



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Energieforschung

Jahresbericht vom 07.01.2025

IEA PVPS Task 12: Swiss Activities in 2024

Ökobilanzen von Solarstrom



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



Zürich University
of Applied Sciences



Life Sciences and
Facility Management

Institute of
Natural Resource Sciences



treeze
fair life cycle thinking

Datum: 07. Januar 2025

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 KBOB Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2022 (KBOB et al., 2022) eingeflossen, welcher die Grundlage bildet für die KBOB Liste der Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2022 v4.0 (KBOB et al., 2023).

Im Berichtsjahr 2024 wurden die in Kapitel 3 erläuterten Arbeiten ausgeführt. Besonders hervorzuheben sind hierbei die fortlaufende Arbeit an der Aktualisierung der Sachbilanzdaten der PV-Lieferkette und PV-Stromproduktion, der Schweizer Beitrag zum Bericht «Global PV recycling status», sowie die Veröffentlichung des IEA-Factsheets zur Ökobilanz von Strom aus PV-Anlagen. Weiter zu erwähnen sind diverse Aktivitäten zur Verbreitung von Ökobilanzergebnissen zu PV-Lieferkette und Stromerzeugung (Artikel, Webinar, IEA-Newsletter) etc.

Im Rahmen der Arbeiten des PVPS Task 15, wurde in Energy and Buildings ein wissenschaftliches Paper zur Multikriterienanalyse von gebäudeintegrierten PV-Systemen publiziert.

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
Inhalt	5
Abkürzungen.....	6
1 Einführung.....	7
2 Übersicht der Aktivitäten	7
3 Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse	9
3.1 Übersicht.....	9
3.2 Schweizer Beiträge an den Task 12 Experten-Treffen	9
3.3 Veröffentlichung des Factsheets zu Umweltaspekten von PV-Strom	9
3.4 Aktualisierung der Sachbilanzdaten der PV-Lieferkette und PV-Stromerzeugung	10
3.5 Koordination von Gesprächen zur Verbreitung von Task 12 Daten via ecoinvent.....	10
3.6 PVPS Task 15 - Gebäude integrierte Photovoltaik	11
3.7 Review von Publikationen	11
3.8 Verbreitung von Ökobilanzergebnissen zu PV-Strom	11
3.9 Vorabklärungen zur Überarbeitung der LCA Methodology Guideline	11
3.10 Beitrag zu Global PV recycling status (Activity A1.1)	11
3.11 Mitwirkung am 2. SAIPho23 Workshop	11
4 Bewertung 2024 und Ausblick 2025	12
5 Publikationen im Rahmen des Projekts	13
6 Referenzen	15



Abkürzungen

AHB	Amt für Hochbauten
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFE	Bundesamt für Energie
BIPV	Gebäudeintegrierte Photovoltaik (Building Integrated Photovoltaics)
EPBT	Energierückzahldauer (Energy Payback Time)
EROI	Energierentabilität (Energy Return on Investment)
EU PVSEC	Europäische Photovoltaik-Konferenz (European Photovoltaic Solar Energy Conference)
IEA	International Energy Agency
LCA	Ökobilanz (Life Cycle Assessment)
PEF	Produkt-Umweltfussabdruck (Product Environmental Footprint)
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 sind in vier Subtasks gegliedert:

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

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 2024 und die geplanten Aktivitäten im 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.

2024			Outlook 2025-2028		
Subtask / Aktivität	Beschreibung	Beitrag CH	Subtask / Aktivität	Beschreibung	Beitrag CH
1	Circular Economy (CE)	C	1	Circular Economy (CE)	
1.1	Global PV recycling status	C	1.1	Global PV recycling status	C (zhaw)
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)
4	Broader Sustainability Aspects		2.3	Updates to Methodological Guidelines	L (zhaw) R (treeze)
4.3	PV sustainability standards	R	2.4	Methodological Guidelines on Net Energy Analysis of PV Electricity	C (treeze)
			2.5	Study and comparison life cycle indicators from commercial PV recycling pilots and plants.	R (treeze, Zhaw)
			2.6	LCA of Thermochemical and Mechanical recycling	R (treeze, zhaw)
			2.7	LCA of PV Recycling Pathways in France	C (treeze)
			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)
			4	Broader Sustainability Aspects	
			3.3	Quantifying Social and Economic Aspects of PV	R (treeze, zhaw)



3 Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

3.1 Übersicht

Im Rahmen des Schweizer Beitrags zum IEA PVPS Task 12 wurden im Jahr 2024 folgende Arbeiten durchgeführt und/oder abgeschlossen:

- Schweizer Beiträge an den Task 12 Experten-Treffen (Unterkapitel 3.2),
- Veröffentlichung des Factsheets zu Umweltaspekten von PV-Strom (Unterkapitel 3.3),
- Aktualisierung der Sachbilanzdaten der PV-Lieferkette und PV-Stromerzeugung (Unterkapitel 3.4),
- Koordination von Gesprächen zur Verbreitung von Sachbilanzdaten des Task 12 viaecoinvent (Unterkapitel 3.5)
- PVPS Task 15 Gebäude integrierte Photovoltaik (Unterkapitel 3.6),
- Review von Publikationen des Task 12 (Unterkapitel 3.7),
- Verbreitung von Ökobilanzergebnissen zu PV-Strom (Unterkapitel 3.8)
- Vorabklärungen zur Überarbeitung der LCA Methodology Guideline (Unterkapitel 3.9)
- Beitrag zum Bericht «Global PV recycling status» (Unterkapitel 3.10)
- Follow-up 2. SAIPho23 Workshop (Unterkapitel 3.11)

3.2 Schweizer Beiträge an den Task 12 Experten-Treffen

Matthias Stucki und Rolf Frischknecht beteiligten sich aktiv an den Experten-Treffen des IEA Task 12 in Delft, Niederlande vom 16 bis 19. April 2024 und online am 29. Oktober, 18. & 21. November sowie 3. & 5. Dezember 2024. Dabei hielt Matthias Stucki folgende Präsentationen:

Frühling 2024:

1. Country Update Switzerland, 2024
2. Factsheet: Environmental Life Cycle Assessment of Electricity from PV Systems
3. Activity 2.1 - Life Cycle Inventories full update

Herbst 2024:

1. A2.3 – Updates to the LCA Methodology Guidelines
2. Activity 2.1 – LCI data and report

3.3 Veröffentlichung des Factsheets zu Umweltaspekten von PV-Strom

Das Factsheet bietet Informationen zu den Lebenszyklus-bezogenen Treibhausgasemissionen, zur Energierückzahldauer (englisch Energy Payback Time, EPBT) sowie zu weiteren Umweltauswirkungen von PV-Strom für interessierte, nicht fachkundige Personengruppen (Medien, Journalismus, Politik, Privatwirtschaft etc.). Dabei werden die im Rahmen des IEA PVPS Task 12



erarbeiteten und im Jahr 2023 aktualisierten Sachbilanzdaten verwendet. Das überarbeitete Factsheet wurde am Experten-Treffen im April 2024 einstimmig bestätigt und damit zur Veröffentlichung freigegeben. Die Publikation des aktualisierten Factsheets sowie des dazugehörigen Dokuments mit weiterführenden Informationen (Slide Summary) erfolgte im Mai 2024 in englischer, deutscher, französischer, italienischer, chinesischer, japanischer und koreanischer Sprache (Stucki, Götz, de Wild-Scholten, et al., 2024a, 2024b).

3.4 Aktualisierung der Sachbilanzdaten der PV-Lieferkette und PV-Stromerzeugung

Im Laufe des Berichtsjahres 2024 wurde eine umfassende Aktualisierung der Sachbilanzdaten verschiedener Produkte und Prozesse entlang der PV-Lieferkette in Angriff genommen, welche im Jahr 2025 fortgesetzt werden soll. Die Aktualisierung umfasst unter anderem:

- die umfassende Anpassung der Referenzsysteme von 3 kWp auf 10 kWp für Anlagen auf Wohngebäuden (residential PV, Schrägdach),
- die Erweiterung der Referenzsysteme um 100 kWp-Referenzsysteme für Commercial PV (Flachdach) und 1 MWp-Referenzsysteme für Utility-Scale PV (Freifläche),
- Gespräche zur Integration von Herstellerdaten der PV-Lieferkette aus dem französischen Ausschreibungsprozess (via ADEME) respektive dem LAPERITIVO Horizon Europe Projekt (via Mariska de Wild-Scholten),
- Gespräche zur Integration von modellierten Sachbilanzdaten des Fraunhofer ISE (via Sebastian Nold),
- Die Aktualisierung der Sachbilanzdaten zu Wechselrichtern verschiedener Leistungsklassen,
- Die Daten zu Moduleffizienzen von PV-Modulen auf Basis von monokristallinem Silizium (mono-Si) und Cadmiumtellurid (CdTe),
- Die Differenzierung und Aktualisierung der Sachbilanzdaten für mono-Si-Module (PERC- und TOPCon-Zelltechnologie),
- und die globalen Marktanteile der Weltregionen entlang der PV-Lieferkette.

Diese Aktualisierungen bilden die Basis der für 2025 geplanten Überarbeitung des Berichts zu den Sachbilanzdaten von PV.

3.5 Koordination von Gesprächen zur Verbreitung von Task 12 Daten via ecoinvent

Die Schweizer Experten führten Gespräche zur Abklärung der Kooperations-Möglichkeiten mit der globalen Sachbilanz-Datenbank von ecoinvent mit dem Ziel der weiteren Verbreitung der Ökobilanzmodelle des Task 12 in der weltweiten Ökobilanz-Fachgemeinde. Die in der ecoinvent-Datenbank verfügbaren Sachbilanzdaten zur PV-Lieferkette sind stark veraltet. Die geplante Kooperation wurde jedoch von Seiten ecoinvent nicht weitergeführt.



3.6 PVPS Task 15 - Gebäudeintegrierte Photovoltaik

In Energy and Buildings wurde ein wissenschaftliches Paper zur Multikriterienanalyse von BIPV Systemen publiziert.² Ansonsten haben keine Aktivitäten mit Bezug zur Ökobilanzierung von BIPV mit Beteiligung von Experten des Task 12 stattgefunden.

3.7 Review von Publikationen

Im Berichtsjahr 2024 waren die Schweizer Experten an mehreren Review-Runden beteiligt für eine bevorstehende Publikation im Rahmen des Task 12:

- Review of PV Sustainability Standards (Espinosa, Sinha, Drozdiak & Wade)

3.8 Verbreitung von Ökobilanzergebnissen zu PV-Strom

Die Ökobilanzmethodik und die erarbeiteten Ökobilanzergebnisse zu PV-Strom wurden in verschiedenen Gefässen aufbereitet und veröffentlicht inklusive Open-Access-Artikel (Stucki, Götz, & Frischknecht, 2024), Swissolar-Webinar (Stucki, 2024) und IEA-Newsletter (IEA PVPS, 2024).

3.9 Vorabklärungen zur Überarbeitung der LCA Methodology Guideline

Im Berichtsjahr wurden Vorabklärungen für die für 2025 geplante Überarbeitung der LCA Methodology Guideline getroffen. Insbesondere fanden Gespräche mit Vertretern des IEA PVPS Task 13 «Reliability and Performance of Photovoltaic Systems» (Atse Louwen) zur Festlegung von Performance Ratio und durchschnittlichen Jahreserträgen statt, es gab Diskussionen innerhalb des Task 12 zur Festlegung der Lebensdauer von PV-Anlagen und es wurde abgeholt, welche Experten sich bei der Überarbeitung der Methodology Guideline einbringen werden.

3.10 Beitrag zu Global PV recycling status (Activity A1.1)

Unter der Leitung von Keiichi Komoto (Japan) wird im Rahmen der Activity 1.1 ein Bericht zum «Global PV recycling status» erarbeitet, für welches die Schweizer Experten im Berichtsjahr in Absprache mit Swiss PV Circle und Roger Nyffenegger von der Berner Fachhochschule ein Kapitel zum «Current status of PV module recycling in Switzerland» verfassten.

3.11 Follow-up 2. SAIPho23 Workshop

Der Ende November 2023 abgehaltene 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.

Es entzieht sich der Kenntnis der berichtenden Experten, ob das als nächster Schritt geplante White Paper im Jahr 2024 verfasst wurde oder nicht.

² Energy and Buildings; Available online 22 April 2024, 114207: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114207>



4 Bewertung 2024 und Ausblick 2025

Die Schweizer Experten sind in unterschiedlichen Rollen an diversen Aktivitäten des der Workplan 2024 – 2028 beteiligt (siehe auch Tabelle 1).

Hervorzuheben sind folgende Arbeiten:

1. Die ZHAW übernimmt im Rahmen des Schweizer Beitrags im neuen Workplan seit 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 standen insbesondere die Aktualisierung und Überarbeitung der Lebenszyklusdaten und die entsprechenden Publikationen (Factsheet) im Vordergrund (Aktivitäten 2.1 und 2.2). Diese Aktualisierungen werden im Jahr 2025 fortgeführt und ausgeweitet. Da aus verschiedenen Gründen Datenquellen aus der Vergangenheit (Mariska de Wild, IHS Markit / S&P Global database) zukünftig nicht mehr zur Verfügung stehen, müssen neuen Datengrundlagen (z.B. aus dem französischen Ausschreibungsprozess) für die Sachbilanzmodellierung identifiziert, organisiert und integriert werden.
4. Ebenfalls ist geplant, 2025 den Methodik-Bericht zu aktualisieren (Aktivität 2.3). Die entsprechende Publikation ist für Ende 2025 vorgesehen.
5. Teilnahme an zwei Task-Meetings des IEA PVPS Task 12. Das nächste Treffen findet in Denver, USA statt. Aus Gründen des Klimaschutzes werden die Schweizer Experten online teilnehmen. Das Herbstmeeting 2025 wird in Deutschland stattfinden.
6. Begleitung und Review von Ökobilanzarbeiten anderer Mitglieder des Task 12. Dies umfasst im Jahr 2025 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



Stucki, M., Götz, M., de Wild-Scholten, M., & Frischknecht, R. (2024a). *Environmental Life Cycle Assessment of Electricity from PV Systems*. IEA PVPS Task 12, International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. <https://doi.org/10.69766/ALGS2169>



Stucki, M., Götz, M., & Frischknecht, R. (2024). Treibhausgasemissionen von Solarstrom—Ökobilanz globaler Lieferketten. *Bulletin Electrosuisse*, 8/24. <https://www.bulletin.ch/de/news-detail/treibhausgasemissionen-von-solarstrom.html>



Stucki, M. (2024, August 22). *Ökobilanz von Photovoltaik* [Webinar]. Swissolar-Webinar, online.

https://www.swissolar.ch/03_angebot/veranstaltungen/vortraege-und-studien/2024/240822_webinar_oekobilanz.zip



IEA PVPS. (2024, September 18). The Impact of Life Cycle Inventories (LCIs)—Insights from Task 12

[Newsletter]. *PV Power Reserach*. <https://www.linkedin.com/pulse/impact-life-cycle-inventories-lcis-t4oqf/?trackingId=BA7DIDFGvRf7GgmOP6iZ3w%3D%3D>



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>

IEA PVPS. (2024, September 18). The Impact of Life Cycle Inventories (LCIs)—Insights from Task 12

[Newsletter]. *PV Power Research*. <https://www.linkedin.com/pulse/impact-life-cycle-inventories-lcis-t4oqf/?trackingId=BA7DIDFGvRf7GgmOP6iZ3w%3D%3D>

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, November 7). *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2022, Version 4*.

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

Stucki, M. (2024, August 22). *Ökobilanz von Photovoltaik* [Webinar]. Swissolar-Webinar, online.

https://www.swissolar.ch/03_angebot/veranstaltungen/vortraege-und-studien/2024/240822_webinar_oekobilanz.zip



- Stucki, M., Götz, M., de Wild-Scholten, M., & Frischknecht, R. (2024a). *Environmental Life Cycle Assessment of Electricity from PV Systems*. IEA PVPS Task 12, International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. <https://doi.org/10.69766/ALGS2169>
- Stucki, M., Götz, M., de Wild-Scholten, M., & Frischknecht, R. (2024b). *Faktenblatt—Ökobilanz von Strom aus PV-Anlagen—Aktualisierung der Daten für das Jahr 2023*. IEA PVPS Task 12, International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. <https://doi.org/10.69766/ALGS2169>
- Stucki, M., Götz, M., & Frischknecht, R. (2024). Treibhausgasemissionen von Solarstrom—Ökobilanz globaler Lieferketten. *Bulletin Electrosuisse*, 8/24. <https://www.bulletin.ch/de/news-detail/treibhausgasemissionen-von-solarstrom.html>