
2. Glas und Rahmen demontiert und recycelt
3. Solarzellen werden wiedergewonnen
4. Solarzellenaufbau durch Ätzverfahren entfernt → Waferrückgewinnung



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf BINE [6].

# Recycling-Kette: Behandlung

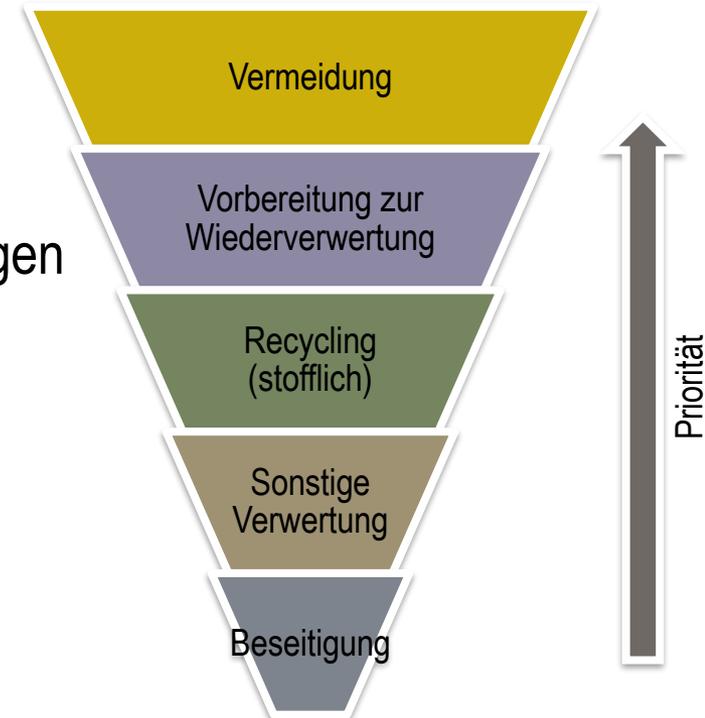
## Übersicht von Modulmaterialien, Masseanteile & Verwertungsmöglichkeiten

Modulkomponenten	Materialien	Masseanteil [%]	Verwertungsmöglichkeit
Glas	Natron-Kalkgläser	30-65	Schaumglas, Fasern, zukünftig evtl. Flach-, Guss-, und Hohlglas
Verbundmaterial	EVA, Acrylate, PU, u.a.	5-10	thermische Verwertung Abtrennung Verbinder, Zellen
Rückseitenabdeckung	Polyester, Aluminium, Flourpolymere, Stahl, Glas	0-10	thermisch bei Polymeren, Metallkreislauf für Metalle, Glasrecycling für Glas
Rahmen	Aluminium, Stahl, PU, PC, u.a.	0-20	thermisch bei Polymeren oder Kunststoffrecycling, Metalle in Metallkreislauf
Anschlussdosen	ABS, PC, PPO, PET, u.a.	0-5	thermische Verwertung, Kunststoffrecycling
Kabel	Cu, Polyolefine, synthet. Kautschuk, u.a.	ca. 1	Metallkreislauf, Kabelrecycler, Elektronikschrottreycling
Dichtmassen	Silikone, Polyacrylate, PE-Schäume, PU	0-10	thermisch
Füllstoffe	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> , CaCO <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , C, u.a.	ca. 1	Füllstoffe, mineralische Zuschläge, Beseitigung
kristalline Solarzellen	Si, Ti, Ag, Sn, Pb, Cu, Ni, Pb, u.a.	5-10	Keramikherstellung, Legierungszuschläge, Solarzellenherstellung
elektrische Verbinder	Cu, Sn, Pb, Al, Ag, u.a.	ca. 1	Metallkreislauf

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Weckend et al./IRENA [3].

# Urban Mining Ansatz: Abfallhierarchie, Design for Recycling & Reuse

- Abfallhierarchie integraler Bestandteil einer Kreislaufwirtschaft
- Design for Recycling & Reuse (DfR) begünstigen Prioritätenfolge in der Abfallhierarchie
- „**Design**“ eines Produkts **wesentlich für die Kreislaufwirtschaft**
- Neben DfR noch weitere „Design for“ Ansätze  
→ Design for Disassembly (DfD)



# Urban Mining Ansatz: Design for Recycling

- Kommt im Produktdesign zur Anwendung
- Zielt auf die **Rezyklierbarkeit eines Produktes** und seiner Komponenten ab → max. Output aus dem Recyclingprozess
- Fehlen von Vorgaben/Richtlinien zur Optimierung der Rezyklierbarkeit
- **DfR: nicht nur Zerlegen des Produkts** / Auftrennung von Stoffen  
→ auch Maßnahmen zur Erhöhung der Lebensdauer:  
modulare Produktdesigns & Reparaturfreundlichkeit

# Urban Mining Ansatz: Design for Recycling

## Erprobte DfR-Ansätze allgemein

- Verwendung von Schrauben und Druckkontakten
- Verwendung nur eines Materials statt mehreren
- Substitution eines Materials durch ein anderes, z.B. optimierte Materialien

## Erprobte DfR-Ansätze PV-Module

- Einsatz von Thermokunststoffen anstatt EVA-Einkapselung
- Keine Verkapselung → NICE Modul-Konzept (keine Laminierung)
- Verwendung von alternativen Dichtmitteln
- Einsatz von Release-Layern (abziehbare Schutzschicht)
- DfR Ansätze → Trade-off zwischen Rezyklierbarkeit und Modul-Effizienz

# Urban Mining Ansatz: Design for X

## **Design for Environment-Ansätze PV-Module**

- Reduktion der eingesetzten Materialien bzw. Erhöhung der Materialeffizienz

## **Design for Reuse-Ansätze PV-Module**

- Nicht nur technische Maßnahmen, sondern auch neue Geschäftsmodelle
- Generalüberholung alter/reparaturfähiger PV-Module → Second-Hand Markt?

## Case Study PV-Recycling

- Untersuchung der effizienten Nutzung bzw. Rückgewinnung von Materialien in PV-Modulen
- Fragestellungen im Zuge der Stakeholdereinbindung
  - Aktuelles bzw. bisheriges PV-Recycling?
  - Zukünftiges PV-Recycling?
  - Ansätze des Design for Recycling & Reuse?
  - Einflussfaktoren auf Wirtschaftlichkeit?
- Potentielle Experten: Verbände, Öffentliche Hand, Recycler/Behandler, PV-Hersteller, Energieversorger, Anlagenbetreiber, Wissenschaft & Forschung

# Kontakt

Markus Schwarz      [schwarz@energieinstitut-linz.at](mailto:schwarz@energieinstitut-linz.at)  
Simon Moser        [moser@energieinstitut-linz.at](mailto:moser@energieinstitut-linz.at)

**Energieinstitut an der JKU Linz**  
Altenbergerstraße 69  
4040 Linz

Das Projekt ResUM wird aus Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie gefördert und im Rahmen des Programms „Stadt der Zukunft“ durchgeführt.





# Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz

# Literatur

- [1] REN21 (2017): Renewables 2017 – Global Status Report.
- [2] Biermayr et al. (2017): Innovative Energietechnologien in Österreich - Marktentwicklung 2016. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 13.
- [3] Weckend et al. (2016): End-of-Life Management. Solar Photovoltaic Panels. IRENA, IEA, 2016.
- [4] Accurec (2013): Company introduction. Präsentation auf der 3rd International Conference on PV Module Recycling in Rome 2013.
- [5] Fielder, R. (2016): Recycling von PV-Modulen. Solar World AG. Präsentation am 6. September 2016, URL: [crm.saena.de/sites/default/.../2\\_Fiedler\\_Solarworld\\_PV%20Modul%20Recycling.pdf](http://crm.saena.de/sites/default/.../2_Fiedler_Solarworld_PV%20Modul%20Recycling.pdf) (dl: 02.02.2018)
- [6] BINE (2018): Recycling von Photovoltaik-Modulen - Aufarbeitung, URL: <http://www.bine.info/themen/publikation/recycling-von-photovoltaik-modulen/aufarbeitung/> (dl: 10.02.2018)