

# Ökobilanz

## Strom aus Photovoltaikanlagen

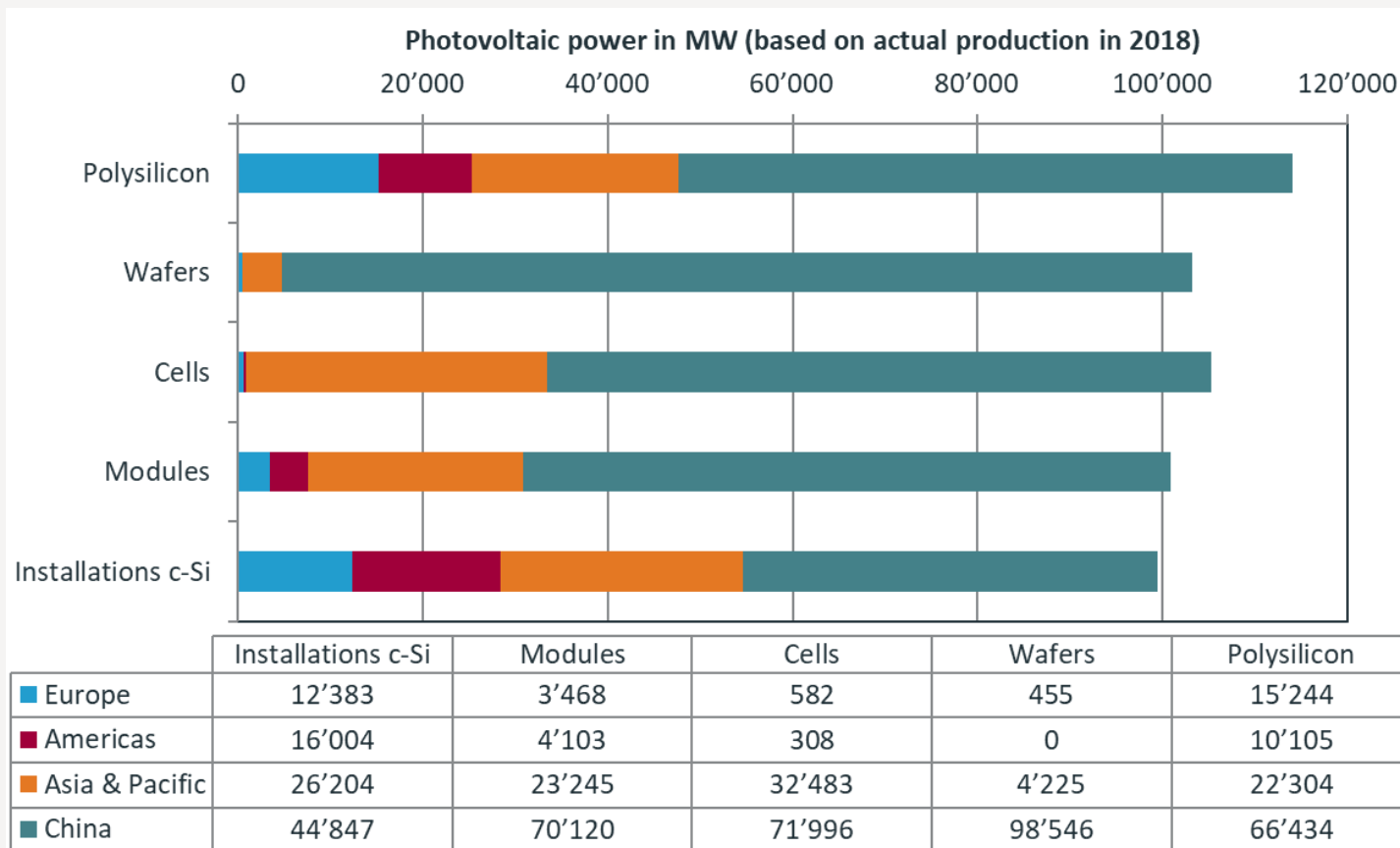
### Update 2020

Dr. Rolf Frischknecht, Luana Krebs  
treeze Ltd.

Factsheet, v1.0  
23. Dezember 2020

# Marktsituation

## kristallines Silizium 2018 in MW



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

# Umweltfussabdruck PV: Untersuchungsrahmen

- **Bezugsgrösse:**  
1 kWh Wechselstrom, erzeugt mit einem PV System von  $3\text{kW}_p$
- **Jahresproduktion:**  
 $975 \text{ kWh/kW}_p$
- **Lebensdauer:**  
30 Jahre (Panel), 15 Jahre (Wechselrichter)
- **PV Technologien**
  - Cadmium-Tellurid (CdTe)
  - Copper-Indium-Gallium-Selenid (CIS/CIGS)
  - Multikristallines Silizium (multi-Si)
  - Monokristallines Silizium (mono-Si)

- **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**

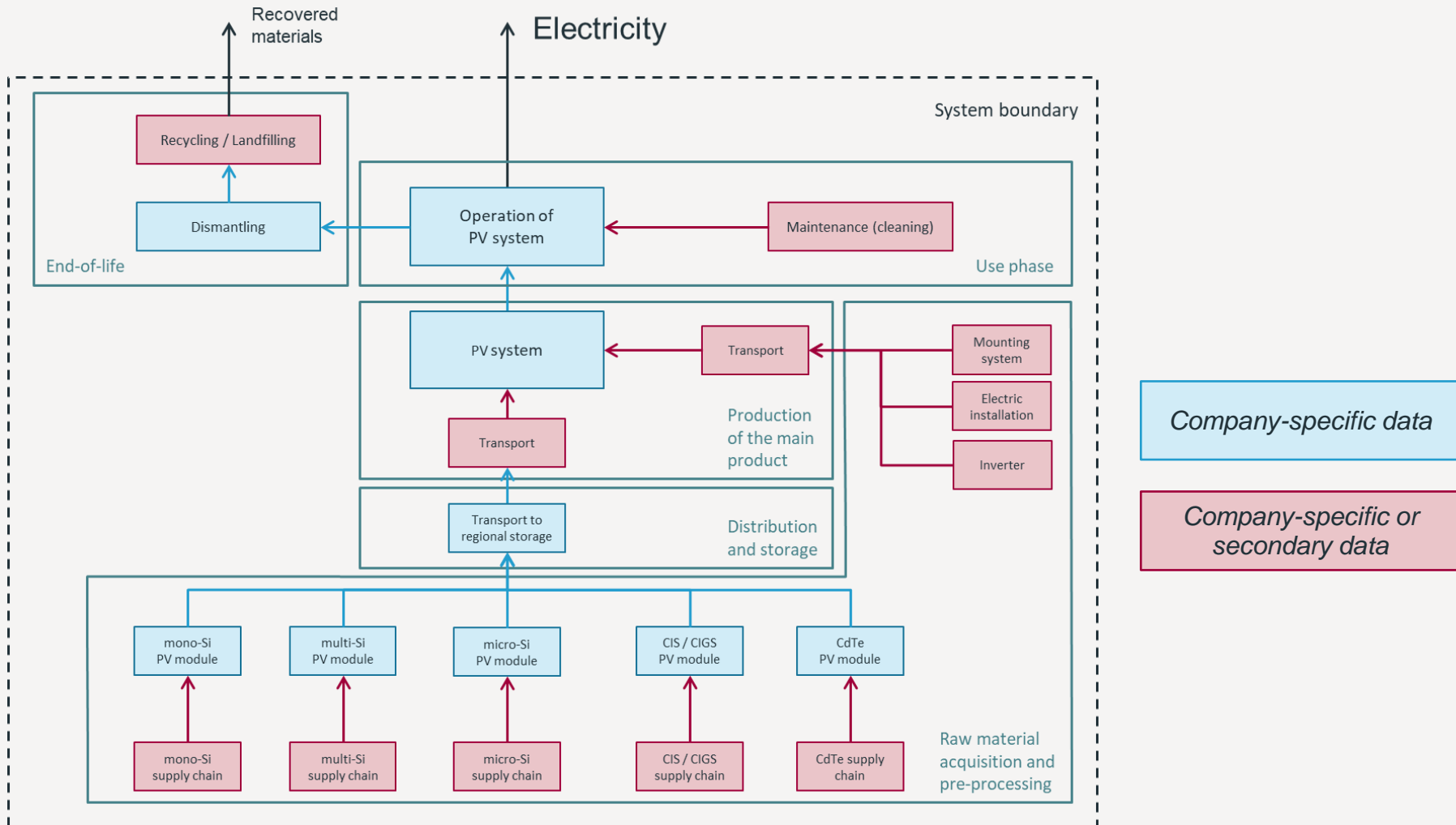
# Schlüsselparameter und -daten

Aktualisierung 2020	mono-Si	multi-si	CdTe	CIS
Moduleffizienz	19.5 %	18.0 %	18 %	16.0 %
Waferdicke	170 µm	180 µm	n.a.	n.a.
Sägespalt	65 µm	65 µm	n.a.	n.a.
Weitere Verluste	20.5 µm	27.5 µm	n.a.	n.a.
Glasdicke	3.2 mm	3.2 mm	3.2+3.2 mm 2.1+2.8 mm	3.2 mm
Strombedarf				
- MG Silizium Herstellung	11 kWh/kg		n.a.	n.a.
- Polysilizium-Herstellung	49 kWh/kg		n.a.	n.a.
- Einkristallziehen / Blockgiessen	32 kWh/kg	7.0 kWh/kg	n.a.	n.a.
- Waferherstellung	4.8 kWh/m <sup>2</sup>	5.6 kWh/m <sup>2</sup>	n.a.	n.a.
- Zellenherstellung	17.7 kWh/m <sup>2</sup>		n.a.	n.a.
- Panelherstellung	14.0 kWh/m <sup>2</sup>		34 kWh/m <sup>2</sup>	45 kWh/m <sup>2</sup>

# Bill of Materials

Material		Photovoltaic module (laminate/unframed and panel/framed)				
		Mono-Si	Multi-Si	CI(G)S	CdTe	
Source		PVPS Task 12 2020	PVPS Task 12 2020	Jungbluth et al. 2012	PVPS Task 12 2020	
Laminate/unframed	<b>Subtotal wafer / semiconductor</b>		<b>5.89%</b>	<b>6.11%</b>	<b>0.06%</b>	<b>0.15%</b>
	Wafer / semiconductor	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%
	<b>Subtotal metals</b>		<b>1.47%</b>	<b>1.46%</b>	<b>0.55%</b>	<b>0.09%</b>
	Metals	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%	
	<b>Subtotal plastics</b>		<b>13.31%</b>	<b>13.28%</b>	<b>12.20%</b>	<b>3.28%</b>
	Plastics	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%		
<b>Subtotal solar glass</b>		<b>79.34%</b>	<b>79.15%</b>	<b>87.19%</b>	<b>96.48%</b>	
Solar glass	flat glass	0.00%	0.00%	35.43%	46.75%	
	solar glass	79.34%	79.15%	51.76%	49.73%	
Panel/frame	<b>Subtotal metals panel</b>		<b>19.13%</b>	<b>19.09%</b>	<b>14.79%</b>	<b>2.03%</b>
	Metals	aluminium alloy	19.13%	19.09%	14.79%	2.03%
<b>Total laminate/unframed</b>		<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>	
<b>Total panel/framed</b>		<b>119.13%</b>	<b>119.09%</b>	<b>114.79%</b>	<b>102.03%</b>	

# Systemgrenze



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



# Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung

g CO <sub>2</sub> -eq/kWh	Mono-Si	Multi-Si	CIS	CdTe
Aktualisierung 2020	42.5	42.3	36.3	26.5
bisher <sup>+</sup>	105.6	66.4	45.9	28.0
Änderung	- 60 %	- 36 %	- 21 %	- 5 %

UBP/kWh	Mono-Si	Multi-Si	CIS	CdTe
Aktualisierung 2020	82	82	160 *	59
bisher <sup>+</sup>	144	111	223	64
Änderung	- 43 %	- 26 %	- 28 %	- 2.5 %

<sup>+</sup>: Grundlage für PV-Kennwerte der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016

\*: davon rund 80 UBP durch die Ressource "Indium"

- Die Umweltbilanzkennwerte der Inverter sind höher als bisher

- End of Life Behandlung neu Teil der Bilanz

# Rückzahldauern nicht erneuerbare Primärenergie

Europamix <sup>1)</sup> [Jahre]	Mono-Si	Multi-Si	CIS	CdTe
Aktualisierung 2020	1.2	1.2	1.3	0.9
bisher <sup>3)</sup>	2.8	1.9	1.6	1.0
Änderung	- 56 %	- 35 %	- 22 %	- 7 %

CH-Mix 2018 <sup>2)</sup> [Jahre]	Mono-Si	Multi-Si	CIS	CdTe
Aktualisierung 2020	2.3	2.3	2.3	1.6
bisher <sup>3)</sup>	5.2	3.5	3.0	1.8
Änderung	- 56 %	- 35 %	- 22 %	- 7 %

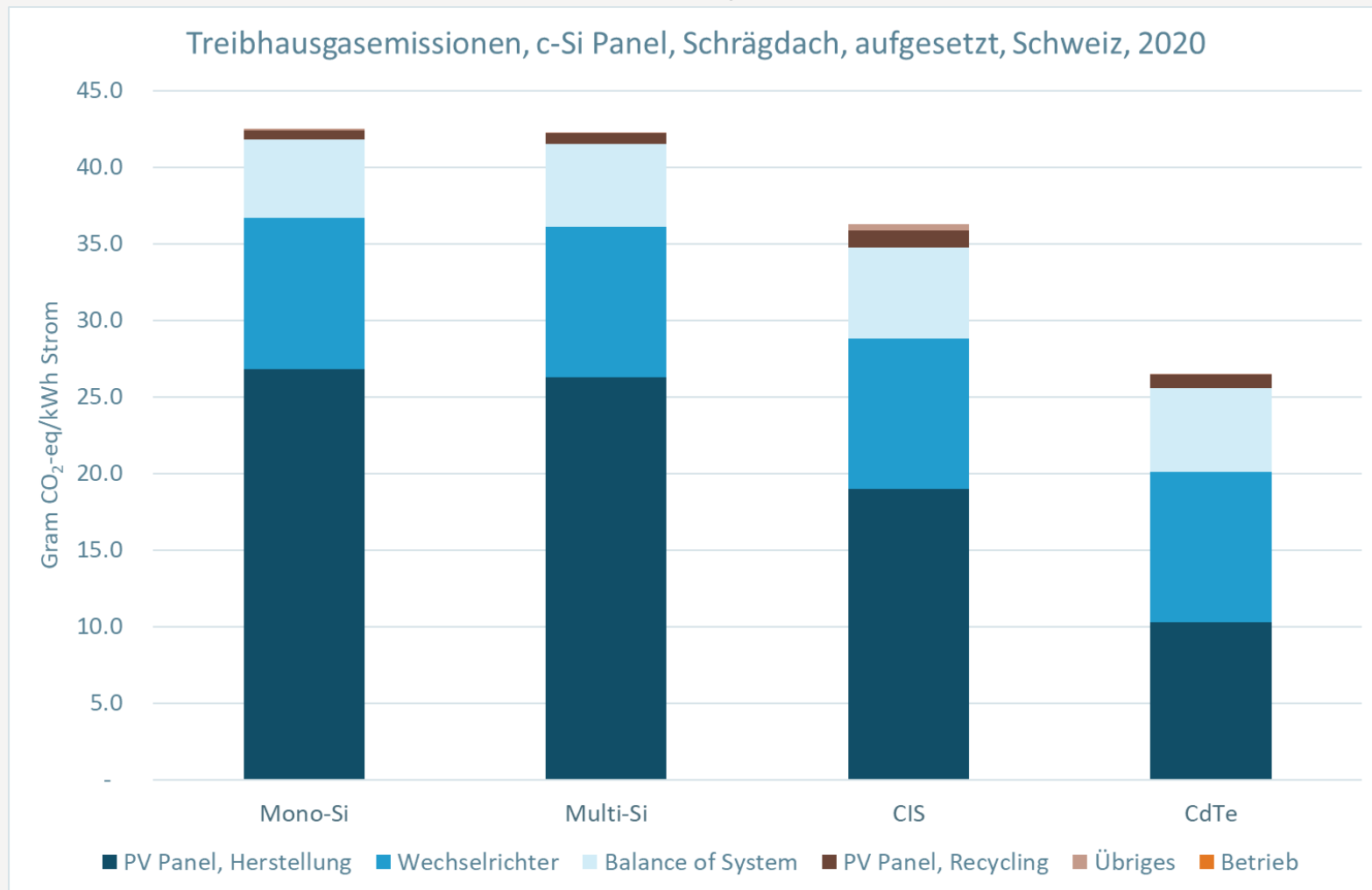
<sup>1)</sup> Europamix: Mix aller nicht erneuerbaren Kraftwerke im ENTSO-E Raum

<sup>2)</sup> CH-Mix 2018: Produktion und kommerzieller Handel

<sup>3)</sup> Grundlage für PV-Kennwerte der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016

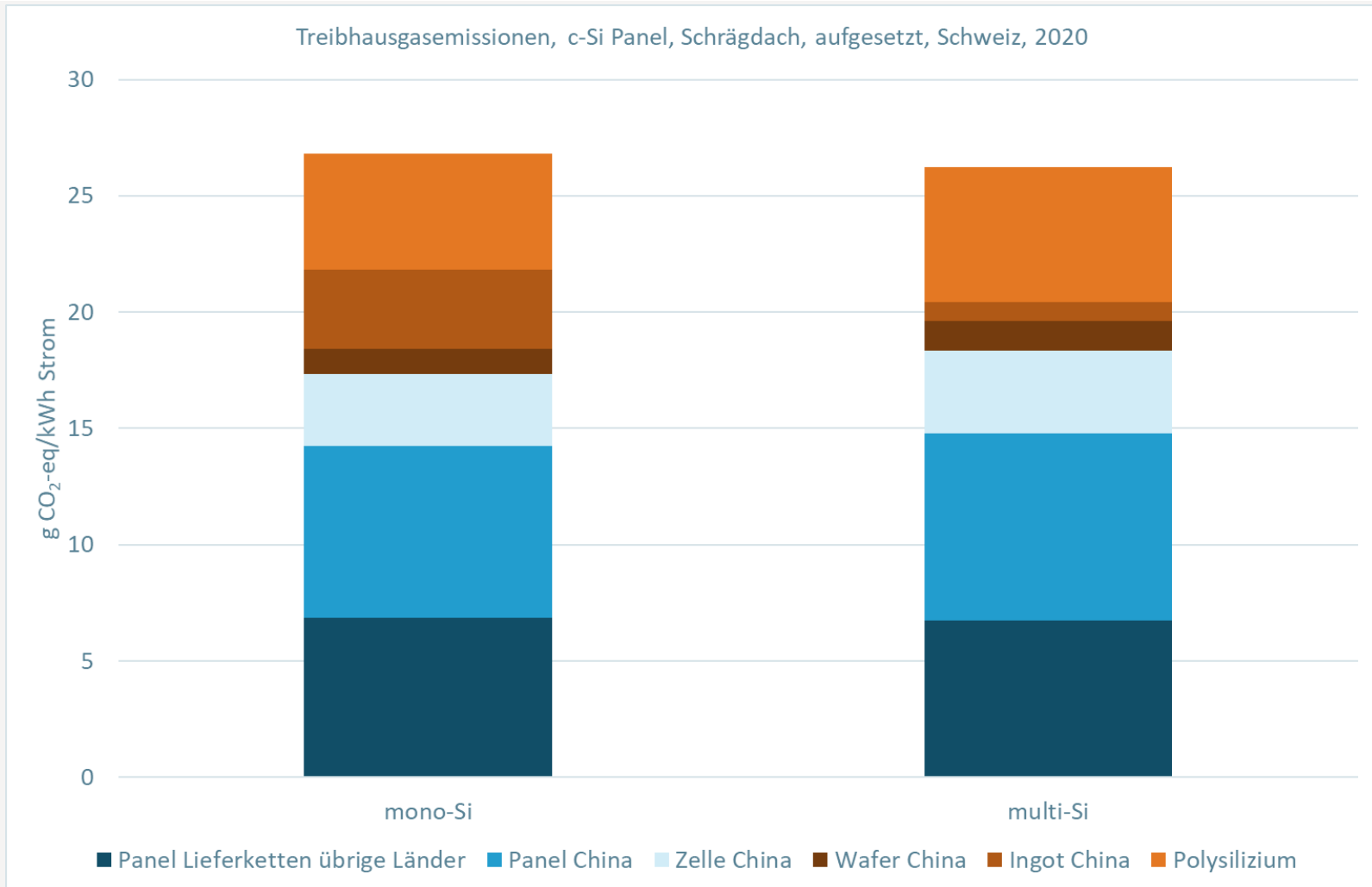
# Treibhausgasemissionen

## 1 kWh PV-System 3kW<sub>p</sub>



# kristalline Si Panels

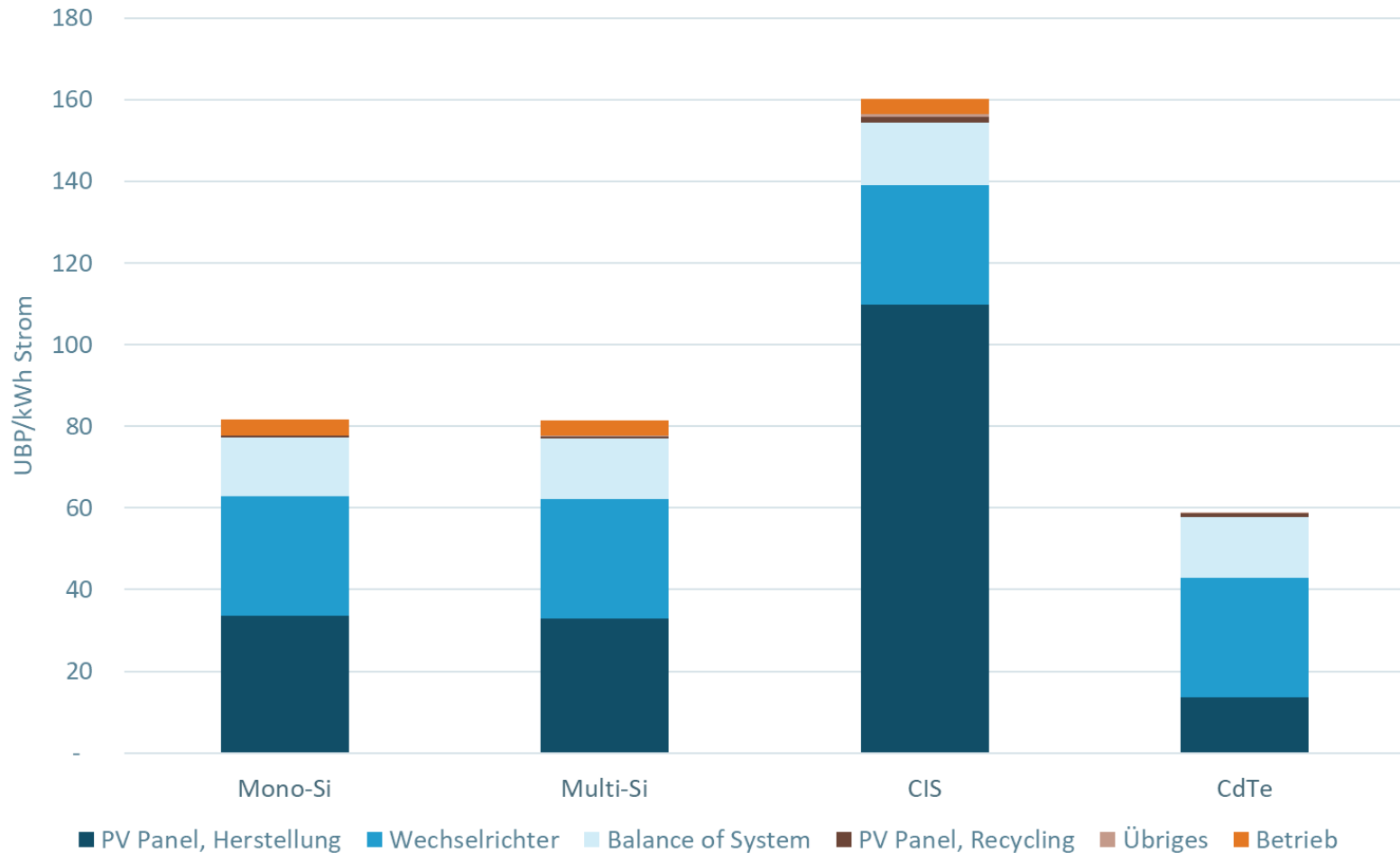
## Beiträge in der Lieferkette



# Gesamtumweltbelastung

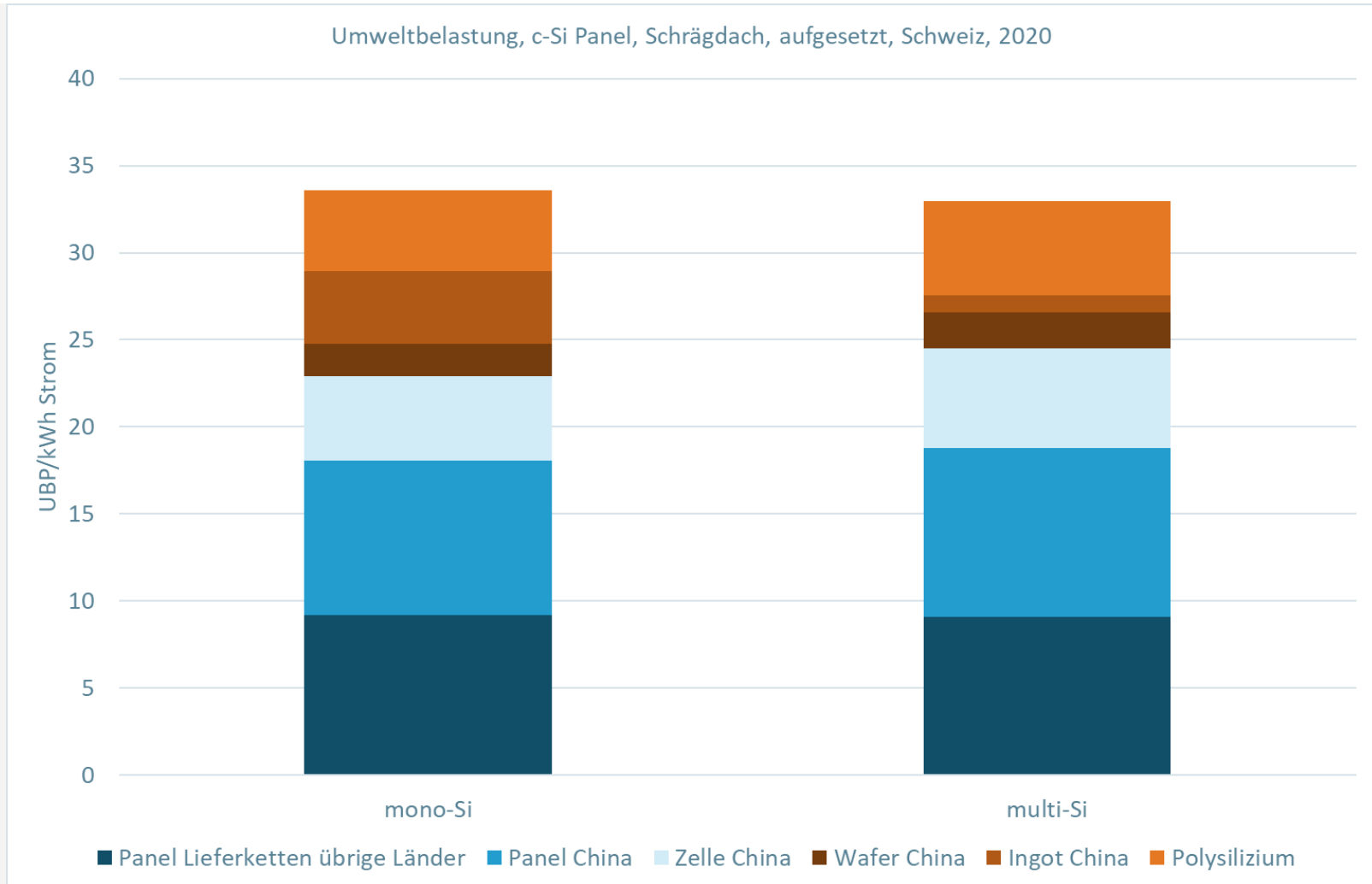
## 1 kWh PV-System 3kW<sub>p</sub>

Umweltbelastung PV-Systeme, Schrägdach, aufgesetzt, Schweiz, 2020



# kristalline Si Panels

## Beiträge in der Lieferkette



- 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

- **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



Kontakt: Rolf Frischknecht

[frischknecht@treeze.ch](mailto:frischknecht@treeze.ch)

[www.treeze.ch](http://www.treeze.ch)

Verdankung:

Bundesamt für Energie, Bundesamt für Umwelt, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich  
IEA PVPS Task 12 Expertinnen und Experten