Bundesministerium
Verkehr, Innovation
und Technologie

NACHHALTIGwirtschaften

IEA Photovoltaik (PVPS) Task 12: Umwelt, Gesundheit und Sicherheit

Arbeitsperiode 2016 - 2018

S. Schidler

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

37/2019

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe
unter http://www.nachhaltigwirtschaften.at

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:
https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/

IEA Photovoltaik (PVPS) Task 12: Umwelt, Gesundheit und Sicherheit

Arbeitsperiode 2016 - 2018

Mag. Dr. Susanne Schidler
Technikum Wien GmbH

Wien, November 2018

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms

IEA FORSCHUNGS KOOPERATION

des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzfassung 4
2. Einleitung 6
   2.1. Hintergrund 6
   2.2. Stand des Wissens – Umweltwirkung von PV 7
3. Das IEA Photovoltaic Power Systems Programm 10
   3.1. Der IEA PVPS Task 12 11
      3.1.1. Methoden - Lebenszyklusanalyse 12
      3.1.2. Methoden – Entwicklung von sozioökonomischen Nachhaltigkeitskriterien für PV 16
4. Ergebnisse des Projektes 18
   4.1. Subtask 1 – Recycling 18
   4.2. Subtask 2 – LCA 20
   4.3. Subtask 3 – Other sustainable issues 22
5. Vernetzung und Ergebnistransfer 24
   5.1. Internationaler Vernetzungsworkhop Sustainable PV 25
   5.2. Nutzen der österreichischen Beteiligung am IEA PVPS Task 12 26
6. Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen 27
7. Publikationen des Task 12 seit 2016 28
8. Abbildungsverzeichnis 29
9. Abkürzungsverzeichnis 29

1. Kurzfassung

Die österreichische Photovoltaik (PV)-Wirtschaft entwickelt sich zunehmend zu einer Zulieferindustrie, die internationale Zell- oder ModulproduzentInnen beliefert oder Nebenprodukte wie Einkapselungsfolien, Zellverdrahtungen, Sputtertargets, Wechselrichter, Batterien etc., auf dem Weltmarkt anbietet. Aus diesem Grund ist die aktive Mitarbeit in internationalen PV Netzwerken wesentlich. IEA-PVPS ist das bedeutendste derartige Technologienetzwerk, die aktive österreichische Mitarbeit darin besteht seit 1993.

Ziel des IEA PVPS Task 12 ist es, internationale Zusammenarbeit im Bereich der Umweltwirkung und Nachhaltigkeit von PV zu unterstützen. Dazu gehören Erstellung und Dissemination von verlässlichen Informationen zu Umwelt, Gesundheit und Sicherheit, sowie aller Dimensionen der Nachhaltigkeit über den gesamten Lebenszyklus der PV an Öffentlichkeit und Entscheidungsträger. Die Basis dazu wird in 3 Subtasks entwickelt: Subtask 1 - Recycling of Manufacturing Waste and Spent Modules, Subtask 2 - Life Cycle Assessment (LCA), Subtask 3 – Other Sustainability Issues

Der Beitrag der österreichischen Vertretung seitens des Forschugnsbereichs „Renewable energy Systems“ an der FH Technikum Wien in Task 12 lag in den letzten beiden Jahren im Bereich des Subtask 3 – Other Sustainability Issues – einer umfassenden Recherche zu sozioökonomischen Kriterien und Indikatoren, die die Nachhaltigkeit von PV Modulen und Anlagen messen und darstellen können und in der Dissemination.

Schwerpunkte des Subtask 2 sind Methodenentwicklung und Datenerstellung für LCAs, Harmonisierung von Methoden, die Erstellung von Leitfäden etc. Basis des methodischen Vorgehens bildet das Rahmenwerk der ISO 14040 und 14044 welches für PV-Komponenten konsistent gestaltet wird. Zudem sollen unterschiedliche Herangehensweisen harmonisiert und Anleitungen in Form von speziellen Parametern und Annahmen entwickelt werden. Diese bilden auch die Grundlage für die Arbeiten in den anderen Tasks.

Laufende Arbeiten im Rahmen des Task 12 betreffen das Leaching aus den Kontakten und Halbleitern der Module, mit Fokus auf gefährliche/giftige Substanzen, Recyclingtechnologien und –standards und deren Umweltwirkung. Ein Webservice zur grafischen Darstellung von Umweltwirkungen von PV auf Basis von GIS- und lokalen Strahlungsdaten liegt in einer überarbeiteten Version vor, eine erste Liste von Nachhaltigkeitsindikatoren wurde erstellt.

Publiziert wurden im Berichtszeitraum u.a. folgende Berichte: „Human health risk assessment methods for PV, Part 1: Fire risks“ zum Risiko durch Austritt gefährlicher Substanzen bei Feuer, „Water Footprint of European Rooftop Photovoltaic Electricity based on Regionalised Life Cycle Inventories“, zum Wasserverbrauch der PV entlang der gesamten Wertschöpfungskette, „End of Life Solar PV Panels“ zu technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für PV Recycling in der Zukunft, „Life Cycle Assessment of Current Photovoltaic Module Recycling“ zur Umweltwirkung von PV Recycling, „Photovoltaics and Firefighters’ Operations: Best Practices in Selected Countries“ zu Risiken und Massnahmen bei Feuer und eine neue überarbeitete Version der „ Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity“.

Austria's PV Industry is characterised by being a supply industry for global industry of module producers respectively system designers (encapsulation, wiring, sputtertargets, inverters, batteries..). Active participation in the most important international PV network IEA-PVPS is therefore essential, Austria has been member since the beginning in 1993.

The aim of Task 12 is to foster international collaboration in the field of environmental impacts of PV. That includes the dissemination of reliable information on environment, health and safety as well as sustainability aspects along the whole lifecycle of PV.

The work is based on 3 modules: Subtask 1: Recycling of Manufacturing Waste and Spent Modules, Subtask 2: Life Cycle Assessment (LCA), Subtask 3 Other Sustainability Issues.

Austria, represented by UAS Technikum Wien, R&D area „Renewable Energy Systems" contributed mainly in Subtask 3 – coducting a comprehensive review on socioeconomic indicators and criteria to measure the sustainability of PV modules and plants as well as in dissemination of results.

Subtask 2 is focussing on development of methodologies and data review for LCA, harmonisation of methods and development of guidelines. Based on the framework of ISO 14041 and 14044 different methods and approaches are harmonised and specific parameters and assumptions suggested. This builds the basis for work in other subtasks of task 12.

Ongoing Work in Task 12 addresses leaching from semiconductors and contacs – focussing on toxic and hazardous substances, standards and technologies for PV recycling referring environmental impacts. A web service to show environmental impacts of PV based on GIS and local irradiation data is available as an intermediate version. A preliminary compilation of sustainability indicators was provided.

The following reports were published: „Human health risk assessment methods for PV, Part 1: Fire risks" adressing the risk of hazardous substances in case of fire, „Water Footprint of European Rooftop Photovoltaic Electricity based on Regionalised Life Cycle Inventories", on water consumption and withdrawel for PV systems , „End of Life Solar PV Panels" on technical and economic frameconditions für PV recycling in the future,, „Life Cycle Assessment of Current Photovoltaic Module Recycling" on environmental impacts of PV Recycling, „Photovoltaics and Firefighters' Operations: Best Practices in Selected Countries" on risk and measure to prevent danger in case of fire an a new revised version of „ Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity".

2. Einleitung

Die Österreichische Photovoltaik-Wirtschaft zeichnet sich dadurch aus, dass sie sich zunehmend zu einer Zulieferindustrie entwickelt, die internationale Zell- oder Modulproduzenten beliefert oder Nebenprodukte wie Einkapselungsfolien, Zellverdrahtungen, Sputtertargets, Wechselrichter, Batterien etc., auf dem Weltmarkt anbietet. Umso wesentlicher ist daher die aktive Mitarbeit in internationalen Photovoltaik Netzwerken. IEA-PVPS ist das bedeutendste derartige Technologienetzwerk, die aktive österreichische Mitarbeit darin besteht seit 1993.

2.1. Hintergrund

Das Wachstum des PV-Marktes gründet auch auf dem Versprechen der umweltfreundlichen Energieproduktion. Vor allen die umweltbewusste Öffentlichkeit trägt zu dieser Entwicklung bei. Diese Unterstützung ist wichtig für die Wettbewerbsfähigkeit der PV-Industrie in Bezug auf die Gestehungskosten, und damit für deren Entwicklung zu einer grundlegenden Energiequelle. Daher ist es wichtig kontinuierliche Aufmerksamkeit auf Umwelt-, aber auch auf Gesundheits- und Sicherheitsaspekte der Technologie zu richten, um Gesundheit und Umwelt, besonders in Bezug auf die zunehmende Verbreitung der Photovoltaik, zu bewahren und die Nachhaltigkeit entlang der Wertschöpfungskette zu verbessern. Vor diesem Hintergrund werden besonders gesamtökologische Betrachtungen, Lebenszyklusanalysen und Technikfolgenabschätzungen immer bedeutender.

Zudem zeigt die Marktentwicklung der PV in Österreich (Abbildung 1) dass – bei einer angenommenen Lebensdauer der Module von 30 Jahren[1]– kurzfristig noch geringe, mittelfristig jedoch kritische Mengen von außer Betrieb genommenen Anlagen für das Modulrecycling zu erwarten sind.[2] Hier kann durch die Mitarbeit in Task 12 die Erfahrung anderer Länder mit Recyclingtechnologien, Logistik usw. genutzt und in weiterer Folge für österreichische Verhältnisse adaptiert und weiterentwickelt werden.

[1] R. Frischknecht, G. Heath, M. Raugei, P. Sinha, M. de Wild-Scholten, V. Fthenakis, H. C. Kim, E. Alsema and M. Held, 2016, Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity, 3rd edition, IEA PVPS Task 12, International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. Report IEA-PVPS T12-06:2016, ISBN 978-3-906042-38-1, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=369&eID=dam_frontend_push&docID=3607

[2] S. Weckend, A. Wade, 2017, End of Life Solar PV Panels, IEA, IRENA, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=381&eID=dam_frontend_push&docID=3123

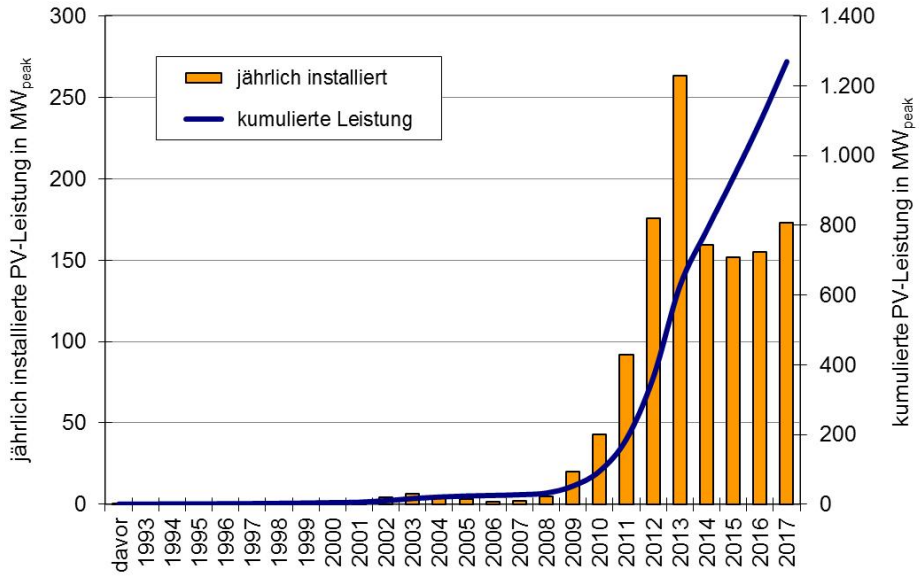

Abbildung 1: Kumulierte installierte PV-Leistung in kWpeak von 1993 bis 2017[3]

Das folgende Kapitel zeigt den Stand des Wissens zu Umweltwirkung von PV und deren Bewertung und Vorarbeiten der österreichischen Vertretung zum Thema. Eine Beschreibung des IEA PVPS, sowie des Task 12 folgt auf S. 10. Grundlagen der Lebenszyklusanalyse werden ab S. 12 erklärt. Das Kapitel „Ergebnisse des Projekts " (ab S 17) zeigt Arbeiten und Ergebnisse im Berichtszeitraum. Vernetzungsaktivitäten werden ab S. 24 präsentiert. Der Nutzen der österreichischen Beteiligung (S.25), Schlussfolgerungen (S. 26) und Publikationen des Task (S.27) schließen diesen Bericht ab.

2.2. Stand des Wissens – Umweltwirkung von PV

Der Bewertung von Umweltwirkungen von Technologien wird zunehmend Bedeutung zugemessen. [4] Sei es für Beratungs-, Informations- oder auch Marketingzwecke. Dies gilt auch für Technologien im Bereich der erneuerbaren Energie. Die Erstellung von Ökobilanzen (LCA) stellt hier eine anerkannte Methode zu deren Quantifizierung dar.

Unterschiedliche Herangehensweisen, sowohl beim Setzen von Systemgrenzen, der Definition der funktionellen Einheit als auch der verwendeten Eingangsparameter führen jedoch oft zu unterschiedlichen Ergebnissen. So liegen beispielsweise die Ergebnisse unterschiedlicher Studien für CO_2-äqu. Emissionen für Photovoltaik zwischen ca. 40 und ca. 70 g CO_2-äqu/$kWh_{el.}$[5],[6] Dadurch sind einerseits Vergleiche schwierig, andererseits sinkt möglicherweise das Vertrauen in die Methode und

[3] Biermayr, P., Eberl, M., Enigl, M., Fechner, H., Kristöfel, C., Leonhartsberger, K., Maringer, F., Moidl, S., Schmidl, C., Strasser, C., Weiss, W., Wopienka, E., 2015, Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2017. Berichte aus Energie- und Umweltforschung, 11/2017, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/reports/marktstatistik-2017-endbericht.pdf

[4] Siehe dazu beispielsweise: Kaltschmitt, M., Schebek, L., 2015, Umweltbewertung für Ingenieure. Methoden und Verfahren. Springer Verlag, ISBN 978-3-642-36989-6

[5] Schwarz, M., M., 2015, Energieinstitut an der JKU Linz, persönliche Auskunft. 10.11.

[6] Siehe dazu auch: NREL, 2015, Crystalline Silicon and Thin Film Photovoltaic Results – Life Cycle Assessment Harmonization. http://www.nrel.gov/analysis/sustain_lca_pv.html;

deren Ergebnisse. Hier kann eine Harmonisierung der Herangehensweisen Vergleichbarkeit schaffen und damit die Glaubwürdigkeit der Ergebnisse unterstützen.

So geben Frischknecht et al.[7] Empfehlungen zur Vereinheitlichung der Vorgangsweisen.

- Die Lebensdauern der einzelnen Komponenten werden wie folgt angegeben:
    - Module – 30 Jahre bei ausgereiften Technologien,
    - Wechselrichter – 15 Jahre für kleine Anlagen bzw. 30 Jahre mit Austausch von einzelnen Teilen alle 10 Jahre (diese müssen spezifiziert werden)
    - Transformatoren – 30 Jahre
    - Aufbau – 20 Jahre für dach- und fassadenmontierte PV, 30 – 60 Jahre für Freiflächenanlagen.
    - Verkabelung – 30 Jahre
- Die Ausrichtung ist als optimal für den Standort anzunehmen (Ausnahmen müssen dokumentiert werden)
- Für den Nutzungsgrad sind entweder standortspezifische Daten zu verwenden oder 0,75 für dachmontierte Anlagen, bzw 0,8 für Freiflächenanlagen – diese Werte enthalten bereits die Altersdegradation.
    - Altersdegradation wird mit 0,7 % pro Jahr angegeben, anderslautende Zahlen müssen dokumentiert werden.
- Back up Systeme und alle Aktivitäten die mit Handel, Administration usw. zusammenhängen sind nicht Teil der LCA – anderslautende Systemgrenzen müssen dokumentiert werden.
- Es wird empfohlen die Prozesskette in Foreground Processes (auf die der Besitzer oder Entscheidungsträger Einfluss nehmen kann) und Background Processes (ohne Einflussmöglichkeit) zu teilen.
- Für die Allokation bei multifunktionalen Prozessen (wenn mehrere Produkte gleichzeitig aus einem Ausgangsprodukt hergestellt werden), der Verwendung von Recyclingmaterialien und der Nutzung von Abfällen wird auf die Regelwerke der ISO 14044 verwiesen
- Letztlich wird als funktionelle Einheit kWh zum Vergleich von unterschiedlichen (PV-) Technologien zur Stromerzeugung und m² zum Vergleich unterschiedlicher Aufbauten und Versorgungsinfrastruktur empfohlen.

Darüber hinaus ist die Datenlage für viele Prozesse unvollständig bzw. bestehen große Unterschiede zwischen den einzelnen PV-Technologien und Anlagenkomponenten wie Wechselrichtern, was die Datenverfügbarkeit betrifft.[8] So weisen zum Beispiel relevante Datenbanken wie ecoinvent oder

[7] R. Frischknecht, G. Heath, M. Raugei, P. Sinha, M. de Wild-Scholten, V. Fthenakis, H. C. Kim, E. Alsema and M. Held, 2016, Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity, 3rd edition, IEA PVPS Task 12, International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. Report IEA-PVPS T12-06:2016, ISBN 978-3-906042-38-1, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=369&eID=dam_frontend_push&docID=3607

[8] De Wild-Scholten, M. 2014, Environmental aspects of photovoltaics. Vortrag im Rahmen der 12. Österreichische Photovoltaik-Tagung Linz, Austria, 4.11.; http://smartgreenscans.nl/publications/deWildScholten-2014-Environmental-aspects-of-PV.pdf

auch GEMIS Datenlücken im Bereich Wasserverbrauch oder Energieeinsatz für viele Prozesse auf. Diese Lücken und aktuelle Entwicklungen, die Veränderungen der Umweltwirkung nach sich ziehen, werden laufend in den Datenrecherchen und Aktualisierungen der LCI-Studien adressiert. So war z. B. der Wasserverbrauch in der Produktion von PV-Modulen ein zentrales Thema der Arbeiten des Task 12.

Das (zunehmende) Interesse an sogenannten „Consequential LCAs“, d.h. Untersuchungen die neben den Umweltwirkungen von Prozessen, Produkten usw. („Attributional LCA“) auch die (zukünftigen) Umweltwirkungen von (politischen) Maßnahmen, geplanten oder projektierten Veränderungen in Implementierung, Prozessen, Output usw. aufzeigen, macht weitere Datenrecherchen entlang der Wertschöpfungsketten unumgänglich. Da consequential LCA auch ökonomische Parameter wie beispielsweise dynamische Angebot-Nachfrage Verhältnisse und ähnliches berücksichtigen muss, sind die betrachteten Systeme weit komplexer und die Robustheit und Verlässlichkeit der Inputdaten daher umso wichtiger.[9]

Wie Recherchen im Rahmen des Task 12 gezeigt haben, ist die Datenlage zu LCA von Recyclingtechnologien und Maßnahmen weitgehend unvollständig. Zudem bestehen noch einige offene Fragen im Bereich der Logistik - sollen bestehende Transport-Systeme genutzt oder neue aufgebaut werden, sind die Zielgruppe eigene PV-Recyclingunternehmen oder das generelle Wertstoffrecycling - und anderen Teilbereichen. Eine umfassende Betrachtung unterschiedlicher nationaler oder auch regionaler Strategien und Lösungen, kann hier Good Practice Beispiele aufzeigen und weitere Entwicklungen wie zum Beispiel eine harmonisierte Implementierung der WEEE Richtlinie in diesem Technologiebereich unterstützen. Laufende Studien zeigen hier unterschiedlichste Ansätze

Die Arbeiten im Rahmen des Task 12 zum Thema Feuersicherheit von PV haben gezeigt, dass es weltweit eine Vielzahl von unterschiedlichen aber auch ähnlichen Empfehlungen oder Maßnahmen zum Schutz gegen Feuer oder Auswirkungen davon im Bereich der PV gibt. Der Bericht zu Brandrisiken zeigt diese auf. Die Maßnahmen reichen von Informationen für die Feuerwehrkräfte bis zu technischen Maßnahmen wie Atemschutz oder Schutzschaltern und baulichen Maßnahmen wie Aufstiegshilfen auf Dächern. Hier können auf den Recherchen basierende allgemeine Empfehlungen Entscheidungsträger aber auch Normungsinstitute unterstützen.

Zur Bewertung der Nachhaltigkeit über die ökologische Dimension hinaus, ist eine umfassende Recherche bestehender Bewertungsparameter und -systeme notwendig. Die Implementierung dieser Aspekte in die Betrachtung/Bewertung von PV setzt Interdisziplinarität voraus, die im Forschungsbereich „ Renewable Energy Systems“ sehr gut verankert ist. Hier wurden bereits einige Studien zur Bewertung von Energietechnologien durchgeführt. Die Arbeiten umfassen sowohl die Erstellung von Klimabilanzen (z. B. PV mit und ohne Speicher: PVStore/Vanadium Redox Flow Batterie, CoOpt SmartCityGrid/Lion; PV mit und ohne Demand Side Management: CoOpt SmartCityGrid; Bürogebäude: SPIN.OFF/Salzwasserspeicher; Batterie im Netzabschnitt: S-chameleonstore, unterschiedliche Nahwärmelösungen: heatPortfolio …) und die Entwicklung von Nachhaltigkeitskriterien (z. B. PV: PVStore, Biomasse: BioConSolar, heatPortfolio, Bioraffinerien…).

[9] Aumann, C., 2010, Attributional versus Consequential LC- Eco Efficiency Action Project - Methods, Models, & Analytics for Sustainable Operations Management. http://eco-efficiency-action-project.com/2010/03/01/attributional-versus-consequential-lca/

Erfahrungen und Ergebnisse dieser Projekte unterstützen die Weiterentwicklung der LCA Methodik, den Vergleich unterschiedlicher Technologien und die Implementierung von Nachhaltigkeitsaspekten entlang der Wertschöpfungskette. Die ExpertInnengruppe des Task 12 wurde im Berichtszeitraum um die ökonomische Expertise und damit den sozialwissenschaftlichen Blickwinkel erweitert (Vertretung Spaniens). Auf Initiative der österreichischen Vertretung wird aktuell eine neue Aktivität zur Entwicklung/Empfehlung von Kriterien zur Darstellung der Nachhaltigkeit von PV durchgeführt. Diese wird gemeinsam von der österreichischen und der spanischen Vertretung geleitet.

3. Das IEA Photovoltaic Power Systems Programm

Das IEA Photovoltaic Power Systems Programm (IEA-PVPS, seit 1993) ist eines der gemeinschaftlichen Forschungs- und Entwicklungsprojekte der Internationalen Energieagentur. Ziel ist die Beschleunigung der Entwicklung und Anwendung der Photovoltaik als maßgebliche und nachhaltige erneuerbare Energiequelle. IEA-PVPS stellt die weltweit größte Plattform an PV ExpertInnen dar. In den acht derzeit aktiven Tasks arbeiten gesamt weit über 150 ExpertInnen aus 28 Ländern. Österreich ist derzeit an 6 Tasks (1, 11,12, 13, 14, 15) aktiv beteiligt.

Das IEA-PVPS Programm stimuliert Aktivitäten, die

- Kosten von Photovoltaik Anwendungen senken,
- Wert und Rolle der PV für EntscheidungsträgerInnen deutlicher sichtbar machen,
- Hindernisse der breiteren Anwendung abbauen; und
- Kooperationen zwischen den OECD Ländern und mit anderen Ländern in technischen und nichttechnischen PV Themen stärken.

Österreich ist seit Beginn im IEA-PVPS Programm engagiert. Laufende Aktivitäten sind:

- ExCo: Die Mitarbeit im IEA-PVPS wird seit 2001 von H. Fechner (Technikum Wien) koordiniert. Seit 2011 ist Hubert Fechner stellvertretender Leiter des IEA PVPS Programmes.
- Task 1: Exchange and dissemination of information on photovoltaic power systems (H. Fechner, Technikum Wien)
- Task 11: PV hybrid systems within mini-grids (C. Mayr, AIT) 2012 abgeschlossen
- Task 12: PV Sustainability (S. Schidler, Technikum Wien)
- Task 13: Performance and Reliability of Photovoltaic Systems (K. Berger u. S. Zamini, AIT; G. Wallner IPMT; G. Oreski, PCCL)
- Task 14: High Penetration of PV Systems in Electricity Grids (R. Bründlinger, C. Mayr, AIT – beide sind Operating Agents deses Tasks).
- Task 15: Building Integrated Photovoltaic Systems (P. Illich, Technikum Wien)

3.1. Der IEA PVPS Task 12

Ein Ziel des IEA PVPS Task 12 ist es, internationale Zusammenarbeit im Bereich der Nachhaltigkeit von Photovoltaik zu unterstützen. Die in Task 12 vertretenen Staaten sind: Österreich, China, Frankreich, Großbritannien, Japan, Korea, Norwegen, Spanien, Schweden, Schweiz, die Niederlande und die USA. Darüber hinaus sind SolarPower Europe (ehemals European Photovoltaic Industry Association) und First Solar Mitglieder des Task. Insgesamt besteht das Team des Task aus 17 aktiven ExpertInnen.

Abbildung 2:Ein Teil der ExpertInnengruppe des Task 12 in einer Forschungseinrichtung in Osaka (11/17)

Inhaltliche Ziele sind die Bereitstellung von umwelt- gesundheits- und sicherheitsrelevanten Informationen sowie zu sozioökonomische Impacts über den gesamten Lebenszyklus der Photovoltaik - für die Öffentlichkeit ebenso wie für EntscheidungsträgerInnen.

Für das weitere Marktwachstum im Bereich der Photovoltaik ist es wichtig sowohl für die sorgfältige Planung und Bewilligung von großen PV-Anlagen als auch für die Information von KundInnen über Auswirkungen von PV auf Umwelt, Gesundheit und Sicherheit Informationen bereit zu stellen. Dies ist einerseits wichtig, um das Vertrauen in die Technologie zu stärken und andererseits EntscheidungsträgerInnen zu unterstützen.

Darüber hinaus setzen die Aktivitäten des Task Standards sowohl für HerstellerInnen als auch BereitstellerInnen, die eine Verbesserung der Prozesse entlang der Wertschöpfungskette hinsichtlich aller Dimensionen der Nachhaltigkeit fördern können. Dazu wurden folgende Ziele definiert:

Unterstützung der Verbesserung des Abfallmanagements durch Aktivitäten zu Sammlung und Recycling, inklusive rechtlicher Entwicklungen und der Entwicklung von technischen Standards. Das geschieht im Wesentlichen durch *proaktive Forschung und Unterstützung von Industrie- und Regulierungsaktivitäten.*

Quantifizierung der Umweltwirkungen von PV-Strom, um einerseits die Wertschöpfungskette zu verbessern und andererseits den Vergleich mit der Umweltwirkung anderer Energiebereitstellungstechnologien zu ermöglichen. Dazu werden *Lebenszyklusanalysen* durchgeführt, die Emissionen, Rohstoff- und Energieeinsatz entlang der gesamten Wertschöpfungskette aufzeigen.

Definition von und Arbeit an technischen Fragestellungen und solchen die die Wahrnehmung der Technologie in der Gesellschaft bestimmen, welche wichtig für das Marktwachstum ist. Hier werden *Empfehlungen zu Good Practices* in Bezug auf Umwelt-Gesundheit-Sicherheit - Nachhaltigkeit entlang der Wertschöpfungskette entwickelt und Unterstützung von PV-Unternehmen in diesem Feld durchgeführt.

Disseminierung der Ergebnisse der Analysen an alle Stakeholder und die Öffentlichkeit durch Veröffentlichungen, Vorträge, Factsheets, Unterstützung von Netzwerken und Medien.

Die Basis zu diesen Aktivitäten wird in 3 Subtasks entwickelt[10]:

- Subtask 1: Recycling of Manufacturing Waste and Spent Modules,
- Subtask 2: Life Cycle Assessment (LCA),
- Subtask 3: Other Sustainability Issues

Der österreichische Beitrag zu Task 12 lag vor allem in Subtask 2 - LCA und Subtask 3 – Other Sustainable Issues. Im Themenbereich LCA werden neben dem Einbringen der Expertise in die Entwicklung von methodischen Leitfäden – wie zu LCA von Photovoltaik - auch Daten aus nationalen Projekten zur laufenden Verbesserung von Datenbanken wie ecoinvent sowie der Studien des ExpertInnenteams bereitgestellt.

Die Implementierung weiterer Kriterien der Nachhaltigkeit über die quantifizierbaren Umweltwirkungen hinaus, ist ein weiteres Thema das seitens der österreichischen Vertretung eingebracht wurde. Dieses Thema wird in Zukunft unter österreichischer und spanischer Leitung weiter bearbeitet werden. Diskussionen und Recherchen dazu sind aktuell in Arbeit.

Zur Disseminierung wurden auf verschiedenen Veranstaltungen der Task und seine Themen vorgestellt, sowie VertreterInnen zu Vorträgen eingeladen. In Wien wurde ein internationaler Vernetzungs-Workshop veranstaltet, der den Erfahrungs- und Wissensaustausch zwischen Taskmitgliedern und nationalen ExpertInnen ermöglichte.

3.1.1. Methoden - Lebenszyklusanalyse

Schwerpunkte des Task 12 und hier im Besonderen Subtask 2 sind Methodenentwicklung und Datenrecherche bzw. -bereitstellung für LCAs, Harmonisierung von Methoden, die Erstellung von Leitfäden etc. Basis des methodischen Vorgehens bildet das Rahmenwerk der ISO 14040 und 14044. Dieses Rahmenwerk gibt die Vorgehensweise bei der Erstellung von Lebenszyklusanalysen vor.

[10] Diese Struktur wurde im Berichtszeitraum verändert. Davor waren die Arbeiten in 4 Subtasks (Recycling, LCA, Sicherheit, Disseminierung) organisiert. Sicherheit ist nun Teil der Nachhaltigkeitsthemen, Disseminierung ist Teil jedes Subtasks.

Die folgende Abbildung zeigt das systematische Vorgehen in 4 Schritten.

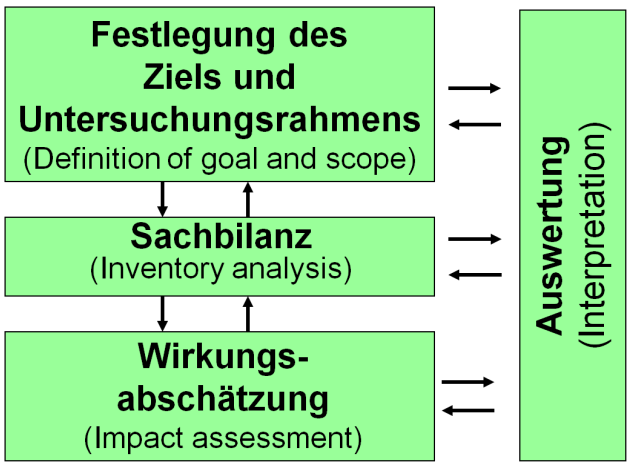

Abbildung 3: Phasen der Ökobilanz nach ISO 14040[11]

Schritt 1: Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens

Der erste Schritt bei der Erstellung einer Lebenszyklusanalyse ist die Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens (Anwendungsbereich, Erkenntnisinteresse, Zielgruppe(n), Vergleichsszenarien/Öffentlichkeitsarbeit).

Neben der *Zieldefinition* müssen das Produktsystem sowie die technischen, geografischen und zeitlichen *Systemgrenzen* eindeutig beschrieben werden. Zur Beschreibung des Produktsystems eignet sich am besten ein Systemfließbild, in dem die Prozessmodule und ihre Wechselbeziehungen dargestellt werden. Das Systemfließbild ist eine grafische Darstellung des untersuchten Produktsystems, wobei jedes Kästchen einen Prozess darstellt und die verbindenden Pfeile zwischen diesen Prozessmodulen die funktionale Abhängigkeit untereinander symbolisiert. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft die Prozesskette für kristalline PV-Module. Wichtig ist dabei auch die Berücksichtigung der Transporte, die zwischen den Prozessen stattfinden.

[11] Bundesamt für Umwelt, 2014, Bundesamt für Umwelt – Konsum und Güter. http://www.bafu.admin.ch/wirtschaft/15627/15628/index.html?lang=de;

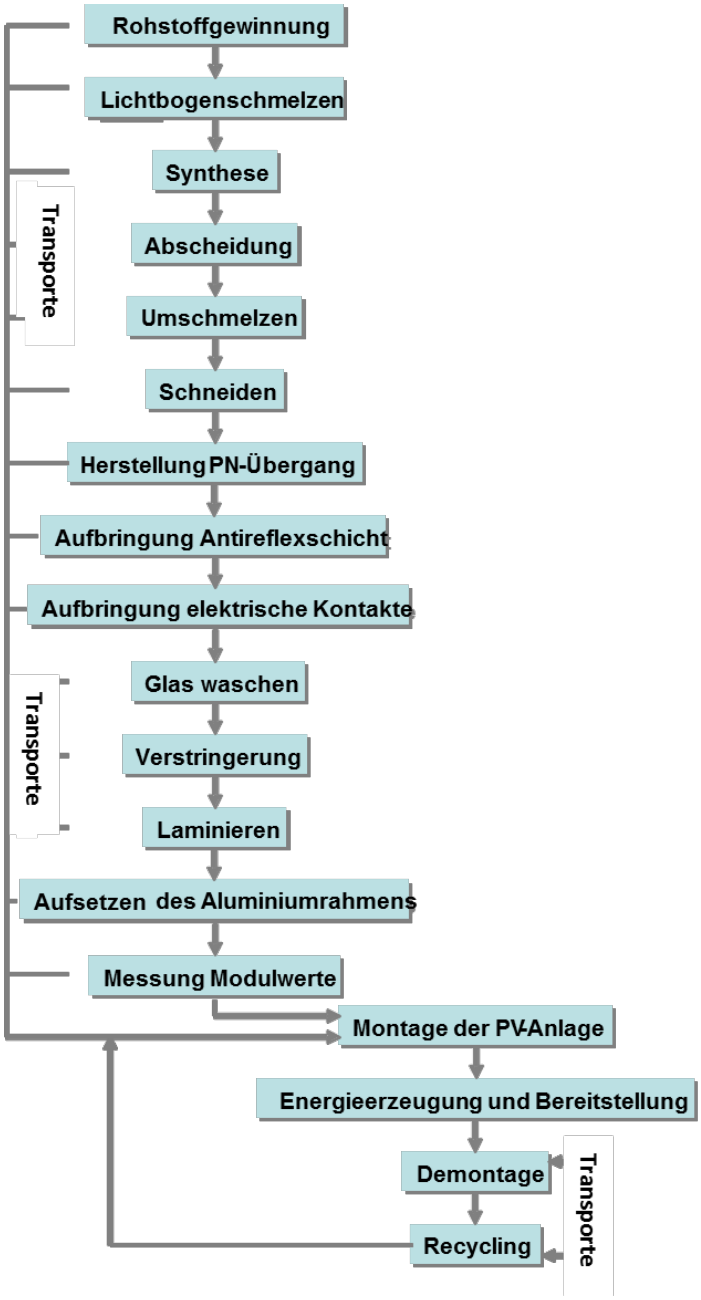

Abbildung 4: Prozesskette für die Herstellung kristalliner PV-Module (eigene Darstellung)

Die technischen Systemgrenzen dienen dazu, festzulegen, welche Stoff- und Energieströme in der Sachbilanz berücksichtigt werden und welche nicht.

Für *PV* wird empfohlen die gesamte Anlage inklusive Modulen, Aufständerungen, Wechselrichtern, Verkabelung usw. zu betrachten, jedoch nicht die Backup Systeme.[12] Die Herstellung der Teile von der Rohstoffgewinnung an ist einzubeziehen, nicht jedoch alle Aktivitäten in Zusammenhang mit

[12] R. Frischknecht, G. Heath, M. Raugei, P. Sinha, M. de Wild-Scholten, V. Fthenakis, H. C. Kim, E. Alsema and M. Held, 2016, Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity, 3rd edition, IEA PVPS Task 12, International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. Report IEA-PVPS T12-06:2016, ISBN 978-3-906042-38-1, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=369&eID=dam_frontend_push&docID=3607

Administration, Handel usw. Die Herstellungsinfrastruktur wie Gebäude, Maschinenhallen usw. kann im Falle der Datenverfügbarkeit berücksichtigt werden, muss dann jedoch transparent dokumentiert werden.

Um diese Entscheidung nachvollziehbar und transparent treffen zu können, werden in der Norm ISO14044 ff. die *Abschneidekriterien* Masse-, Energie und Umweltrelevanz genannt. Zusammengefasst gilt, dass Stoff- und Energieströme, deren Masse- und Energieanteil am Gesamtsystem geringer als 1 % ist, nicht berücksichtigt werden müssen. In Summe darf der abzuschneidende Anteil pro Prozessmodul 5 % nicht überschreiten. Bevor ein Stoff- oder Energiestrom aufgrund des Massen- oder Energieanteils abgeschnitten wird, ist noch dessen Umweltrelevanz zu überprüfen. Damit soll verhindert werden, dass z. B. hochtoxische Stoffe oder Emissionen aufgrund eines geringen Masse- oder Energieanteils vernachlässigt werden. Die geografischen und zeitlichen Systemgrenzen beeinflussen in erster Linie die Datenerhebung. Es wird festgelegt, woher die Stoff- und Energieströme stammen und für welche Zeitspanne sie gelten.

Bei einer Ökobilanz werden immer Systeme mit vergleichbarem Nutzen und nicht konkrete Produkte oder Dienstleistungen bewertet bzw. verglichen. Dieser vergleichbare Nutzen wird durch die *funktionelle Einheit* beschrieben. Die funktionelle Einheit ist laut ISO 14040 der Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit in einer Ökobilanz-Studie. Sie beschreibt, welchen Nutzen das Produktsystem erfüllt und ermöglicht damit einen technologie- oder produktunabhängigen Vergleich. Dadurch können Produkte und Dienstleistungen miteinander verglichen werden, wenn diese denselben Nutzen erfüllen (ISO 14040).

Für LCAs im Bereich der *PV* eignet sich als funktionelle Einheit, wie schon einleitend angeführt, „kWh“ für den Vergleich von Anlagen – auch mit anderen energiebereitstellenden Technologien, „m²“ für den Vergleich von Gesamtanlagen über deren Flächenverbrauch. Für den Vergleich von PV-Technologien selbst eignet sich der Flächenparameter aufgrund von Unterschieden in Effizienz von Modulen und Wechselrichtern sowie der Nutzungsgrade nicht.

Abschließend wird festgelegt, welche *Wirkungskategorien* in der Studie angewendet werden sollen. Eine Wirkungskategorie stellt dabei eine Klasse dar, die wichtige Umweltthemen repräsentiert und der Sachbilanzergebnisse zugeordnet werden können. So werden z. B. der Wirkungskategorie „Treibhauseffekt“ alle Treibhausgasemissionen zugeordnet und auf eine einzige Bezugsgröße (Global Warming Potential in kg CO_2-Äquivalente) umgerechnet um den Einfluss auf die Klimaerwärmung quantifizieren bzw. beurteilen zu können. Bei der Datenerhebung sind die gewählten Wirkungskategorien zu berücksichtigen.[13]

Schritt 2: Erstellung der Sachbilanz

Laut ISO 14040 ist die Sachbilanz jener Bestandteil der Ökobilanz, im Zuge dessen die Zusammenstellung und Quantifizierung der Inputs und Outputs eines Produktsystems erfolgt. Ziel der Sachbilanz ist die Berechnung der kumulierten Emissionen (Outputs) und Ressourcenverbräuche (Inputs) über den Lebensweg des zu untersuchenden Produktsystems. Dazu erfolgt eine oftmals vereinfachte Systemanalyse der Stoff- und Energieströme des Produktsystems aufbauend auf dem bereits identifizierten Systemfließbild bzw. dessen Prozessmodulen. In einem weiteren Schritt werden die In- und Outputs für jedes Prozessmodul sowie deren Menge genau spezifiziert. Um die

[13] Klöpffer, W., Grahl, B., 2009, Ökobilanz (LCA): Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. Wiley, Weinheim

Daten der gesamten Sachbilanz nicht „von Grund auf“ neu erheben zu müssen, können Ökobilanz-Datenbanken (z. B. ecoinvent) verwendet werden. Solche Datenbanken beinhalten bereits Ökobilanz-Daten für unzählige Prozesse. Softwareprogramme für Ökobilanzen vereinfachen die Erstellung der Sachbilanz.[12]

Schritt 3: Durchführung der Wirkungsabschätzung

Eine Ökobilanz dient dazu, die Umwelteinflüsse und potenziellen Umweltwirkungen, die mit einem Produktsystem zusammenhängen, zu erfassen und zu quantifizieren.[11] Während Umwelteinflüsse bzw. -aspekte die Ursachen beschreiben, beschreiben die Umweltwirkungen die dadurch eintretende Veränderung der Umwelt.[14] Die Sachbilanz liefert dabei die Umwelteinflüsse (z. B. Energieverbrauch). Im Zuge der Wirkungsabschätzung werden daraus die potenziellen Umweltauswirkungen abgeleitet, sprich es werden Größe und Bedeutung potenzieller Umweltwirkungen beurteilt.[15]

Schritt 4: Auswertung und Interpretation

Im letzten Schritt erfolgt die Interpretation der Ergebnisse. Zusätzlich werden Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen durchgeführt, um die Stabilität der Ergebnisse zu überprüfen und deren Unsicherheiten abzuschätzen oder zu quantifizieren. Unsicherheiten können sich aus den Annahmen und Entscheidungen, den erfassten Daten sowie den Bewertungsfaktoren der verwendeten Bewertungsmethoden ergeben.

Im Rahmen der Leitfadenerstellung bzw. deren Überarbeitung wurde und wird diese Vorgehensweise für PV-Komponenten konsistent gestaltet. Das Ziel ist es dabei, unterschiedliche Herangehensweisen zu harmonisieren und Anleitungen in Form von speziellen Parametern und Annahmen, Systemgrenzen und funktioneller Einheit zu entwickeln. Zudem liefern umfangreiche Recherchen zu Inputströmen der einzelnen Prozesse und deren Aufbereitung zur Veröffentlichung bzw. Lesbarkeit in LCA-Tools, die Grundlage für die Erstellung von LCAs. Die Recherchen erfolgen dabei direkt bei HerstellerInnen, in Literatur und Internetrecherchen, Annahmen werden durch die Expertise der Task Mitglieder und durch Einbeziehung von externen ExpertInnen abgesichert.

3.1.2. Methoden – Entwicklung von sozioökonomischen Nachhaltigkeitskriterien für PV

Der folgende Ablauf zeigt die im ExpertInnenteam vereinbarte Vorgangsweise zur Entwicklung von sozioökonomischen Nachhaltigkeitskriterien für PV-Module.

Umfangreiche internationale Literaturrecherche

Eine umfangreiche Literaturrecherche auf internationaler Basis wurde durchgeführt. Die Recherche wurde im ersten Schritt so offen wie möglich gehalten um ein möglichst breites Feld von Indikatoren zu erhalten. Erfasst wurden die in den angeführten Studien verwendeten Indikatoren zur Messung von sozialen und ökonomischen Auswirkungen von Energieerzeugungstechnologien. Die Indikatoren wurden anschließend einerseits durch UNEP – Indikatoren [16]ergänzt, andererseits fand im Rahmen der PVSEC-ASIA ein Workshop mit Stakeholdern statt, bei dem die Indikatoren diskutiert und

[14] Springer Gabler Verlag, 2015, Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Umweltaspekte. http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/222042/umweltaspekte-v6.html
[15] Klöpffer, W., Grahl, B., 2009, Ökobilanz (LCA): Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. Wiley, Weinheim
[16] https://www.unenvironment.org

bewertet wurden (s. Kap 4.3). Die Recherche zu Methoden zur Berechnung der Indikatoren wird eben falls offen durchgeführt. Die

Schritt 2: Entwicklung von Filterkriterien

Eine zu große Zahl von Indikatoren führt meist dazu, dass diese Bewertungssysteme selten angewendet werden. Um die Zahl der Indikatoren einzuschränken, wurden Filterkriterien vereinbart welche Einschluss, Ausschluss (A/E) oder Charakterisierung (C) der einzelnen Indikatoren bestimmen. Diese Kriterien waren: Relevanz für PV – Anlagen/Module (A/E), bereits erfolgte Anwendung für PV – Anlagen/Module (C), Relevanz für PV Stakeholder (A/E), quantitative Darstellung der Messgrößen (A/E), lokal oder netzbezogene Größen (A/E), Lebenszyklusbezug (A/E), peer-reviewte Literatur (A/E), weite Verbreitung der Nutzung (A/E). Die Filterkriterien wurden in unterschiedlichen Kombinationen angewendet um ein einfaches aber repräsentatives Sample von Kriterien zu erhalten (s. Kap 4.3)

Schritt 3: Recherche von Methoden um die Werte für die Indikatoren zu bestimmen

Die Methoden wurden auf die gleiche Weise recherchiert.

Schritt 4: Entwicklung von Filterkriterien für die Wahl der Methoden

Die Filterkriterien für die Auswahl der Methoden sind – hier sind alle Kriterien Ausschluss/Einschuss Kriterien außer der Gültigkeit für OECD oder/und nicht OECD Staaten: Akzeptanz (weite Verbreitung der Nutzung, Anwendbarkeit für EntscheidungsträgerInnen, Akzeptanz bei Stakeholdern), Robustheit und Glaubwürdigkeit der Ergebnisse (Klarheit bei der Anwendung, Transparenz der Ergebnisse, klare Anleitungen zur Nutzung der Methode, Peer reviewte Literatur), einfache Anwendbarkeit (Tools die die Anwendung unterstützen, Datengrundlage vorhanden, spezielle Expertise notwendig, freier Zugang zu Daten und Software).

4. Ergebnisse des Projektes

Die Ziele der Periode bis 2017 – vor der Verlängerung des Task - wurden grundsätzlich alle erreicht. Der folgende Abschnitt zeigt die Ziele und Ergebnisse dieser Periode und einige der folgenden in der Struktur der Subtasks.

4.1. Subtask 1 – Recycling

In diesem Subtask wurden zu den einzelnen Aktivitäten im Berichtszeitraum 3 Berichte veröffentlicht.

Die Arbeiten zu *Regulierungen und technischen Rahmenbedingungen* basiert auf umfangreichen Recherchen und umfasst neben fundierten Abschätzungen zukünftiger Abfallmengen aus dem PV-Sektor, deren Klassifikation, Abfallmanagementoptionen und Märkte für recycelte Abfälle. Unterschiedliche Regulierungen und Wertschöpfung durch Recycling waren weitere Untersuchungsgegenstände.

Der Bericht zeigt auf, dass die Erfahrungen und Herausforderungen durch Elektronikschrott in der Zukunft Chancen für die Behandlung des PV-Abfalls bieten. Dies ist deshalb wichtig, weil für das Jahr 2050, bei Fortführung des aktuellen Trends bei Neuinstallationen und einer angenommenen Modul-Lebensdauer von 30 Jahren eine Abfallmenge von 5.5 bis 6 Mio t. weltweit prognostiziert wird. Regulierungen gibt es derzeit nur in der Europäischen Union, durch die EU Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Directive, die auch international als Beispiel gelten kann.

Erste Schätzungen zeigen zudem, dass die Wertschöpfung von rückgewonnenen Rohstoffen aus PV-Modulen 2030 ca. 450 Mio betragen könnte, was dem Gegenwert von 60 Mio neuen Panels oder 18 GW entspricht. Für 2050 könnte dieser Wert auf 2 Milliarden Panels oder 630 GW steigen. Diese Zahlen zeigen, dass Rcycling zukünftig einen hohen Stellenwert in der gesamten Wertschöpfungskette von PV-Modulen haben wird.

Damit diese Entwicklung positiv genutzt werden kann ist es jedenfalls nötig den Rohstoffaufwand für die Module zu reduzieren, Märkte für die sekundären Materialien aufzubauen und das Recycling methodisch weiterzuentwickeln. Weiter e notwendige Maßnahmen auf politischer Ebene sind die Implementierung spezieller Abfallmanagementpläne, Infrastrukturausbau und hier besonders die Koordination zwischen Energie und PV-Sektor und die Stärkung von Innovationsprozessen.

Details zu diesen Ergebnissen und Projektionen finden sich unter:
S. Weckend, A. Wade, 2017, End of Life Solar PV Panels, IEA, IRENA, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=381&eID=dam_frontend_push&docID=3123

Eine erste Datengrundlage für die Durchführung von Lebenszyklusanalysen für PV-Module inklusive Recycling wurde 2017 veröffentlicht. Für die Studie wurden 15 Recyclingunternehmen kontaktiert, wovon 5 europäische Unternehmen *LCI Daten* zur Verfügung stellten. Die meisten führen mechanische Prozesse zur Verwertung von Glas oder Metall durch, nur eines setzt auch chemische Prozesse ein. Es zeigte sich, dass diese im Rahmen der WEEE Directive arbeiten. Die Daten zeigen aber auch, dass diese Direktive zu wenig hohe Anforderungen stellt – da es genügt das Glas und den

Rahmen zu recyceln, was die weiteren Wert- oder auch Gefahrenstoffe nicht berücksichtigt. Dies wird sich jedoch voraussichtlich in naher Zukunft ändern. Oft haben die erhaltenen Materialien nicht die nötige Qualität für den Sekundärmarkt. Für die Entwicklung weiteren Wertstoffrecyclings sind höhere Stoffströme notwendig, die dieses ökonomisch darstellbar machen würden (s.o.).

Die Datenverfügbarkeit ist aktuell jedenfalls nicht zufriedenstellend und weitere, detaillierte Untersuchungen sind notwendig.

Die Ergebnisse dazu finden sich unter:
K. Wambach, G. Heath, C. Libby, 2017, Life Cycle Inventory of Current Photovoltaic Module Recycling Processes in Europe IEA PVPS Task12, Subtask 2, LCA Report IEA-PVPS T12-12:2017, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=460

Der Bericht zur *LCA aktueller Recyclingmethoden* beschäftigt sich mit der Umweltwirkung des Recyclings von kristallinen und CaTd Modulen. Wegen der aktuell noch geringen Abfallmengen beschäftigen sich weniger auf PV als auf die Verwertung von laminiertem Glas, Metallen oder elektronischem Abfall spezialisierte Unternehmen mit dem PV-Recycling. Die LCA wurde für jene Indikatoren durchgeführt, die sich bereits in der Vergangenheit als für PV besonders relevant herausgestellt hatten: Feinstaub, Ökotoxizität (aquatisch), Humantoxizität (kanzerogen und nicht-kanzerogen) ,mineralischer/fossiler/erneuerbarer Rohstoffabbau und Klimapotenzial.

Die Umweltwirkungen des Recycling im gesamten Lebenszyklus von kristallinen Modulen sind sehr gering und liegen bei maximal 1,1 % verglichen mit Wirkungen der Produktion (3 kWp, dachmontiert). Bei CdTe Modulen liegt die höchste Wirkung des Recyclings im Klimapotenzial, mit 4,8 % ist dieser Wert jedoch immer noch gering.

Betrachtet man Recycling als Rückgewinnung von Glas, Metallen und Halbleitermaterial von beiden Modultypen zeigt sich, dass diese geringere Belastungen als der Rohstoffabbau der Primärmaterialien bewirkt. Die höchstmögliche Einsparung bietet sich in diese Betrachtung dementsprechend im Indikator Rohstoffabbau.

Die Datenqualität für kristalline Module wird als ausreichend, die der CdTe Module als sehr gut eingestuft.
(Österreichischer Beitrag: Review und Feedback)

Weitere Einzelheiten finden sich unter:
P. Stolz, R. Frischknecht, K. Wambach, P. Sinha, G. Heath, 2017, Life Cycle Assessment of Current Photovoltaic Module Recycling, IEA PVPS Task 12, International Energy Agency Power Systems Programme, Report IEA-PVPS T12- 13:2018, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=462

Als Ergänzung zu den Recherchen zu Recyclingmethoden/technologien und deren Auswirkungen ist eine Recherche zum *Moduldesign for Recycling* für 2019 geplant. Hier geht es um einen Review von Möglichkeiten, die das Recycling unterstützen und erleichtern (Leitung Australien, Mitarbeit Österreich). Erste Recherchen zeigen unterschiedliche Ansätze aber auch unterschiedliche

Definitionen für die den Entwicklungen zugrunde liegenden Begriffe und Anforderungen. Die Planung der Vorgangsweise erfolgt im nächsten Meeting.

4.2. Subtask 2 – LCA

Eine dritte, überarbeitet Version der *LCA Guidelines* wurde veröffentlicht. Die ISO 14040 und 14044 lassen den Anwendern einigen Spielraum bei der Ausführung von Lebenszyklusanalysen. Die Guidelines zielen daher auf die Konsistenz und Harmonisierung der Methode für die Anwendung im PV-Bereich. Sie stellen einen Konsens zwischen Experten aus USA, Europa und Asien über PV-Performance, Prozessinputs und Emissionsallokationen, sowie Assessmentmethoden und Berichterstattung dar. Dies ist deshalb wichtig weil viele Parameter in unterschiedlichen geografischen Zonen variieren. Dies und die Wahl der Systemgrenzen können das Ergebnis signifikant verändern.

Die vorliegende, überarbeitete Version der Guidelines aus 2011 gibt zusätzliche Leitlinien für einge Systemparameter, Modellansätze, Wasserverbrauch, Recycling und erforderliche Berichterstattung. (Österreichischer Beitrag: Review und Feedback)

Zu finden ist diese neue Version unter:
R. Frischknecht, G. Heath, M. Raugei, P. Sinha, M. de Wild-Scholten, V. Fthenakis, H. C. Kim, E. Alsema and M. Held, 2016, Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity, 3rd edition, IEA PVPS Task 12, International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. Report IEA-PVPS T12-06:2016, ISBN 978-3-906042-38-1, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=369&eID=dam_frontend_push&docID=3607

Net Energy Analysis (NEA) ist eine strukturierte umfassende Methode um zu zeigen in welchem Ausmaß eine gegebene Energiequelle die entlang ihrer Wertschöpfungskette investierte Energie wieder erzeugen kann. Das methodische Rahmenwerk lässt dem Anwender jedoch einigen Spielraum bei der Auswahl von Parametern und Annahmen. Die vorliegenden Guidelines wurden entwickelt um Konsistenz und Harmonisierung bei der Berechnung herzustellen.
(Österreichischer Beitrag: umfangreiche Diskussionen zur Methode, Review und Feedback)

Näheres zur Wahl der Parameter und der Annahmen finden sich unter:
M. Raugei, R. Frischknecht, C. Olson, P. Sinha, G. Heath, 2016. Methodological guidelines on Net Energy Analysis of Photovoltaic Electricity, IEA-PVPS Task 12, Report T12- 07:2016, ISBN 978-3-906042-39-8, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=413&eID=dam_frontend_push&docID=3937

Ziel einer weiteren Aktivität war/ist es *ein Web-Service zu entwickeln, das Performance-Karten* für aktuelle und zukünftige Anwendungen an unterschiedlichen Standorten zur Verfügung stellt. Basis dafür sind GIS-Daten verknüpft mit Strahlungsdaten und den überarbeiteten LCI Daten, die in Task 12 laufend recherchiert/entwickelt werden. Standortspezifische LCAs für unterschiedlichste PV-Technologien werden auf der Karte angezeigt. Die Berechnung kann nun für weltweite Standorte und unterschiedlichste Umweltparameter vorgenommen werden. Die Auswahl der Parameter ist noch nicht ganz abgeschlossen, es werden noch verschiedene Methoden getestet. Eine Unterscheidung ist

nicht nur nach Technologien möglich sondern auch Ausrichtung und Aufstellwinkel können variiert werden.

Die Erhaltung des Service ist nun gesichert, die nächste Version soll entweder benutzerdefinierte oder voreingestellte Wertschöpfungsketten berücksichtigen. Die Diskussion dazu ist noch nicht abgeschlossen.
(Österreichischer Beitrag: Test und Review)

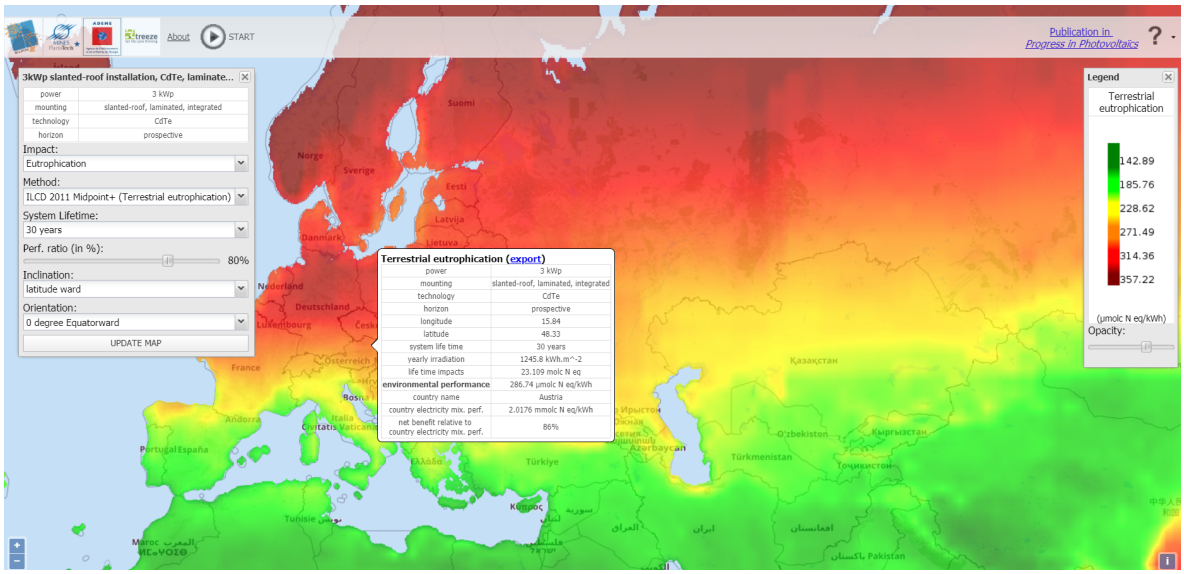

Abbildung 5: Webservice zur Berechnung von Umweltwirkungen

Der Webservice kann aufgerufen werden unter:
http://viewer.webservice-energy.org/project_iea/

Zum *Wasserverbrauch* von PV-Modulen entlang der gesamten Wertschöpfungskette gibt es nur wenige Untersuchungen. Die vorliegende Studie berücksichtigt Wasserverbrauch und Entnahme unter Berücksichtigung der gesamten Wertschöpfungskette der Photovoltaik und der länderspezifischen Wasserverfügbarkeit (und regionalen Verdunstungsraten). Sie basiert auf Daten, die zwischen 2010 und2013 erhoben wurden und bildet die nationalen Anteile der globalen PV-Produktion ab.

Die Ergebnisse zeigen einen Wasserverbrauch für dachmontierte, europäische monokristalline PV Systeme von ca. 1,5 l/kWh und für CdTe Systeme 0,25 l/kWh. Die Entnahme aus der Natur wird mit 7,2 l/kWh für monokristalline und mit ,73 l/kWh für CdTe beziffert. Der Water Stress Impact (Berechnet mit der AWARE methode - Available WAter REmaining) wird für monokroistalline Systeme mit 32 l water-equ/kWh - das liegt etwas im Bereich eines Wasserkraftwerks (Speicherkraftwerk) und für CdTe Systeme mit 2,3 l water-equ/kWh angegeben. Der Water Stress Impact von europäischen Kohlekraftwerken liegt im Vergleich dazu bei 170 l water-equ./kWh, der eines Kernkraftwerkes bei 69 l water-eq/kWh.

Betrachtet man die unterschiedlichen Prozesse in der Wertschöpfungskette der PV Module so sieht man dass 82 % (monokristallin) und 78 % (CdTe) des Water Stress Impact dem Energieverbrauch bei der Erzeugung der Module zuzurechnen sind. Beim Materialinput liegen die Anteile bei 2 %

(monkristallin) und 29 % (CdTe), beim Prozess und Kühlwasserbedarf bei 16 % (monkristallin) und 3 % (CdTe).
(Österreichischer Beitrag Review und Feedback)

Genaueres z. B. zur angewendeten Methode und den zugrunde liegenden Daten finden sich untern: P. Stolz, R. Frischknecht, G. Heath, K. Komoto, J. Macknick, P. Sinha, A. Wade, 2017, Water Footprint of European Rooftop Photovoltaic Electricity based on Regionalised Life Cycle Inventories, IEA PVPS Task 12, International Energy Agency Power Systems Programme, Report IEA-PVPS T12-11:2017, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=462&eID=dam_frontend_push&docID=4259

4.3. Subtask 3 – Other sustainable issues

Unter der Leitung von Spanien und Österreich wird eine Recherche zu *soziökonomischen Nachhaltigkeitsindikatoren für PV* durchgeführt. Ziel ist es, ein Sample von Indikatoren zur Verfügung zu stellen, anhand derer die Nachhaltigkeit von PV dargestellt werden kann.

Eine umfangreiche Recherche ergab eine Liste von rund 100 Indikatoren. Diese wurden anhand der im Kapitel 3.1.2 genannten Filterkriterien reduziert. Es stellte sich heraus, dass die Anwendung aller Kriterien zu restriktiv war und die Zahl der Indikatoren danach zu gering. Nach Diskussion mit den ExpertInnen des Task 12 wurde folgende Filterung als anwendbar ausgewählt:

Die Indikatoren müssen relevant für die PV Technologie sein, quantitativ, den gesamten Lebenszyklus einbeziehen und mit guter Qualität (reviewed) veröffentlicht worden sein. Das Filterkriterium lokal/regional/überregional wurde nicht angewendet, da sich das für viele vor allem soziale Kriterien nicht abgrenzen lässt.

In einem ExpertInnenworkshop im Rahmen der PVSEC ASIA in OTSU (11/17) wurde eine vorläufige Liste der Indikatoren vorgestellt und mit den ExpertInnen diskutiert. Anschließend wurde eine Punktebewertung durchgeführt um die Relevanz der Indikatoren festzustellen. Es nahmen ungefähr 50 Personen aus allen Bereichen der PV teil. Es zeigte sich, dass für alle Beteiligten klar war, dass die sozioökonomischen Aspekte der Technologie in den bisherigen Betrachtungen unterrepräsentiert waren, jedoch einen wichtigen Faktor für die weitere Marktentwicklung darstellen.

Die Ergebnisse des Workshops zeigen die folgenden Abbildungen:

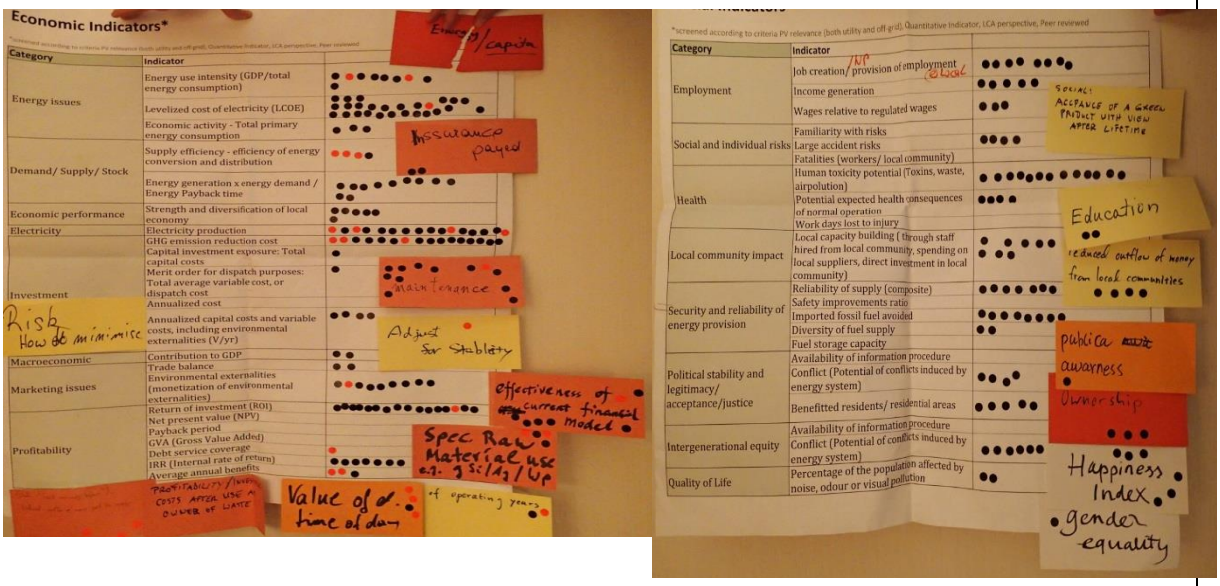

Abbildung 6: Ergebnisse des ExpertInnenworkshops im Rahmen der PVSEC in Otsu

Es zeigt sich, dass es deutlich mehr Erfahrungen mit ökonomischen als mit sozialen Indikatoren gibt. Dennoch wurden die meisten der vorgeschlagenen Indikatoren bestätigend als wichtig eingestuft. Auch die Diskussionen und Ergänzungen (Kärtchen) zeigten die Relevanz des Themas auf. Im Bereich der sozialen Indikatoren wurde mehrfach vorgeschlagen diese um qualitative zu erweitern, da hier auch Werte und Ethik eine Rolle spielen und nicht alles messbar erscheint.

In den nächsten Schritten werden nun die Indikatorenlisten überprüft, um allfällige Indikatoren des UNEP[17] ergänzt, wie beschrieben gefiltert und den Sustainable Development Goals[18] gegenüber gestellt. Dann werden Methoden zur Berechnung der Indikatoren festgelegt.

In weiterer Folge sollen die vorgeschlagenen Indikatoren und Methoden durch Anwendung auf Fallstudien überprüft werden. Mittelfristiges Ziel ist die Entwicklung von Empfehlungen ähnlich denen der bereits bestehenden Leitfäden.

Zu den *Risiken der PV bei Brand* wurden 2 Studien durchgeführt. Ziel der ersten Studie war die Entwicklung von Empfehlungen zu international einheitlichen Leitlinien, Maßnahmen, und Standards zur Vermeidung von Gefahren im Brandfall. Inhalt sind Recherchen zu Feuer und PV. Ein Review zu unterschiedlichen Praktiken, Leitlinien, Standards, Empfehlungen und Normen für Feuerwehr, Industrie und AnlagenbetreiberInnen auf internationaler Ebene wurde durchgeführt. Seitens der Task 12 Mitglieder wurden nationale Reviews durchgeführt und teilweise übersetzt zur Verfügung gestellt. Die Recherchen zeigten eine Vielzahl unterschiedlicher aber auch ähnlicher Maßnahmen auf internationaler Ebene. Die Maßnahmen reichen von Informationen für die Feuerwehrkräfte bis zu technischen Maßnahmen wie Atemschutz oder Schutzschalter und baulichen Maßnahmen wie Aufstiegshilfen auf Dächern.
(Österreichischer Beitrag: umfassende Recherche zu Normen und Richtlinien zu Brandschutz und PV. Übersetzung einiger Dokumente. Veranstaltung eines Workshops zu Feuersicherheit im Rahmen eines Vernetzungsworkshops in Wien)

[17] https://www.unenvironment.org
[18] https://www.unenvironment.org/annualreport/2015/en/sustainable-development-goals.html

Die Studie findet sich unter:
S. Namikawa, 2017, Photovoltaics and Firefighters' Operations: Best Practices in Selected Countries IEA PVPS Task 12 Report IEA-PVPS T12-09:2017 April 2017 ISBN 978-3-906042-60-2, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=449&eID=dam_frontend_push&docID=4044

Die zweite Studie behandelt die Risiken durch austretende Dämpfe und Chemikalien bei Feuer. Sie beschränkt sich auf die Stoffe Blei (kristallin), Selen (CIS) und Cadmium (CdTe). Es wurden sowohl Ausbreitungsmodelle als auch Persistenzfaktoren und Risikocharakterisierungen entwickelt.

Genaue Daten und Modelle finden sich unter:
P. Sinha, G. Heath, A. Wade, K. Komoto, 2018, Human health risk assessment methods for PV, Part 1: Fire risks, International Energy Agency (IEA) PVPS Task 12, Report T12-14:2018. http://www.iea-pvps.org/index.php?id=496&eID=dam_frontend_push&docID=4468

In der nächsten, bereits laufenden Studie werden die Risiken durch das Leaching dieser drei Stoffe im Falle von Gebrechen bearbeitet. Während sich diese Arbeit auf die Materialien und Stoffe der Kontakte und Halbleiter konzentriert ist zukünftig geplant auch das Leaching aus den Kunststoffolien zu betrachten, das zunehmend in Diskussion gerät.[19], [20]

5. Vernetzung und Ergebnistransfer

Die Arbeiten im PVPS fokussieren auf die Zielgruppen Regierung, EnergieversorgerInnen, Energieunternehmungen, HerstellerInnen sowie andere öffentliche und private KonsumentInnen.

Vorgestellt wurden der Zielgruppe die Inhalte, Ziele, Ergebnisse sowie beteiligte Personen des Task 12 bei folgenden Veranstaltungen:

- Österreichische PV Tagung 11/2016 sowie 11/2017
- Vernetzungsworkshop Sustainable PV (19.3.2018) im Rahmen des PV Kongresses (20.2.2018)

Ziel war es dabei einerseits die Aktivitäten und Themen sichtbar zu machen, die international von Bedeutung sind, andererseits sollten die verantwortlichen Personen vorgestellt werden. Damit sollte auch die Möglichkeit aufgezeigt werden, im Rahmen der vorgestellten Themen Kooperationen zu planen. Die enge Verknüpfung der MitarbeiterInnen des Forschungsbereichs Renewable Energy Systems mit diesen Gremien und Plattformen stellt darüber hinaus die Verbreitung von Informationen und Ergebnissen aus Task 12 Arbeiten und Veröffentlichungen sicher.

[19] OECD,2013, OECD/UNEP Global PFC Group, Synthesis paper on per- and polyfluorinated chemicals (PFCs). Environment, Health and Safety, Environment Directorate, OECD. https://www.oecd.org/env/ehs/risk-management/PFC_FINAL-Web.pdf

[20] KEMI, 2015, Occurrence and use of highly fluorinated substances and alternatives Report from a government assignment. Report, https://www.kemi.se/en/global/rapporter/2015/report-7-15-occurrence-and-use-of-highly-fluorinated-substances-and-alternatives.pdf

Darüber hinaus fließen Inhalte in diverse Lehrveranstaltungen im Masterstudiengang „Urbane Erneuerbare Energiesysteme“ wie zum Beispiel „LCA“, „Ökologie und Gesellschaft“ oder „Ökologische und Ökonomische Bewertungsverfahren“ ein und können so zukünftig im beruflichen Umfeld eingebracht werden. Das Gleiche gilt für den Bereich der Erwachsenen/Weiterbildung für Unternehmen. Hier sind beispielsweise das Qualifizierungsnetz „HdZ2Market“ und die Innovationslehrveranstaltung „smart(D)er“ zu nennen.

5.1. Internationaler Vernetzungsworkhop Sustainable PV

Ziel dieses Workshops war die Vernetzung von nationalen und internationalen ExpertInnen im Bereich der Nachhaltigkeit sowie Umweltbewertungen und Recyclingfragen für Photovoltaik und bauwerkintegrierter Photovoltaik. Die Veranstaltung wurden von österreichischen VertreterInnen der genannten Tasks organisiert.

Am Vormittag wurden neben aktuellen Arbeiten und Ergebnissen aus den IEA PVPS Tasks 12 (Sustainability), 13 (Reliability) und 15 (BIPV) auf internationaler Ebene auch wesentliche, nationale F&E Aktivitäten aus diesem Bereich innerhalb des Workshops vorgestellt und diskutiert. Die Keynote wurden von Andreas Wade (Solar Power Europe - Task 12) zum Thema Nachhaltigkeit von PV gehalten. Er gab einen Überblick über die Anforderungen des Klimawandels an die Gesellschaft und welche Rolle PV dabei spielen kann. Rolf Frischknecht (Schweiz – Task 12) zeigte die Wichtigkeit sozioökonomischer Faktoren für die Entwicklung von PV (Märkten) auf. Nationale ExpertInnen präsentierten Ergebnisse aus Task 13 und 15 sowie laufende Projekte zu den Themen Recycling und Reduktion toxischer Substanzen in PV Modulen.

Der Nachmittag war der Identifikation von Schnittstellen und Synergien zwischen den verschiedenen Tasks gewidmet. Aufbauend auf diese Diskussionen wurde eine Kooperation zwischen Task 13 und 12 geplant. Performancedaten aus Task 13 können die LCA Studien aus Task 12 Unterstützen. Zudem ist Eco design ein gemeinsames Thema.

Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse der Diskussion.

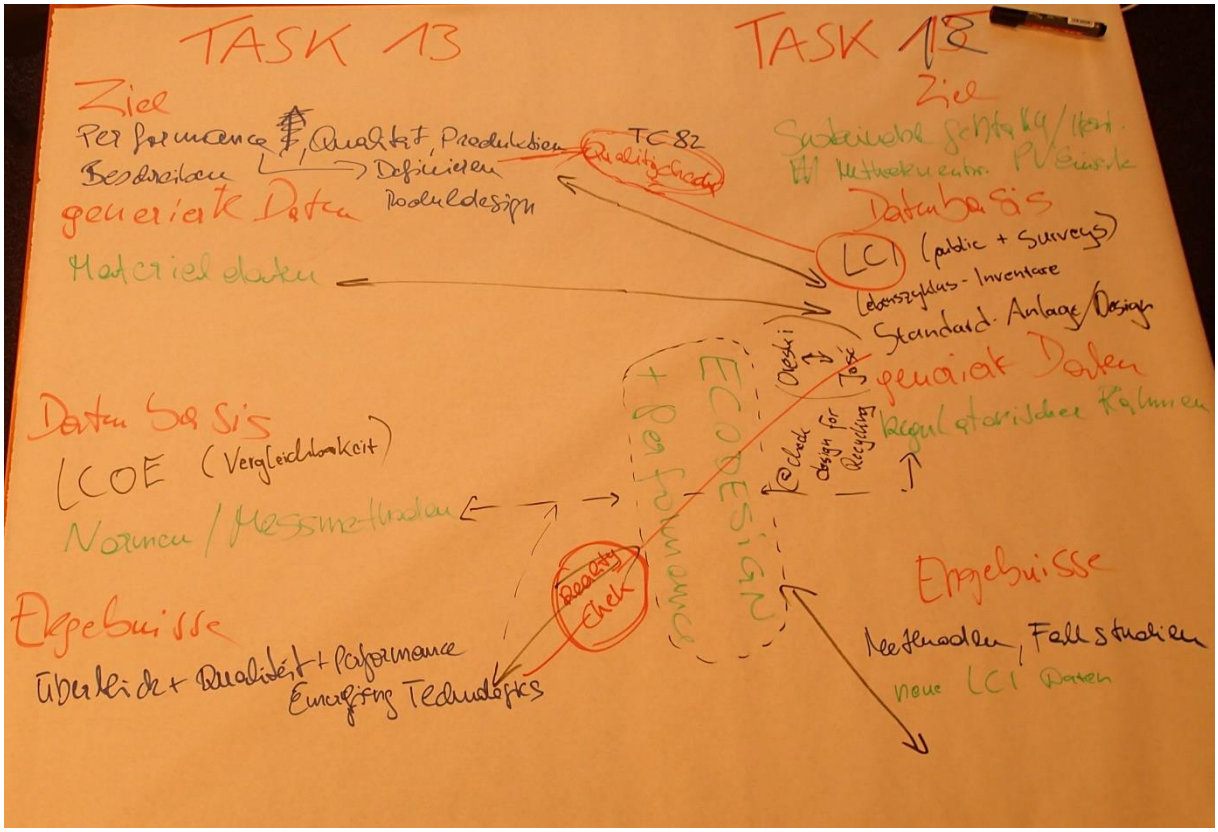

Abbildung 7: Schnittstellen, Synergien und Kooperationsmöglichkeiten zwischen Task 12 und Task 13

5.2. Nutzen der österreichischen Beteiligung am IEA PVPS Task 12

LCAs bilden einen wichtigen Baustein für die Bewertung der Umweltwirkung von PV. Diese Bewertungen gewinnen zunehmend an Bedeutung. Die Harmonisierung von Vorgangsweisen, Inputparametern, Systemgrenzen usw., stellt eine wichtige Grundlage für die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Studien dar.

Die Untersuchungen im Bereich Recycling bieten einen *umfassenden Überblick* über internationale, rechtliche und technische Lösungsansätze. Das gleiche gilt für die Untersuchungen im Bereich der Sicherheit. Die Mitarbeit Österreichs in Task 12 bietet die Möglichkeit die Ergebnisse den Zielgruppen zeitnahe vor- und zur Verfügung zu stellen. Anhand beschriebener Best Practice Lösungen ist eine Orientierung für die Erarbeitung von Modellen möglich. Hier können und sollen auch österreichische Lösungsansätze Eingang finden und in Empfehlungen berücksichtigt werden.

Die *breite Expertise und Internationalität* der ExpertInnengruppe ermöglicht es auch formell und informell aktuelle Probleme und Fragestellungen in die Diskussionen einzubringen und verschiedene Blickwinkel für Lösungsansätze zu erfahren. Die Vertretung des Forschungsbereichs Renewable Energy Systems in mehreren Tasks (1, 12, 15, ExCo) ermöglicht es darüber hinaus unterschiedliche Ergebnisse schnell und eventuell bereits vor Ihrer Veröffentlichung zu verknüpfen und Informationen auszutauschen.

6. Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Die Arbeit in IEA PVPS stellt in erster Linie die *wissenschaftliche Vernetzung* österreichischer mit internationalen PV ExpertInnen dar. Die gewonnenen und geplanten Erkenntnisse sind in den vorangehenden Kapiteln dargestellt.

Die erarbeiteten Erkenntnisse fließen in vielerlei Hinsicht in die weitere Arbeit der ExpertInnen ein. Einerseits können auf der Basis des gewonnenen Wissens *neue Projekte* entwickelt werden, andererseits kann auch das Wissen um noch offene Fragen und aktuelle Probleme neue Ideen zu Projekten anstoßen. Das Wissen fließt überdies in Arbeiten in der Österreichischen Technologieplattform Photovoltaik, anderen Fachgruppen und in die *Aus- und Weiterbildung* ein. Darüber hinaus dienen die über die Mitarbeit in Task 12 hergestellten ExpertInnenkontakte und die dadurch entstandenen persönlichen ExpertInnennetzwerke auch dazu, rasch einen *Wissenstransfer* im PV Bereich sicherzustellen. Besonders das über die EU hinausgehende Netzwerk zu ExpertInnen in Japan, China, Korea und den USA erweitert die üblicherweise auf die EU Forschung konzentrierte Fachexpertise um wesentliche Aspekte.

Für folgende Zielgruppen sind die Ergebnisse interessant bzw. eine Basis für weitere Arbeiten

- Forschungsinstitute, die sich mit dem Thema Photovoltaik und/oder LCA auseinandersetzen
- Die produzierende Photovoltaik-Industrie, die auf Basis der Ergebnisse Prozessoptimierungen hinsichtlich ihrer Umweltwirkung planen kann
- PhotovoltaikplanerInnen, Anlagen-ErrichterInnen, die an der Umweltwirkung ihrer Produkte interessiert sind, bzw. diese kommunizieren wollen
- Die Österreichische Photovoltaik Technologieplattform
- Photovoltaik Austria
- Studierende im Fachbereich Energie/Erneuerbare Energie und die Lehrenden im Fachbereich Photovoltaik und Umweltbewertung
- Die Smart Grid Community, um auch Umwelt und Sicherheitsaspekte berücksichtigen zu können
- Normungsausschüsse besonders in Bezug auf Sicherheitsaspekte
- Die Gruppe die mit der Erstellung der PV Roadmap betraut ist, um auch Umweltaspekte mit einbeziehen zu können
- Die Verantwortlichen im BMVIT, um die strategische Positionierung im Bereich der Photovoltaik F&E im internationalen Kontext optimal vorbereiten zu können

Im Rahmen des neugegründeten IEA PVPS Task 15 - Acceleration of Building integrated Photovoltaics ist ebenfalls ein Subtask zu Umweltwirkungen enthalten (Subtask D). Der Fokus liegt hier auf der Entwicklung einer standardisierten Methode zur LCA von gebäudeintegrierter Photovoltaik sowie zu Grundlagen des Recyclings. Der österreichische Beitrag adressiert die Verknüpfung der in Task 12 gewonnen Erkenntnisse mit den Arbeiten in Task 15. Dies geschieht über die Mitarbeit von 2 Task 12

Mitgliedern, Susanne Schidler (Österreich, Technikum Wien) und Rolf Frischknecht (Schweiz, treeze), als beratende ExpertInnen.

Im Rahmen des Projektes PV Recycling und Repair wird eine Zusammenarbeit von Task 12, 13 und 15, OFI, TU Wien und Joanneum stattfinden.

Mittelfristig sind die Entwicklung von Projekten zum Thema Recycling (Logistik, Umweltwirkung) und/oder die Vergabe von Diplomarbeiten zu diesem Themengebiet geplant.

7. Publikationen des Task 12 seit 2016

Im Berichtszeitraum wurden folgende Publikationen veröffentlicht:

P. Sinha, G. Heath, A. Wade, K. Komoto, 2018, Human health risk assessment methods for PV, Part 1: Fire risks, International Energy Agency (IEA) PVPS Task 12, Report T12-14:2018. http://www.iea-pvps.org/index.php?id=496&eID=dam_frontend_push&docID=4468

P. Stolz, R. Frischknecht, G. Heath, K. Komoto, J. Macknick, P. Sinha, A. Wade, 2017, Water Footprint of European Rooftop Photovoltaic Electricity based on Regionalised Life Cycle Inventories, IEA PVPS Task 12, International Energy Agency Power Systems Programme, Report IEA-PVPS T12-11:2017, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=462&eID=dam_frontend_push&docID=4259

S. Weckend, A. Wade, 2017, End of Life Solar PV Panels, IEA, IRENA, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=381&eID=dam_frontend_push&docID=3123

P. Stolz, R. Frischknecht, K. Wambach, P. Sinha, G. Heath, 2017, Life Cycle Assessment of Current Photovoltaic Module Recycling, IEA PVPS Task 12, International Energy Agency Power Systems Programme, Report IEA-PVPS T12- 13:2018, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=462

K. Wambach, G. Heath, C. Libby, 2017, Life Cycle Inventory of Current Photovoltaic Module Recycling Processes in Europe IEA PVPS Task12, Subtask 2, LCA Report IEA-PVPS T12-12:2017, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=460

S. Namikawa, 2017, Photovoltaics and Firefighters' Operations: Best Practices in Selected Countries IEA PVPS Task 12 Report IEA-PVPS T12-09:2017 April 2017 ISBN 978-3-906042-60-2, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=449&eID=dam_frontend_push&docID=4044

M. Raugei, R. Frischknecht, C. Olson, P. Sinha, G. Heath, 2016. Methodological guidelines on Net Energy Analysis of Photovoltaic Electricity, IEA-PVPS Task 12, Report T12- 07:2016, ISBN 978-3-906042-39-8, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=413&eID=dam_frontend_push&docID=3937

R. Frischknecht, G. Heath, M. Raugei, P. Sinha, M. de Wild-Scholten, V. Fthenakis, H. C. Kim, E. Alsema and M. Held, 2016, Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity, 3rd edition, IEA PVPS Task 12, International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. Report IEA-PVPS T12-06:2016, ISBN 978-3-906042-38-1, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=369&eID=dam_frontend_push&docID=3607

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kumulierte installierte PV-Leistung in kWpeak von 1993 bis 2017 7

Abbildung 2:Ein Teil der ExpertInnengruppe des Task 12 in einer Forschungseinrichtung in Osaka (11/17) 11

Abbildung 3: Phasen der Ökobilanz nach ISO 14040 13

Abbildung 4: Prozesskette für die Herstellung kristalliner PV-Module 14

Abbildung 5: Webservice zur Berechnung von Umweltwirkungen 21

Abbildung 6: Ergebnisse des ExpertInnenworkshops im Rahmen der PVSEC in Otsu 23

Abbildung 7: Schnittstellen, Synergien und Kooperationsmöglichkeiten zwischen Task 12 und Task 13 26

9. Abkürzungsverzeichnis

AIT	Austrian Institute of Technology
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization
CIS	Copper Indium Selen
CdTe	Cadmium Tellurid
CIGS	Kupfer-Indium-Gallium-Schwefel-Selen
CO_2-äqu	Kohlendioxid-Äquivalente
ECN	Energy Research Center of the Netherlands
ExCo	Executive Committee
GEMIS	Globales Emissionsmodell integrierter Systeme
GIS	Geografische Informationssysteme
IEA	Internationale Energie Agentur
IPMT	Institute of Polymeric Materials and Testing (Johannes Kepler Universität Linz)
IRENA	International Renewable Energy Agency
kWh_{el}	Kilowattstunde elektrisch
LCA	Life Cycle Analysis

LCI	Life Cycle Inventory
NEA	Net Energy Analysis
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
OFI	Österreichisches Forschungs- und Prüfinsitut
PCCL	Polymer Competence Center Leoben GmbH
PV	Photovoltaik
PVPS	Photovoltaic Power Systems Programme
PVSEC	Photovoltaic Solar Energy Conference
REC	Renewable Energy Cooperation
Water-equ	Wasseräquivalente (Water Stress)
WEEE	Waste of Electrical and Electronic Equipment

10. Literaturverzeichnis

C. Aumann, 2010, Attributional versus Consequential LC- Eco Efficiency Action Project - Methods, Models, & Analytics for Sustainable Operations Management. http://eco-efficiency-action-project.com/2010/03/01/attributional-versus-consequential-lca/

Bundesamt für Umwelt, 2014, Bundesamt für Umwelt – Konsum und Güter. http://www.bafu.admin.ch/wirtschaft/15627/15628/index.html?lang=de;

P. Biermayr, M.Eberl, M. Enigl, H. Fechner, C. Kristöfel, K. Leonhartsberger, F. Maringer, S.Moidl, C. Schmidl, C. Strasser, W. Weiss, E. Wopienka, E., 2015, Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2017. Berichte aus Energie- und Umweltforschung, 11/2017, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/reports/marktstatistik-2017-endbericht.pdf

R. Frischknecht, G. Heath, M. Raugei, P. Sinha, M. de Wild-Scholten, V. Fthenakis, H. C. Kim, E. Alsema and M. Held, 2016, Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity, 3rd edition, IEA PVPS Task 12, International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. Report IEA-PVPS T12-06:2016, ISBN 978-3-906042-38-1, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=369&eID=dam_frontend_push&docID=3607

M. Kaltschmitt, L. Schebek 2015, Umweltbewertung für Ingenieure. Methoden und Verfahren. Springer Verlag, ISBN 978-3-642-36989-6

KEMI, 2015, Occurrence and use of highly fluorinated substances and alternatives Report from a government assignment. Report, https://www.kemi.se/en/global/rapporter/2015/report-7-15-occurrence-and-use-of-highly-fluorinated-substances-and-alternatives.pdf

Klöpffer, W., Grahl, B., 2009, Ökobilanz (LCA): Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. Wiley, Weinheim

S. Namikawa, 2017, Photovoltaics and Firefighters' Operations: Best Practices in Selected Countries IEA PVPS Task 12 Report IEA-PVPS T12-09:2017 April 2017 ISBN 978-3-906042-60-2, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=449&eID=dam_frontend_push&docID=4044

NREL, 2015, Crystalline Silicon and Thin Film Photovoltaic Results – Life Cycle Assessment Harmonization. http://www.nrel.gov/analysis/sustain_lca_pv.html;

OECD,2013, OECD/UNEP Global PFC Group, Synthesis paper on per- and polyfluorinated chemicals (PFCs). Environment, Health and Safety, Environment Directorate, OECD. https://www.oecd.org/env/ehs/risk-management/PFC_FINAL-Web.pdf

M. Raugei, R. Frischknecht, C. Olson, P. Sinha, G. Heath, 2016. Methodological guidelines on Net Energy Analysis of Photovoltaic Electricity, IEA-PVPS Task 12, Report T12- 07:2016, ISBN 978-3-906042-39-8, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=413&eID=dam_frontend_push&docID=3937

M. M. Schwarz, 2015, Energieinstitut an der JKU Linz, persönliche Auskunft. 10.11.

P. Sinha, G. Heath, A. Wade, K. Komoto, 2018, Human health risk assessment methods for PV, Part 1: Fire risks, International Energy Agency (IEA) PVPS Task 12, Report T12-14:2018. http://www.iea-pvps.org/index.php?id=496&eID=dam_frontend_push&docID=4468

Springer Gabler Verlag, 2015, Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Umweltaspekte. http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/222042/umweltaspekte-v6.html

P. Stolz, R. Frischknecht, G. Heath, K. Komoto, J. Macknick, P. Sinha, A. Wade, 2017, Water Footprint of European Rooftop Photovoltaic Electricity based on Regionalised Life Cycle Inventories, IEA PVPS Task 12, International Energy Agency Power Systems Programme, Report IEA-PVPS T12-11:2017, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=462&eID=dam_frontend_push&docID=4259

P. Stolz, R. Frischknecht, K. Wambach, P. Sinha, G. Heath, 2017, Life Cycle Assessment of Current Photovoltaic Module Recycling, IEA PVPS Task 12, International Energy Agency Power Systems Programme, Report IEA-PVPS T12- 13:2018, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=462

UNEP, 2015, Sustainable Development GOALS. Annual Report, https://www.unenvironment.org/annualreport/2015/en/sustainable-development-goals.html

K. Wambach, G. Heath, C. Libby, 2017, Life Cycle Inventory of Current Photovoltaic Module Recycling Processes in Europe IEA PVPS Task12, Subtask 2, LCA Report IEA-PVPS T12-12:2017, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=460

S. Weckend, A. Wade, 2017, End of Life Solar PV Panels, IEA, IRENA, http://www.iea-pvps.org/index.php?id=381&eID=dam_frontend_push&docID=3123

M. De Wild-Scholten, 2014, Environmental aspects of photovoltaics. Vortrag im Rahmen der 12. Österreichische Photovoltaik-Tagung Linz, Austria, 4.11.; http://smartgreenscans.nl/publications/deWildScholten-2014-Environmental-aspects-of-PV.pdf

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien
bmvit.gv.at