



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Energieforschung

Jahresbericht vom 08.12.2023

IEA PVPS Task 12: Swiss activities in 2023

Ökobilanzen von Solarstrom



Solwing Photovoltaik bei den Gewächshäusern auf dem Campus Grüental (Quelle: ZHAW, Bild: Frank Brüderli)



Zürich University
of Applied Sciences



Life Sciences and
Facility Management

Institute of
Natural Resource Sciences



Datum: 8. Dezember 2023

Ort: Uster, Wädenswil

Auftraggeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Photovoltaik
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch
energieforschung@bfe.admin.ch

Auftragnehmerinnen:

ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
IUNR Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen
Grüntal, Postfach, CH-8820 Wädenswil

treeze Ltd.
CH-8610 Uster
www.treeze.ch

Autoren:

Matthias Stucki, ZHAW, matthias.stucki@zhaw.ch
Michael Götz, ZHAW, michael.goetz@zhaw.ch
Rolf Frischknecht, treeze Ltd., frischknecht@treeze.ch

BFE-Programmleitung: Dr. Stefan Oberholzer, stefan.oberholzer@bfe.admin.ch
BFE-Vertragsnummer: SI/502610-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

Ökobilanzen sind ein Umweltmanagement-Werkzeug, um die Umweltauswirkungen von Produkten und Technologien zu analysieren, zu vergleichen und zu verbessern. Eine wesentliche Grundlage für Ökobilanzen sind Sachbilanzdaten, welche die Energie- und Massenflüsse über die verschiedenen Lebensphasen des zu untersuchenden Objektes beschreiben.

Regelmässig werden im Rahmen des Schweizer Beitrags zum IEA PVPS Task 12 die Sachbilanzdaten der Herstellung von Photovoltaik (PV) Modulen, von Freiflächen- und Grossanlagen, von Strommixen relevanter Produktionsländer sowie von Chemikalien und Materialien, die in der PV-Industrie verwendet werden, erstellt beziehungsweise aktualisiert¹. Die im Jahr 2020 aktualisierten Sachbilanzdaten (Frischknecht et al., 2020) sind in den neuen KBOB Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2022 (KBOB et al., 2022) eingeflossen, welcher Grundlage bildet für die KBOB Empfehlung Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2022 v4.0 (KBOB et al., 2023).

Im Berichtsjahr 2023 wurden die in Kapitel 3 erläuterten Arbeiten ausgeführt. Besonders hervorzuheben sind hierbei Finalisierung und Publikation der Ökobilanzstudie zu Recyclingtechnologien von PV-Modulen (Frischknecht et al., 2023), die Arbeit an der Aktualisierung der Sachbilanzdaten der PV-Lieferkette und PV-Stromproduktion, sowie die Mitwirkung am kürzlich verabschiedeten IEA Task 12 Workplan für die Jahre 2024 bis 2028.

Im Laufe des Berichtsjahrs wurden nicht nur die Aktivitäten des Task 12 für die kommenden Jahre definiert, sondern auch eine Erweiterung des Task 12 von 3 auf 4 Subtasks vorgeschlagen. Dieser Erweiterung hat das IEA PVPS Executive Committee Anfang Dezember dieses Jahres zugestimmt. Die Schweizer Experten werden den Lead von Subtask 2 zum Thema Ökobilanzen übernehmen und voraussichtlich in 8 Aktivitäten des Task 12 involviert sein, wobei sie bei 4 dieser Aktivitäten den Lead übernehmen.

Im Rahmen der Arbeiten des PVPS Task 15, wurde der Arbeitsplan der Phase 3 besprochen. Auch in der dritten Phase soll das Thema Ökobilanzen von Gebäudeintegrierten Photovoltaikanlagen behandelt werden.

¹ Berichte und Datenfiles sind auf www.iea-pvps.org abrufbar. Die Daten und Files sind kompatibel mit den KBOB Ökobilanzdaten DQRv2:2016 und DQRv2:2022.



Seite absichtlich frei



Inhalt

Zusammenfassung.....	3
Abkürzungen.....	6
1 Einführung.....	7
2 Übersicht der Aktivitäten	7
3 Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse.....	9
3.1 Übersicht.....	9
3.2 Aktualisierung der Sachbilanzdaten PV Strom.....	9
3.3 Factsheet zu Umweltaspekten von PV-Strom.....	9
3.4 Koordination von Gesprächen zur Verbreitung von Task 12 Daten via ecoinvent.....	10
3.5 PVPS Task 15 Gebäude integrierte Photovoltaik.....	10
3.6 Ökobilanz zu PV Panel Recycling Technologien	10
3.7 Review von Publikationen	10
3.8 Erarbeitung Workplan 2024 – 2028.....	10
3.9 Mitwirkung am 2. SAIPho23 Workshop.....	11
4 Bewertung 2023 und Ausblick 2024	11
5 Publikationen im Rahmen des Projekts	12
6 Referenzen	13



Abkürzungen

AHB	Amt für Hochbauten
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFE	Bundesamt für Energie
BIPV	Gebäudeintegrierte Photovoltaik (engl. Building Integrated Photovoltaics)
EPBT	Energierückzahldauer (engl. Energy Payback Time)
EROI	Energierentabilität (engl. Energy Return on Investment)
EU PVSEC	Europäische Photovoltaik-Konferenz (engl. European Photovoltaic Solar Energy Conference)
IEA	International Energy Agency
LCA	Ökobilanz (engl. Life Cycle Assessment)
PEF	Produkt-Umweltfussabdruck (engl. Product Environmental Footprint)
PEFCR	Kategorieregeln für den Produkt-Umweltfussabdruck (engl. Product Environmental Footprint Category Rules)
PV	Photovoltaik
PVPS	Photovoltaic Power Systems



1 Einführung

Der IEA PVPS Task 12 befasst sich mit Nachhaltigkeitsaspekten der Photovoltaik (PV) ausgehend von Analysen in den Mitgliedsstaaten des IEA PVPS Programms. Die Auftragnehmerinnen ZHAW IUNR und treeze Ltd. leisten im Rahmen dieses Programms den Schweizer Beitrag mit besonderem Fokus auf Ökobilanzierung (englisch life cycle assessment, abgekürzt LCA) von PV-Systemen und PV-Stromerzeugung.

2 Übersicht der Aktivitäten

Die Aktivitäten des IEA PVPS Task 12 wurden bis und mit 2023 in drei Subtasks gegliedert. Mit dem Start des Workplan 2024-2028 erfolgt eine Erweiterung und Umstrukturierung der Subtasks.

Bis Ende 2023:

- Subtask 1: End of Life of PV Systems
- Subtask 2: Life Cycle Assessment (LCA)
- Subtask 3: Other PV Sustainability Topics

Ab 2024:

- Subtask 1: Circular Economy (CE)
- Subtask 2: Life Cycle Assessment (LCA)
- Subtask 3: Ecosystem Integrated PV (EcoPV)
- Subtask 4: Broader Sustainability Topics (BST)

Der Schweizer Beitrag fokussiert auf den Subtask 2. Hauptziele sind das Erarbeiten und Aktualisieren von Sachbilanzdaten zur Stromerzeugung mit PV-Anlagen sowie das Bereitstellen und Aktualisieren einer harmonisierten Ökobilanz-Methodik für PV.

Tabelle 1 zeigt die Aktivitäten mit Schweizer Beteiligung im Jahr 2023 und die geplanten Aktivitäten im neuen Workplan 2024-2028.

Zusätzlich werden im Rahmen des Schweizer Beitrags zum IEA PVPS Task 12 die Arbeiten von IEA PVPS Task 15 zu BIPV unterstützt, die einen Bezug zur Ökobilanzierung haben.



Tabelle 1: Übersicht über die Subtasks und Subtask-Aktivitäten mit Schweizer Beteiligung. Die Beiträge werden klassifiziert in L = Lead, C = Contribution, R = Review.

2023			Outlook 2024-2028		
Subtask / Aktivität	Beschreibung	Beitrag CH	Subtask / Aktivität	Beschreibung	Beitrag CH
2	Life Cycle Assessment (LCA)	L	2	Life Cycle Assessment (LCA)	L (zhaw)
2.7	LCI data and report	L	2.1	LCI Data Update & Report	L (zhaw) R (treeze)
2.8	Factsheet on Environmental LCA of PV Electricity	L	2.2	Update of the Factsheet on Environmental LCA of PV	L (zhaw) R (treeze)
2.9	Environmental Life Cycle Assessment of PERC PV Module Technology	R	2.3	Updates to Methodological Guidelines	L (zhaw) R (treeze)
2.10	Carbon Footprint Analysis of Floating PV Systems	R	2.4	Methodological Guidelines on Net Energy Analysis of PV Electricity	C (treeze)
2.11	Review of metals supply chain criticalities	R	2.5	Study and comparison life cycle indicators from commercial PV recycling pilots and plants.	R (treeze, Zhaw)
3	Broader sustainability topics		2.6	LCA of Thermochemical and Mechanical recycling	R (treeze, zhaw)
3.1	Quantifying Social and Economic Aspects of PV	R	2.7	LCA of PV Recycling Pathways in France	C (treeze)
3.3	PV sustainability standards	R	2.8	LCA of IBC Technology	C (zhaw)
			2.9	Review of LCA of High-Altitude PV Installations in Alpine Environments	L (zhaw) R (treeze)
			2.10	LCA modelling recommendations for emerging PV tandem technologies and preliminary results based on experimental lab-scale data	R (treeze, zhaw)
			3	Ecosystem Integrated PV (EcoPV)	
			3.2	Field Research Methods for Agrivoltaic Applications	C (zhaw)



3 Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

3.1 Übersicht

Im Rahmen des Schweizer Beitrags zum IEA PVPS Task 12 wurden im Jahr 2023 folgende Arbeiten durchgeführt und/oder abgeschlossen:

- Partizipation an den Task 12 Experten-Treffen in Paris (14-16.03.2023) und Adelaide (bzw online, 23-26.10.2013)
- Aktualisierung der Sachbilanzdaten der PV-Lieferkette und PV-Stromerzeugung (Unterkapitel 3.2),
- Aktualisierung des Factsheets zu Umweltaspekten von PV-Strom (Unterkapitel 3.3),
- Koordination von Gesprächen zur Verbreitung von Task 12 Daten via ecoinvent (Unterkapitel 3.4)
- Punktuelle Mitwirkung am PVPS Task 15 (Unterkapitel 3.5),
- Überarbeitung und Publikation der Ökobilanz zu PV Panel Recycling Technologien (Hot Knife Recycling) (Unterkapitel 3.6),
- Review von Task 12 Publikationen (Unterkapitel 3.7)
- Mitwirkung an der Erarbeitung des IEA Task 12 Workplan für die Jahre 2024 – 2028 (Unterkapitel 3.8),
- Mitwirkung am 2. SAIPho23 Workshop (Unterkapitel 3.9)

3.2 Aktualisierung der Sachbilanzdaten PV Strom

Im Laufe des Berichtsjahres 2023 wurden die Sachbilanzdaten verschiedener Produkte und Prozesse entlang der PV-Lieferkette aktualisiert. Die Aktualisierung umfasst unter anderem:

- die Moduleffizienzen von PV-Modulen auf Basis von monokristallinem Silizium (mono-Si) und Cadmiumtellurid (CdTe),
- den Strom- und Wärmebedarf in der Herstellung von hochreinem Silizium (solar-grade), Ingots, Wafer, Zellen und mono-Si-Modulen sowie in der Herstellung von CdTe-Modulen,
- die Nutzungseffizienz und Verluste von Silizium bei der Produktion von mono-Si-Wafern,
- und die globalen Marktanteile in der PV-Lieferkette.

Diese Aktualisierungen bilden die Basis für die für Q1 2024 geplante Publikation des Factsheets zu Umweltaspekten von PV-Strom (siehe 3.3) und die Ausgangslage für das umfassende Update der Sachbilanzmodelle und Sachbilanzdaten, welches für Q4 2024 geplant ist.

3.3 Factsheet zu Umweltaspekten von PV-Strom

Das Factsheet stellt Informationen zu den Lebenszyklus bezogenen Treibhausgasemissionen, zur Energierückzahldauer (englisch Energy Payback Time, EPBT) sowie zu weiteren



Umweltauswirkungen von PV-Strom dar für interessierte, nicht fachkundige Personengruppen (Medien, Journalismus, Politik, Privatwirtschaft etc.). Dabei werden weitgehend die im Rahmen von IEA PVPS Task 12 erarbeiteten, im Berichtsjahr aktualisierten Sachbilanzdaten verwendet (siehe 3.2). Die Publikation des aktualisierten Factsheets ist für Q1 2024 geplant.

3.4 Koordination von Gesprächen zur Verbreitung von Task 12 Daten viaecoinvent

Die Schweizer Experten führten Gespräche zur Abklärung der Kooperations-Möglichkeiten mit der globalen ecoinvent Datenbank mit dem Ziel der weiteren Verbreitung der Ökobilanzmodelle aus der Task 12 in der weltweiten Ökobilanz-Fachgemeinde. Die in der ecoinvent verfügbaren Sachbilanzdaten zur PV-Lieferkette sind stark veraltet. Die Task 12 hat die Schweizer Experten für Verhandlungen mit ecoinvent mandatiert.

3.5 PVPS Task 15 Gebäude integrierte Photovoltaik

Die in der 2. Phase des Task 12 erarbeitete Methodik, wurde in der Multikriterienanalyse (MKA, Subtask B «Cross-sectional analysis») von BIPV Systemen angewendet.. Für die in der MKA verwendeten Umweltkennwerte von PV Systemen und PV Strom wurden Maximal- und Minimalwerte ermittelt und eine dimensionslose Skala vorgeschlagen. Die Dokumentation zur MKA ist noch hängig. Im weiteren hat der Schweizer Experte von treeze am gemeinsamen Expertentreffen der Tasks 12 und 15 teilgenommen und die Möglichkeiten der Kooperationen in Phase 3 des Task 15 besprochen.

3.6 Ökobilanz zu PV Panel Recycling Technologien

Für eine in Japan betriebene Versuchsanlage (hot knife technology) zum Recycling von Panels mit kristallinen Siliziumzellen wurde eine Ökobilanz erarbeitet. Im 2. Expert:innen-Treffen im November 2022 wurde der Bericht diskutiert und einstimmig gutgeheissen. Der Bericht wurde auf Basis der erhaltenen Rückmeldungen überarbeitet, vom ExCo freigegeben und im Berichtsjahr 2023 publiziert (Frischknecht et al., 2023).

3.7 Review von Publikationen

Im Berichtsjahr 2023 waren die Schweizer Experten an mehreren Review-Prozessen beteiligt für bevorstehende Publikationen im Rahmen des Task 12:

- Environmental Life Cycle Assessment of Passivated Emitter and Rear Contact (PERC) Photovoltaic Module Technology (Danelli & Girardi)
- Carbon Footprint Analysis of Floating PV Systems (Kester & Binani)
- Status of PV Module Take-Back and Recycling in Germany (Held & Wessendorf)
- Advances in Photovoltaic Module Recycling (Libby et al.)
- Review of PV Sustainability Standards (Espinosa et al.)

3.8 Erarbeitung Workplan 2024 – 2028

Im Laufe des Berichtjahres 2023 wurde der neue Task 12 Workplan für die Jahre 2024 bis 2028 erarbeitet und im Rahmen des Task-Meetings im Oktober 2023 in Adelaide finalisiert und anschliessend dem IEA PVPS Executive Committee (ExCo) vorgelegt. Das ExCo hat den Workplan inzwischen validiert. Die vorgeschlagene Erweiterung von drei auf vier Subtasks und die für die



kommenden Jahren vorgesehenen Aktivitäten können wie geplant umgesetzt werden (siehe Tabelle 1).

3.9 Mitwirkung am 2. SAIPho23 Workshop

Der Workshop konzentrierte sich auf Ökobilanzen von neuen PV-Technologien, die im Rahmen von europäischen Projekten durchgeführt werden. Ziel des Workshops war es, technische Parameter wie Leistungskennzahl (performance ratio) oder Lebensdauer, Sachbilanzmethodik, Sachbilanz-Datenbank, Methoden und Indikatoren zur Wirkungsabschätzung und andere Aspekte für (zukünftige) Ökobilanzen von neuen und innovativen PV-Technologien zu harmonisieren.

Die Präsentationen zeigten die Ansätze und (vorläufigen) Ergebnisse der LCA-Arbeiten, insbesondere zu Perowskit-PV-Zellen/Paneelen. Sie zeigten eine recht große Vielfalt an Ansätzen, Methoden, Datenbanken und gewählten Indikatoren.

Es wurde vereinbart, als nächsten Schritt ein White Paper zu verfassen.

4 Bewertung 2023 und Ausblick 2024

Die Arbeiten zu PV Panel Recycling wurden mittlerweile abgeschlossen und der entsprechende Bericht publiziert. Im Lauf des Berichtjahres, und insbesondere im Rahmen der beiden Task-Meetings im März in Paris und im Oktober in Adelaide, wurde der Workplan 2024 – 2028 erarbeitet, welcher die Grundlage für die Aktivitäten der kommenden Jahre bildet. Die Schweizer Experten sind in unterschiedlichen Rollen an diversen Aktivitäten beteiligt (siehe auch Tabelle 1).

Hervorzuheben sind folgende geplante Arbeiten:

1. Die ZHAW übernimmt im Rahmen des Schweizer Beitrags im neuen Workplan ab dem Jahr 2024 den Lead von Subtask 2 mit insgesamt 10 angegliederten Aktivitäten.
2. Die Schweizer Experten sind an 7 dieser 10 Aktivitäten beteiligt und haben den Lead bei 4 Aktivitäten.
3. Im Jahr 2024 stehen insbesondere die umfassende Aktualisierung und Überarbeitung der Lebenszyklusdaten und die entsprechenden Publikationen (Factsheet und Bericht) im Vordergrund (Aktivitäten 2.1 und 2.2).
4. Ebenfalls ist geplant, 2024 mit den Arbeiten am Methodik-Update zu beginnen (Aktivität 2.3). Die entsprechende Publikation (Bericht) ist für das Jahr 2025 vorgesehen.
5. Teilnahme an zwei Task-Meetings des IEA PVPS Task 12. Das nächste Treffen findet in Frühling 2024 in Delft NL statt.
6. Zudem sind Arbeiten im Zusammenhang mit der Aktivität 3.2 zu den Forschungsmethoden im Bereich Agrivoltaik geplant.
7. Begleitung und Review von Ökobilanzarbeiten anderer Mitglieder des Task 12. Dies umfasst im Jahr 2024 voraussichtlich Berichte zu
 - a. Global PV recycling status (A1.1),
 - b. PV waste management in France (A1.5),
 - c. Study and comparison life cycle indicators from commercial PV recycling pilot plants (A2.5),



- d. LCA of Thermochemical and Mechanical recycling (A2.6),
- e. Report of LCA of PV recycling pathways in France (A2.7),
- f. Field research methods for Agrivoltaic applications (A3.2) und
- g. Public Acceptance of PV modules (A4.1).

5 Publikationen im Rahmen des Projekts



Frischknecht, R., Komoto, K., & Doi, T. (2023). Life Cycle Assessment of Crystalline Silicon Photovoltaic Module delamination with Hot Knife Technology (IEA-PVPS T12-25:2023; IEA PVPS Task 12 Report). https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2023/07/Report_IEA-PVPS_T12-25-2023_LCA-PV-Recycling-Hot-Knife.pdf



6 Referenzen

Frischknecht, R., Komoto, K., & Doi, T. (2023). *Life Cycle Assessment of Crystalline Silicon*

Photovoltaic Module delamination with Hot Knife Technology (IEA-PVPS T12-25:2023; IEA PVPS Task 12 Report). International Energy Agency (IEA) PVPS Task 12. https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2023/07/Report_IEA-PVPS_T12-25-2023_LCA-PV-Recycling-Hot-Knife.pdf

Frischknecht, R., Stolz, P., Krebs, L., De Wild-Scholten, M., & Sinha, P. (2020). *Life Cycle Inventories*

and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems (IEA-PVPS T12-19:2020; IEA PVPS Task 12 Report). International Energy Agency (IEA) PVPS Task 12. <https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/12/IEA-PVPS-LCI-report-2020.pdf>

KBOB, ecobau, & IBP. (2022). *UVEK Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2022*. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik.

KBOB, ecobau, & IPB. (2023). *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2022, Version 4*.

https://www.kbob.admin.ch/dam/kbob/de/dokumente/Themen%20und%20Trends/Oekobilanz/Oekobilanzdaten_%20Baubereich_Donne_ecobilans_construction_2009-1-2022_v4.0.xlsx.download.xlsx/Oekobilanzdaten_%20Baubereich_Donne_ecobilans_construction_2009-1-2022_v4.0.xlsx