



1



2

Umfang Aktualisierung



- **Kristallines Silizium (mono-Si, multi-Si)**
 - Marktsituation Lieferkette
 - Strombedarf Prozessschritte, Waferdicke, Sägespalt, Materialverluste
 - Paneleffizienz
 - Hauptinformationsquellen: NREL 2019, IEA-PVPS 2019, VDMA 2020 (ITRPV)
- **CdTe**
 - Herstellungsaufwendungen
 - Paneleffizienz
 - Hauptinformationsquelle: Industriedaten FirstSolar, Modulserien 4 und 6
- **Wechselrichter**
- **End of Life Behandlung/Recycling**
- **Wasserverbrauch in den Lieferketten**

02.07.2021

Umweltfussabdruck Photovoltaikstrom,
Update 2020

3

3

Umweltfussabdruck PV: Untersuchungsrahmen



- **Bezugsgrösse:**
1 kWh Wechselstrom, erzeugt mit einem PV System von 3kW_p
- **Jahresproduktion:**
975 kWh/kW_p (inkl. Degradation von 0.7 % pro Jahr)
- **Lebensdauer:**
30 Jahre (Panel), 15 Jahre (Wechselrichter)
- **PV Technologien**
 - Cadmium-Tellurid (CdTe)
 - Multikristallines Silizium (multi-Si)
 - Monokristallines Silizium (mono-Si)

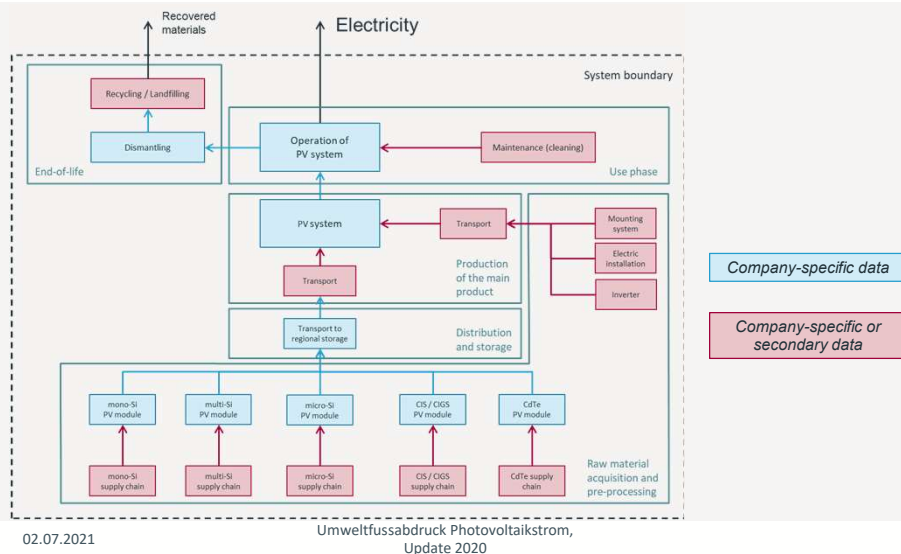
02.07.2021

Umweltfussabdruck Photovoltaikstrom,
Update 2020

4

4

Systemgrenze



5

Lebenswegphasen



- Herstellung
 - Ressourcenentnahme, Rohstoffherstellung, Produktion von Solarzellen, Panel, Verkabelung, Wechselrichter
 - Distribution und Lagerung, inklusive Transport des Panels nach Europa/in die Schweiz
 - Installation des PV Systems, Montage auf dem Dach
- Nutzung (30 Jahre)
 - Stromproduktion
 - Reinigung (Wasser)
- Entsorgung
 - Demontage
 - WEEE Behandlung und Recycling von Panel und Wechselrichter
 - Recycling von Montagematerial und Verkabelung
 - Abfallverbrennung und Deponierung


02.07.2021

Umweltfussabdruck Photovoltaikstrom, Update 2020

6

6

Schlüsselparameter und -daten



treeze
fair life cycle thinking

Aktualisierung 2020	mono-Si	multi-Si	CdTe
Moduleffizienz	19.5 %	18.0 %	18.0 %
Waferdicke	170 µm	180 µm	n.a.
Sägespalt	65 µm	65 µm	n.a.
Weitere Verluste	20.5 µm	27.5 µm	n.a.
Glasdicke	3.2 mm	3.2 mm	3.2+3.2 mm 2.1+2.8 mm
Strombedarf			
- MG Silizium Herstellung	11 kWh/kg		n.a.
- Polysilizium-Herstellung	49 kWh/kg		n.a.
- Einkristallziehen / Blockgiessen	32 kWh/kg	7.0 kWh/kg	n.a.
- Waferherstellung	4.8 kWh/m²	5.6 kWh/m²	n.a.
- Zellenherstellung	17.7 kWh/m²		n.a.
- Panelherstellung	14.0 kWh/m²		34 kWh/m²

02.07.2021


Umweltfussabdruck Photovoltaikstrom, Update 2020

7

7

Marktsituation

kristallines Silizium 2018 in MW



treeze
fair life cycle thinking

Photovoltaic power in MW (based on actual production in 2018)

	Installations c-Si	Modules	Cells	Wafers	Polysilicon
Europe	12'383	3'468	582	455	15'244
Americas	16'004	4'103	308	0	10'105
Asia & Pacific	26'204	23'245	32'483	4'225	22'304
China	44'847	70'120	71'996	98'546	66'434

IEA PVPS Report T12-19:2020, based on IHS Markit Report 2019

Umrechnung von Tonnen Polysilicon zu MW
Leistung mit 3910 kg pro MW PV Leistung


02.07.2021

Umweltfussabdruck Photovoltaikstrom, Update 2020

8

8

Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung



treeze
fair life cycle thinking

g CO ₂ -eq/kWh	Mono-Si	Multi-Si	CdTe
Aktualisierung 2020	42.5	42.3	26.5
bisher ⁺	105.6	66.4	28.0
Änderung	- 60 %	- 36 %	- 5 %

UBP/kWh	Mono-Si	Multi-Si	CdTe
Aktualisierung 2020	82	82	59
bisher ⁺	144	111	64
Änderung	- 43 %	- 26 %	- 2.5 %

1 kWh Wechselstrom; Produktion (Europa): 975 kWh/kWp, inkl. Degradation (linear, 0.7%/a). Lebensdauer: 30 Jahre (Panel), 15 Jahre (Wechselrichter)

⁺: Grundlage: KBOB-Empfehlung 2009/1:2016


02.07.2021

Umweltfussabdruck Photovoltaikstrom,
Update 2020

9

9

Rückzahldauern nicht erneuerbare Primärenergie



treeze
fair life cycle thinking

Europamix ¹⁾ [Jahre]	Mono-Si	Multi-Si	CdTe
Aktualisierung 2020	1.2	1.2	0.9
bisher ³⁾	2.8	1.9	1.0
Änderung	- 56 %	- 35 %	- 7 %

CH-Mix 2018 ²⁾ [Jahre]	Mono-Si	Multi-Si	CdTe
Aktualisierung 2020	2.3	2.3	1.6
bisher ³⁾	5.2	3.5	1.8
Änderung	- 56 %	- 35 %	- 7 %

¹⁾ Europamix: Mix aller nicht erneuerbaren Kraftwerke im ENTSO-E Raum

²⁾ CH-Mix 2018: Produktion und kommerzieller Handel

³⁾ Grundlage: KBOB-Empfehlung 2009/1:2016

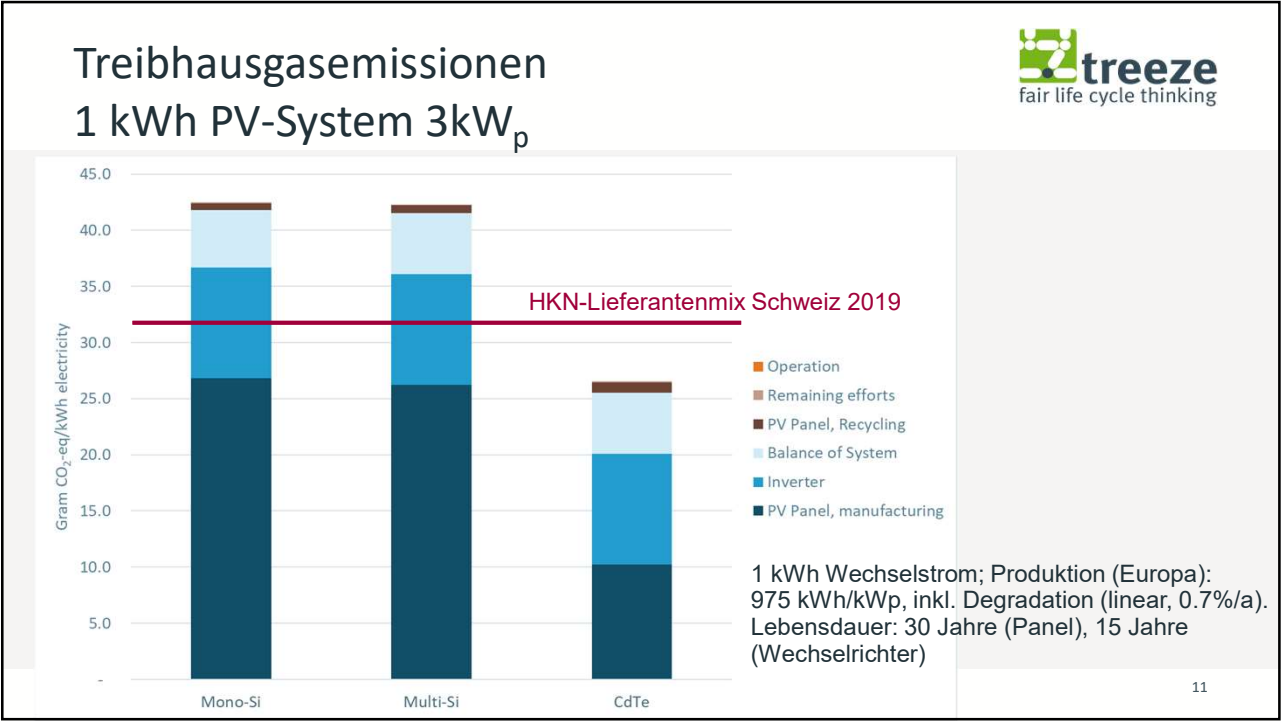
02.07.2021

Umweltfussabdruck Photovoltaikstrom,
Update 2020

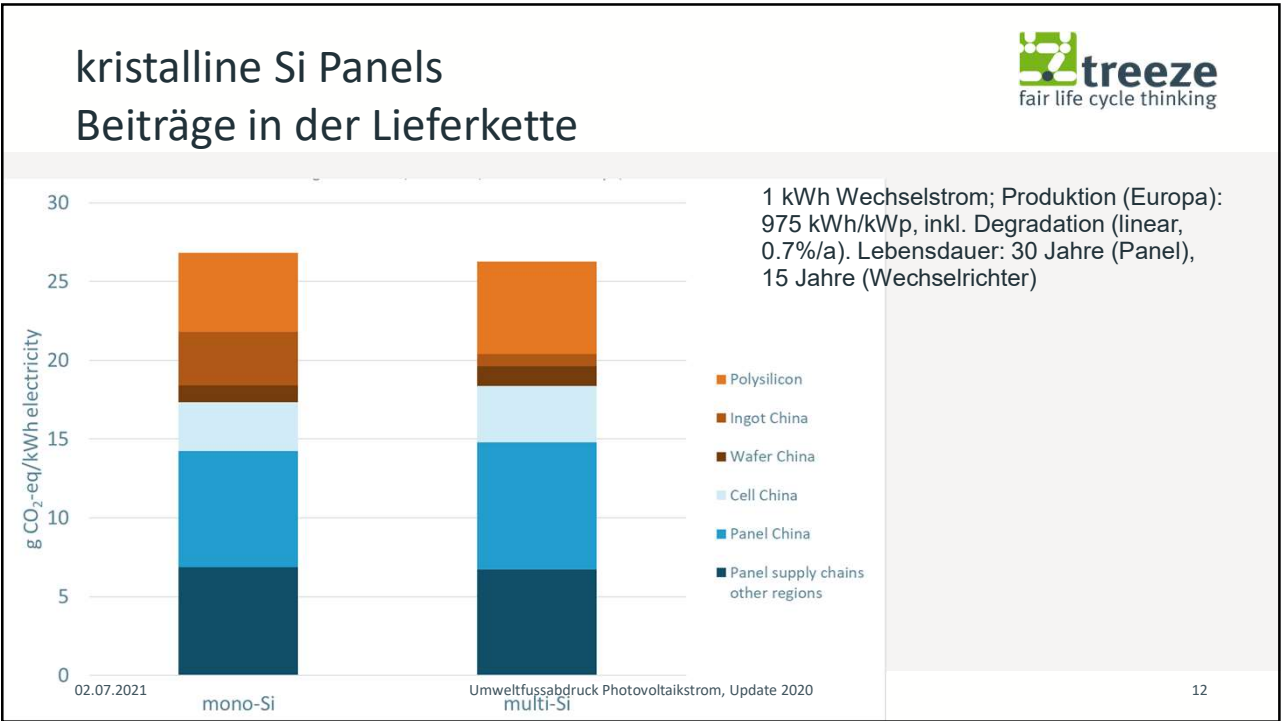
10

1 kWh Wechselstrom; Produktion (Europa): 975 kWh/kWp, inkl. Degradation (linear, 0.7%/a). Lebensdauer: 30 Jahre (Panel), 15 Jahre (Wechselrichter)

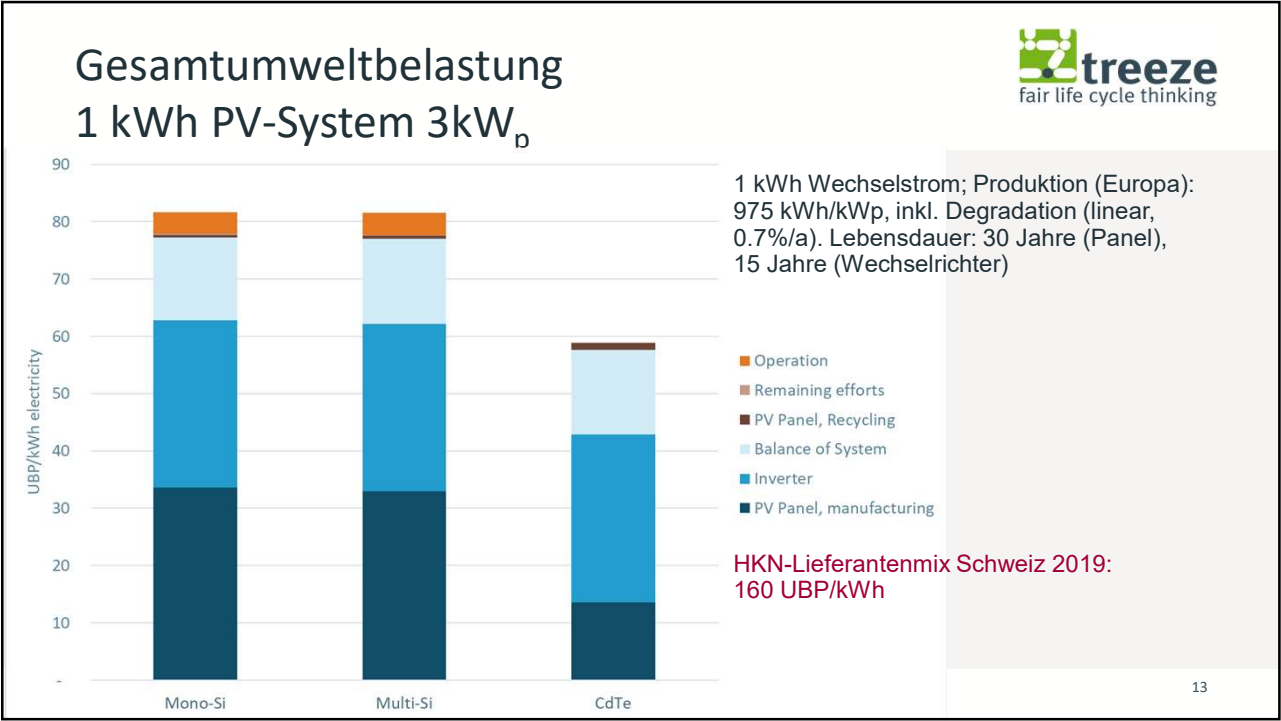
10



11



12



13

HKN-Lieferantenstrommix Schweiz 2019

Technologie	Produktion Schweiz	HKN Lieferanten-mix	HKN Schweiz	HKN Import
Erneuerbare Energien	68.05%	74.56%	56.72%	17.84%
Wasserkraft	56.40%	66.13%	48.75%	17.38%
Andere Erneuerbare	5.83%	2.13%	1.67%	0.46%
Geförderter Strom		6.30%	6.30%	0.00%
Nicht erneuerbare Energien	36.92%	20.41%	18.92%	1.49%
Kernenergie	35.15%	19.14%	18.69%	0.45%
Fossile Energieträger	0.88%	1.27%	0.23%	1.04%
Abfälle	1.75%	0.72%	0.70%	0.02%
Nicht überprüfbare Energieträger		4.31%	0.00%	4.31%
Total	100.0%	100.00%	76.3%	23.7%

02.07.2021

Umweltfussabdruck Photovoltaikstrom, Update 2020

pronovo 2020
14

14

Sozialverträgliche Produktion in den Lieferketten kristalliner Si-Panels



- China produziert
 - knapp 60% des Polysiliziums
 - über 95% der Silizium-Wafer für PV
- Polysilizium-Produktion in Xinjiang, China steht unter dem Verdacht der Zwangsarbeit von Uigur*innen
- Erste Importverbote für Rohstoffe aus Xinjiang (USA für Baumwolle)
- Keine unabhängige Überprüfung möglich



Im Dilemma: Schweizer Firmen in Xinjiang
Aus Tagesschau vom 10.06.2021.

News > Wirtschaft >

China dominiert den Markt

Solarpanels: grüner Strom, dreckige Herkunft?

02.07.2021

Umweltfussabdruck Photovoltaikstrom,
Update 2020

15

15

Social Accountability (SA) 8000 International Standard



- Standard verlangt Nachweise über die gesamte Lieferkette, dass
 - keine Kinderarbeit
 - keine Zwangsarbeit
 - Richtlinien zu Gesundheit und Sicherheit
 - weiteres



16

Folgerungen und Ausblick



- Umweltfussabdruck von PV Strom deutlich gesenkt
- Treibhausgasemissionen deutlich unter 50 g CO₂-eq/kWh
- Herausforderungen
 - für die Schweizer Energie- und Klimastrategie: Anrechenbarkeit der HKN europäischer Wasserkraft
 - Für PV Industrie: Einhalten minimaler Sozialstandards in der Lieferkette

02.07.2021

Umweltfussabdruck Photovoltaikstrom,
Update 2020

17

17



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt: Rolf Frischknecht

frischknecht@treeze.ch

www.treeze.ch

Verdankung:

Finanzierung:

Bundesamt für Energie,
Bundesamt für Umwelt,
Amt für Hochbauten der Stadt Zürich

Daten und Review:

IEA PVPS Task 12 Expertinnen und Experten


02.07.2021

Umweltfussabdruck Photovoltaikstrom, Update 2020

18

18

Bill of Materials

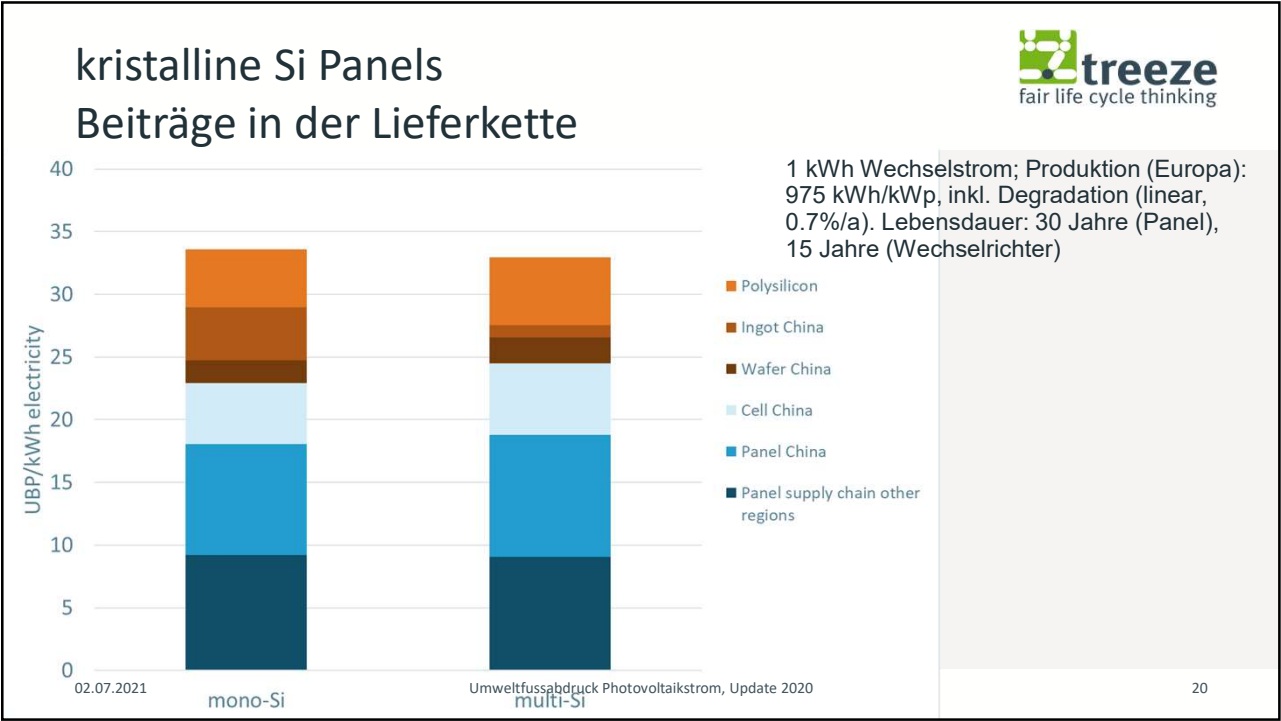


Material		photovoltaic module (laminated/unframed and panel/frame)			
		Mono-Si	Multi-Si	CR(G)S	CdTe
Source		PVPS Task 12 2020	PVPS Task 12 2020	Jauchluth et al. 2012	PVPS Task 12 2020
Laminated/unframed	Subtotal wafer / semiconductor	5.89%	6.11%	0.06%	0.15%
	silicon for photovoltaics	5.89%	6.11%	0.00%	0.00%
	indium	0.00%	0.00%	0.02%	0.00%
	cadmium telluride	0.00%	0.00%	0.00%	0.14%
	cadmium sulphide	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	gallium	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%
	selenium	0.00%	0.00%	0.04%	0.00%
	Subtotal metals	1.47%	1.46%	0.55%	0.89%
	aluminium	0.39%	0.39%	0.00%	0.00%
	aluminium, production mix	0.00%	0.00%	0.30%	0.00%
	copper	0.92%	0.92%	0.07%	0.08%
	lead	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%
	molybdenum	0.00%	0.00%	0.04%	0.00%
	silver	0.03%	0.03%	0.00%	0.00%
	chromium steel	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
	tin	0.12%	0.12%	0.08%	0.00%
	zinc oxide	0.00%	0.00%	0.06%	0.00%
	Subtotal plastics	13.31%	13.28%	12.20%	3.28%
	ethylvinylacetate	7.88%	7.86%	5.05%	2.38%
	polyvinylfluoride film	1.01%	1.00%	0.00%	0.00%
	polyvinylbutyral foil	0.00%	0.00%	1.27%	0.00%
	polyphenylene sulfide	0.00%	0.00%	0.58%	0.00%
	polyethylene terephthalate, PET	3.11%	3.10%	2.26%	0.00%
	polyethylene, HDPE	0.21%	0.21%	0.33%	0.00%
	glass fibre reinforced plastic, polyamide	0.00%	0.00%	0.00%	0.67%
	silicone product	1.10%	1.09%	2.72%	0.23%
	Subtotal solar glass	79.34%	79.15%	87.19%	96.48%
	flat glass	0.00%	0.00%	35.43%	46.75%
	solar glass	79.34%	79.15%	51.76%	49.73%
Panel/frame	Subtotal metals panel	19.13%	19.09%	14.79%	2.03%
	aluminium alloy	19.13%	19.09%	14.79%	2.03%
Total laminated/unframed		100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Total panel/frame		119.13%	119.09%	114.79%	102.03%

02.07.2021

19

19



20

Quellen



- Fraunhofer ISE, Photovoltaics Report (16 September 2020), Freiburg, Germany, 2020
- Frischknecht R., Stolz P., Krebs L., de Wild-Scholten M., Sinha P. and Raugei M. (2020) Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems, Report T12-19:2020. International Energy Agency, IEA, Paris.
- Frischknecht R., Stolz P., Heath G., Raugei M., Sinha P. and de Wild-Scholten M. (2020) Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity, 4th edition, IEA-PVPS T12-18:2020. International Energy Agency, IEA, Paris.
- IHS Markit, market report 2019
- G. Masson and I. Kaizuka, Trends in Photovoltaic Applications 2019, IEA PVPS Task 1, Report T1-36:2019, 2019
- M. Raugei, R. Frischknecht, C. Olson, P. Sinha, and G. Heath, Methodological guidelines on Net Energy Analysis of Photovoltaic Electricity, IEA-PVPS Task 12, Report T12-07: 2016
- VDMA, International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV) - 2019 Results, Vol. Eleventh Edition, VDMA Photovoltaic equipment, 2020
- M. Woodhouse, B. Smith, A. Ramdas, and R. Margolis, Crystalline Silicon Photovoltaic Module Manufacturing Costs and Sustainable Pricing: 1H 2018 Benchmark and Cost Reduction Road Map, NREL, Golden, CO, USA, 2019

02.07.2021

Umweltfussabdruck Photovoltaikstrom,
Update 2020

21

21

Impressum



- **Copyright**
Der Inhalt dieses Foliensatzes unterliegt dem Copyright von treeze Ltd.
- **Haftungsausschluss**
Die in diesem Bericht enthaltenen Informationen stammen aus zuverlässigen Quellen. Die Autoren und treeze GmbH lehnen jedoch jegliche Haftung für Schäden oder Verluste ab, die durch die Verwendung dieser Angaben entstehen könnten. Die Verantwortung für die Nutzung der Informationen liegt ausschliesslich bei den sie Verwendenden.
- **Umfang dieses Dokuments**
Dieser Foliensatz hat 17 Seiten
- **Version**
1.0, 23.12.2020

02.07.2021

Umweltfussabdruck Photovoltaikstrom,
Update 2020

22

22