

ADAPTION VON PHOTOVOLTAIK- DATENSÄTZEN AUS UVEK-DATENBANK FÜR ECOINVENT V3.3

ARBEITSDOKUMENT

Datum: 21.07.2020

Projekt: InNOSys

INEC

INSTITUTE FOR
INDUSTRIAL ECOLOGY



Heidi Hottenroth

Hochschule Pforzheim
Institut für Industrial Ecology
Tiefenbronner Str. 65
75175 Pforzheim

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	2
2	PV-Datensätze in UVEK-Datenbank.....	2
2.1	Aufstellung Datensätze	2
2.2	Märkte	5
3	Dokumentation UVEK-Übersetzung	7
3.1	Anpassungen bei vorgelagerten Prozessen.....	7
3.2	Anpassungen bei Flüssen	7
4	Plausibilisierung UVEK-Übersetzung	10
4.1	Vorgehensweise	10
4.2	Ergebnisse.....	10
4.2.1	Si	10
4.2.2	CdTe.....	12
4.2.3	CIS.....	13
4.2.4	Zelltypen-Vergleich.....	13
4.3	Zusammenfassung und Fazit	15
5	Neue Datensätze für Freiflächenanlagen	15
5.1	570 kWp open ground installation, multi-Si, on open ground/p/DE/I – DE	16
5.2	570 kWp open ground installation, single-Si, on open ground/p/DE/I – DE.....	16
5.3	570 kWp open ground installation, CdTe, on open ground/p/DE/I – DE.....	16
5.4	1.3 MWp open ground installation, multi-Si, panel, on open ground/p/DE/I – DE	16
5.5	1.3 MWp open ground installation, single-Si, panel, on open ground/p/DE/I – DE	17
5.6	1.3 MWp open ground installation, CdTe, panel, on open ground/p/DE/I – DE	17
5.7	Zelltypen-Vergleich.....	17
6	Literatur	19
7	Anhang	20
7.1	Wasser	20
7.2	Märkte	21

1 EINLEITUNG

Die in der Datenbank ecoinvent v3.3, mit der im Projekt gearbeitet wird, vorhandenen Daten zu PV-Anlagen sind veraltet. Vor allem den in China stattfindenden Prozessen wird keine Rechnung getragen. In der Schweizer UVEK¹-Datenbank bzw. ecoinvent v2.2+ wurden PV-Datensätze mit Daten aus den Jahren 2005-2011 aktualisiert. Die entsprechende Veröffentlichung ist Frischknecht et al. (2016), wobei die chinesische Prozesskette für multi-Si und single-Si auch separat in Itten und Frischknecht (2014) veröffentlicht wurde. Diese Datensätze lassen sich jedoch nicht direkt für das Projekt nutzen, da die Hintergrunddaten auf ecoinvent v2.2 beruhen, im Projekt jedoch mit ecoinvent v3.3 gearbeitet wird.

2 PV-DATENSÄTZE IN UVEK-DATENBANK

2.1 AUFSTELLUNG DATENSÄTZE

- In der folgenden Aufstellung werden alle PV-Datensätze in der UVEK-Datenbank aufgeführt
- markierte Datensätze müssten/sollten in ecoinvent v3 überführt werden
- Rot: hohe Priorität (Anzahl: 6); blau: Datensätze müssten entweder übersetzt oder entsprechende Datensätze in v3 mit den Vorketten aus UVEK angepasst werden

¹ Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation

■ photovoltaic_PVPS ■ power plants ▼ production of components - P 3kWp facade installation, multi-Si, laminated, integrated, at building/p/APAC/I - P 3kWp facade installation, multi-Si, laminated, integrated, at building/p/CH/I - P 3kWp facade installation, multi-Si, laminated, integrated, at building/p/CN/I - P 3kWp facade installation, multi-Si, laminated, integrated, at building/p/RER/I - P 3kWp facade installation, multi-Si, laminated, integrated, at building/p/US/I - P 3kWp facade installation, multi-Si, panel, mounted, at building/p/APAC/I - P 3kWp facade installation, multi-Si, panel, mounted, at building/p/CH/I - P 3kWp facade installation, multi-Si, panel, mounted, at building/p/CN/I - P 3kWp facade installation, multi-Si, panel, mounted, at building/p/RER/I - P 3kWp facade installation, multi-Si, panel, mounted, at building/p/US/I - P 3kWp facade installation, single-Si, laminated, integrated, at building/p/APAC/I - P 3kWp facade installation, single-Si, laminated, integrated, at building/p/CH/I - P 3kWp facade installation, single-Si, laminated, integrated, at building/p/CN/I - P 3kWp facade installation, single-Si, laminated, integrated, at building/p/RER/I - P 3kWp facade installation, single-Si, laminated, integrated, at building/p/US/I - P 3kWp facade installation, single-Si, panel, mounted, at building/p/APAC/I - P 3kWp facade installation, single-Si, panel, mounted, at building/p/CH/I - P 3kWp facade installation, single-Si, panel, mounted, at building/p/CN/I - P 3kWp facade installation, single-Si, panel, mounted, at building/p/RER/I - P 3kWp facade installation, single-Si, panel, mounted, at building/p/US/I - P 3kWp flat roof installation, multi-Si, on roof/p/APAC/I - P 3kWp flat roof installation, multi-Si, on roof/p/CH/I - P 3kWp flat roof installation, multi-Si, on roof/p/CN/I - P 3kWp flat roof installation, multi-Si, on roof/p/RER/I - P 3kWp flat roof installation, multi-Si, on roof/p/US/I - P 3kWp flat roof installation, single-Si, on roof/p/APAC/I - P 3kWp flat roof installation, single-Si, on roof/p/CH/I - P 3kWp flat roof installation, single-Si, on roof/p/CN/I - P 3kWp flat roof installation, single-Si, on roof/p/RER/I - P 3kWp flat roof installation, single-Si, on roof/p/US/I - P 3kWp slanted-roof installation, CIS, panel, mounted, on roof/p/CH/I - P 3kWp slanted-roof installation, CdTe, laminated, integrated, on roof/p/CH/I - P 3kWp slanted-roof installation, CdTe, panel, mounted, on roof/p/CH/I - P 3kWp slanted-roof installation, a-Si, laminated, integrated, on roof/p/CH/I - P 3kWp slanted-roof installation, a-Si, panel, mounted, on roof/p/CH/I - P 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, laminated, integrated, on roof/p/APAC/I - P 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, laminated, integrated, on roof/p/CH/I - P 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, laminated, integrated, on roof/p/CN/I - P 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, laminated, integrated, on roof/p/RER/I - P 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, laminated, integrated, on roof/p/US/I - P 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted, on roof/p/APAC/I - P 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted, on roof/p/CH/I - P 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted, on roof/p/CN/I - P 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted, on roof/p/RER/I	- P 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted, on roof/p/US/I - P 3kWp slanted-roof installation, ribbon-Si, laminated, integrated, on roof/p/CH/I - P 3kWp slanted-roof installation, ribbon-Si, panel, mounted, on roof/p/CH/I - P 3kWp slanted-roof installation, single-Si, laminated, integrated, on roof/p/APAC/I - P 3kWp slanted-roof installation, single-Si, laminated, integrated, on roof/p/CH/I - P 3kWp slanted-roof installation, single-Si, laminated, integrated, on roof/p/CN/I - P 3kWp slanted-roof installation, single-Si, laminated, integrated, on roof/p/RER/I - P 3kWp slanted-roof installation, single-Si, laminated, integrated, on roof/p/US/I - P 3kWp slanted-roof installation, single-Si, panel, mounted, on roof/p/APAC/I - P 3kWp slanted-roof installation, single-Si, panel, mounted, on roof/p/CH/I - P 3kWp slanted-roof installation, single-Si, panel, mounted, on roof/p/CN/I - P 3kWp slanted-roof installation, single-Si, panel, mounted, on roof/p/RER/I - P 3kWp slanted-roof installation, single-Si, panel, mounted, on roof/p/US/I - P CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant/kg/APAC - P CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant/kg/CN - P CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant/kg/RER - P CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant/kg/US - P electric installation, photovoltaic plant, at plant/p/CH/I - P facade construction, integrated, at building/m2/RER/I - P facade construction, mounted, at building/m2/RER/I - P flat roof construction, on roof/m2/RER/I - P metallization paste, back side, aluminium, at plant/kg/RER - P metallization paste, back side, at plant/kg/RER - P metallization paste, front side, at plant/kg/RER - P multi-Si wafer, at plant/m2/APAC - P multi-Si wafer, at plant/m2/CN - P multi-Si wafer, at plant/m2/RER - P multi-Si wafer, at plant/m2/US - P multi-Si wafer, at regional storage/m2/APAC - P multi-Si wafer, at regional storage/m2/RER - P multi-Si wafer, at regional storage/m2/US - P open ground construction, on ground, Mont Soleil/m2/CH/I - P open ground construction, on ground/m2/RER/I - P photovoltaic cell factory/p/DE/I - P photovoltaic cell, multi-Si, at plant/m2/APAC - P photovoltaic cell, multi-Si, at plant/m2/CN - P photovoltaic cell, multi-Si, at plant/m2/RER - P photovoltaic cell, multi-Si, at plant/m2/US - P photovoltaic cell, single-Si, at plant/m2/APAC - P photovoltaic cell, single-Si, at plant/m2/CN - P photovoltaic cell, single-Si, at plant/m2/RER - P photovoltaic cell, single-Si, at plant/m2/US - P photovoltaic laminate, CIS, at plant/m2/DE/I - P photovoltaic laminate, CdTe, at plant/m2/DE/I - P photovoltaic laminate, CdTe, at plant/m2/MY/I - P photovoltaic laminate, CdTe, at plant/m2/US/I - P photovoltaic laminate, CdTe, mix, at regional storage/m2/RER/I - P photovoltaic laminate, CdTe, production US, at regional storage/m2/RER/I
--	---

P photovoltaic laminate, a-Si, at plant/m2/US/I

P photovoltaic laminate, multi-Si, at plant/m2/APAC/I

P photovoltaic laminate, multi-Si, at plant/m2/CN/I

P photovoltaic laminate, multi-Si, at plant/m2/RER/I

P photovoltaic laminate, multi-Si, at plant/m2/US/I

P photovoltaic laminate, multi-Si, at regional storage/m2/RER/I

P photovoltaic laminate, multi-Si, at regional storage/m2/US/I

P photovoltaic laminate, single-Si, at plant/m2/APAC/I

P photovoltaic laminate, single-Si, at plant/m2/CN/I

P photovoltaic laminate, single-Si, at plant/m2/RER/I

P photovoltaic laminate, single-Si, at plant/m2/US/I

P photovoltaic laminate, single-Si, at regional storage/m2/RER/I

P photovoltaic laminate, single-Si, at regional storage/m2/US/I

P photovoltaic panel factory CdTe/p/US/I

P photovoltaic panel factory/p/GLO/I

P photovoltaic panel, CIS, at plant/m2/DE/I

P photovoltaic panel, a-Si, at plant/m2/US/I

P photovoltaic panel, multi-Si, at plant/m2/APAC/I

P photovoltaic panel, multi-Si, at plant/m2/CN/I

P photovoltaic panel, multi-Si, at plant/m2/RER/I

P photovoltaic panel, multi-Si, at plant/m2/US/I

P photovoltaic panel, multi-Si, at regional storage/m2/RER/I

P photovoltaic panel, multi-Si, at regional storage/m2/US/I

P photovoltaic panel, single-Si, at plant/m2/APAC/I

P photovoltaic panel, single-Si, at plant/m2/CN/I

P photovoltaic panel, single-Si, at plant/m2/RER/I

P photovoltaic panel, single-Si, at plant/m2/US/I

P photovoltaic panel, single-Si, at regional storage/m2/RER/I

P photovoltaic panel, single-Si, at regional storage/m2/US/I

P single-Si wafer, photovoltaics, at plant/m2/APAC

P single-Si wafer, photovoltaics, at plant/m2/CN

P single-Si wafer, photovoltaics, at plant/m2/RER

P single-Si wafer, photovoltaics, at plant/m2/US

P single-Si wafer, photovoltaics, at regional storage/m2/APAC

P single-Si wafer, photovoltaics, at regional storage/m2/RER

P single-Si wafer, photovoltaics, at regional storage/m2/US

P slanted-roof construction, integrated, on roof/m2/RER/I

P slanted-roof construction, mounted, on roof, Stade de Suisse/m2/CH/I

P slanted-roof construction, mounted, on roof/m2/RER/I

P wafer factory/p/DE/I

■ refinement

P silicon, electronic grade, at plant/kg/APAC

P silicon, electronic grade, at plant/kg/CN

P silicon, electronic grade, at plant/kg/DE

P silicon, electronic grade, at plant/kg/US

P silicon, electronic grade, off-grade, at plant/kg/APAC

P silicon, electronic grade, off-grade, at plant/kg/CN

P silicon, electronic grade, off-grade, at plant/kg/DE

P silicon, electronic grade, off-grade, at plant/kg/US

P silicon, multi-Si, casted, at plant/kg/APAC

P silicon, multi-Si, casted, at plant/kg/CN

P silicon, multi-Si, casted, at plant/kg/RER

P silicon, multi-Si, casted, at plant/kg/US

P silicon, production mix, photovoltaics, at plant/kg/APAC

P silicon, production mix, photovoltaics, at plant/kg/CN

P silicon, production mix, photovoltaics, at plant/kg/GLO

P silicon, production mix, photovoltaics, at plant/kg/US

P silicon, solar grade, fluidised bed reactor (FBR), at plant/kg/APAC

P silicon, solar grade, fluidised bed reactor (FBR), at plant/kg/CN

P silicon, solar grade, fluidised bed reactor (FBR), at plant/kg/RER

P silicon, solar grade, fluidised bed reactor (FBR), at plant/kg/US

P silicon, solar grade, modified Siemens process, at plant/kg/APAC

P silicon, solar grade, modified Siemens process, at plant/kg/CN

P silicon, solar grade, modified Siemens process, at plant/kg/RER

P silicon, solar grade, modified Siemens process, at plant/kg/US

Um die Relevanz der Änderungen abschätzen zu können, wäre ein Vergleich von UVEK-Datensätzen mit ecoinvent v3.3-Datensätzen hilfreich. Allerdings sind aufgrund der unterschiedlichen Hintergrundprozesse die Wirkungsabschätzungsergebnisse für gleiche Prozesse aus den unterschiedlichen Datenbanken nicht vergleichbar.

Die UVEK-Daten können jedoch mit der letzten Version von ecoinvent v2.2 verglichen werden. Der gewählte UVEK-Datensatz für RER enthält zu ca. 80 % Solarpanele aus chinesischer Produktion. Wie Abbildung 1 zeigt, liegen die Wirkungsindikatorergebnisse (ILCD , midpoint, v1) für denselben Prozess in der jeweiligen Datenbank teilweise sehr weit auseinander. Es zeigen sich Abweichungen sowohl nach oben als auch nach unten. Überraschend ist, dass die Kategorie Klimawandel keine nennenswerte Veränderung zeigt.

Frisknecht et al. (2016, S. 33) gehen beim Casting-Prozess von einem Recycling-Anteil von 30 % beim Silicium aus, der aus den Schneideabfällen des single-Si-Ingots kommt. Dieser Anteil wird komplett der single-Si-Herstellung zugerechnet, so dass nur 70 % Primärmaterial multi-kristallines Si bilanziert wird. Dieses Vorgehen wirkt sich mindernd auf die Umweltwirkungen der multi-Si-Prozesskette aus. Laut Itten und Frisknecht (2014, S. 55) verringert sich der Indikator Klimawandel für 1 kWh Strom aus multi-Si-Paneln um 8,2 % gegenüber den letzten ecoinvent-Daten von Jungbluth et al. (2012).

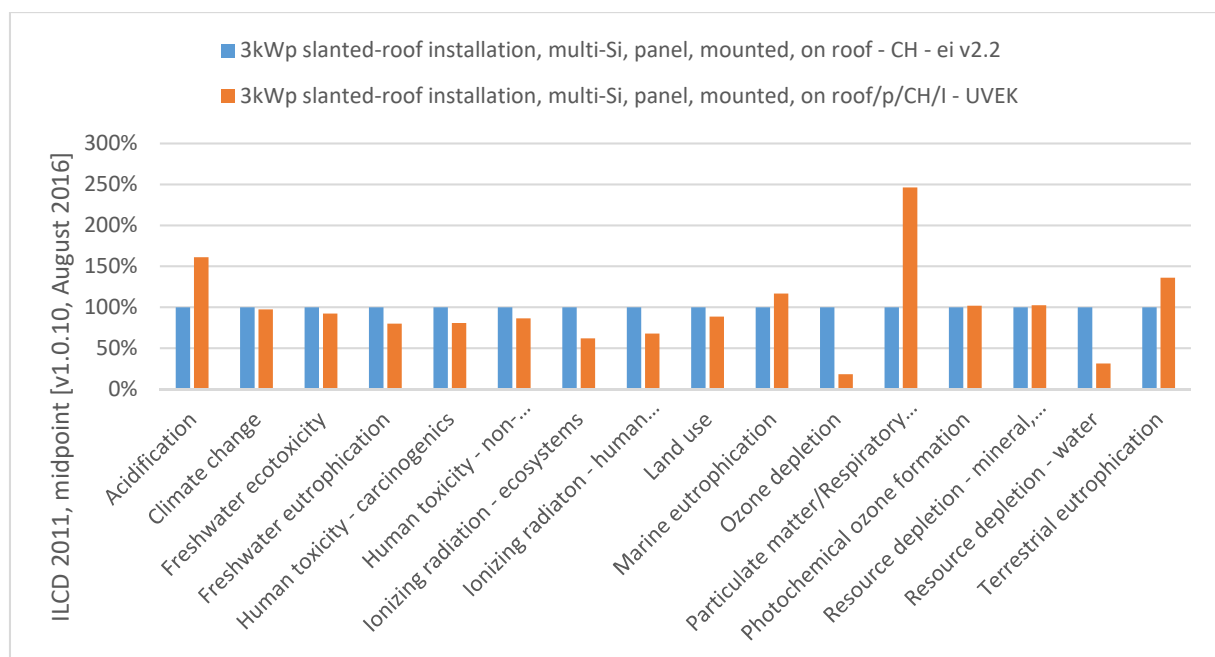


Abbildung 1 Vergleich PV-Installation, multi-Si, Schrägdach in verschiedenen Datenbanken

2.2 MÄRKTE

Beispielhafter Markt in ei v3.3

Inputs/Outputs: market for photovoltaic panel, multi-Si wafer | photovoltaic panel, multi-Si wafer | cut-off, U

Fluss	Kategorie	Menge	Einheit	Kosten/Einnah...	Unsicherheit	A. Lieferprozess
Photovoltaic panel, multi-Si wafer	261:Manufacture ...	0.64000	m2	312.32000 EUR	none	Photovoltaic panel production, multi-Si wafer photovoltaic panel, multi-Si wafer cut-off, U - RoW
Photovoltaic panel, multi-Si wafer	261:Manufacture ...	0.36000	m2	175.68000 EUR	none	Photovoltaic panel production, multi-Si wafer photovoltaic panel, multi-Si wafer cut-off, U - RER

Beispielhafter Markt in ei v3.5

Inputs/Outputs: market for photovoltaic panel, multi-Si wafer | photovoltaic panel, multi-Si wafer | Cutoff, U

Inputs						
Fluss	Kategorie	Menge	Einheit	Kosten/Einnah...	Unsicherheit	A... Lieferprozess
photovoltaic panel, multi-Si wafer	261:Manufactur...	0.64000	m2	312.32000 EUR	none	photovoltaic panel production, multi-Si wafer photovoltaic panel, multi-Si wafer Cutoff, U - RoW
photovoltaic panel, multi-Si wafer	261:Manufactur...	0.36000	m2	175.68000 EUR	none	photovoltaic panel production, multi-Si wafer photovoltaic panel, multi-Si wafer Cutoff, U - RER

➔ keine Unterschiede bei Zusammensetzung der Märkte in v3

Vergleichbarer Prozess in UVEK:

Inputs/Outputs: photovoltaic panel, multi-Si, at regional storage/m2/RER/I

Inputs						
Fluss	Kategorie	Menge	Einheit	Kosten/Einnah...	Unsicherheit	Avol... Lief... D... Beschreibung
photovoltaic panel, multi-Si, at plant/m2/APAC/I U	photovoltaic/product...	0.05879	m2		lognormal: g...	(5,1,1,1,1,5); module import from APAC
photovoltaic panel, multi-Si, at plant/m2/CN/I U	photovoltaic/product...	0.79585	m2		lognormal: g...	(5,1,1,1,1,5); module import from China
photovoltaic panel, multi-Si, at plant/m2/RER/I U	photovoltaic/product...	0.14536	m2		lognormal: g...	(5,1,1,1,1,5); modules produced in Europe
transport, freight, lorry, fleet average/tkm/RER U	transport systems/ro...	1.78320	t*km		lognormal: g...	(4,5,na,na,na,na); Standard distance 50km
transport, freight, rail/tkm/RER U	transport systems/tra...	7.13270	t*km		lognormal: g...	(4,5,na,na,na,na); Standard distance 200km
transport, transoceanic freight ship/tkm/OCE U	transport systems/ship	600.08000	t*km		lognormal: g...	(4,5,na,na,na,na); Import of modules fro...

➔ deutlicher Unterschied im Vergleich zu v.3

Darüber hinaus wurde in der UVEK-Datenbank ein Produktionsmix Strom aus PV-Anlagen für DE erstellt, welcher wie in Tabelle 1 gezeigt aufgebaut ist. Der überwiegende Anteil besteht aus Si-Paneelen. Fassaden-Anlagen und integrierte Dachanlagen (außer Si) haben einen Anteil unter 1 %. Zu hinterfragen ist die Annahme gleicher Lebensdauern für alle Anlagen. Dünnschichtmodule haben erfahrungsgemäß eine geringere Lebensdauer als Dickschichttechnologien.

Tabelle 1 Zusammensetzung des Produktionsmixes PV für Deutschland in UVEK-Datenbank

electricity, production mix photovoltaic, at plant/kWh/DE			
roof-top	744	kWh/kWp	
facade	516	kWh/kWp	
Open ground	Large German PV plants are considered with measured plant-specific yields.		
lifetime	30	a	
Mix of PV-plants based on world wide average, national statistics and own assumptions.			
Input			
Fluss	Menge	Einheit	Anteil*
3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted, on roof/p/RER/I U	4.62E-06	Item(s)	31%
3kWp slanted-roof installation, single-Si, panel, mounted, on roof/p/RER/I U	3.70E-06	Item(s)	25%
570 kWp open ground installation, multi-Si, on open ground/p/ES/I U	8.08E-09	Item(s)	10%
324 kWp flat-roof installation, multi-Si, on roof/p/DE/I U	1.06E-08	Item(s)	7.7%
450 kWp flat-roof installation, single-Si, on roof/p/DE/I U	6.13E-09	Item(s)	6.2%
3kWp slanted-roof installation, a-Si, panel, mounted, on roof/p/CH/I U	6.92E-07	Item(s)	4.6%
3kWp slanted-roof installation, CdTe, panel, mounted, on roof/p/CH/I U	6.04E-07	Item(s)	4.0%
3kWp flat roof installation, multi-Si, on roof/p/RER/I U	5.85E-07	Item(s)	3.9%
3kWp flat roof installation, single-Si, on roof/p/RER/I U	4.68E-07	Item(s)	3.1%
3kWp slanted-roof installation, ribbon-Si, panel, mounted, on roof/p/CH/I U	4.42E-07	Item(s)	3.0%
3kWp slanted-roof installation, multi-Si, laminated, integrated, on roof/p/RER/I U	1.80E-07	Item(s)	1.2%
3kWp slanted-roof installation, single-Si, laminated, integrated, on roof/p/RER/I U	1.44E-07	Item(s)	1.0%
3kWp slanted-roof installation, CIS, panel, mounted, on roof/p/CH/I U	8.75E-08	Item(s)	0.6%
3kWp facade installation, multi-Si, panel, mounted, at building/p/RER/I U	9.84E-08	Item(s)	0.5%
3kWp facade installation, single-Si, panel, mounted, at building/p/RER/I U	7.87E-08	Item(s)	0.4%
3kWp slanted-roof installation, a-Si, laminated, integrated, on roof/p/CH/I U	2.66E-08	Item(s)	0.2%
3kWp slanted-roof installation, CdTe, laminated, integrated, on roof/p/CH/I U	2.32E-08	Item(s)	0.2%

3kWp facade installation, multi-Si, laminated, integrated, at building/p/RER/I U	2.46E-08	Item(s)	0.1%
3kWp slanted-roof installation, ribbon-Si, laminated, integrated, on roof/p/CH/I U	1.70E-08	Item(s)	0.1%
3kWp facade installation, single-Si, laminated, integrated, at building/p/RER/I U	1.97E-08	Item(s)	0.1%
Energy, solar, converted	3.8503	MJ	
tap water, at user/kg/CH U	0.0067714	kg	
Treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2/CH U	6.77E-06	m3	
Output			
electricity, production mix photovoltaic, at plant/kWh/DE U	1	kWh	
Heat, waste	0.25027	MJ	
* Eigene Berechnung			

3 DOKUMENTATION UVEK-ÜBERSETZUNG

Die Übersetzung der Flüsse wurde mit Hilfe des von greenDelta erstellten Mapping Tools durchgeführt.

Übersetzungsdatei: [InNOSys\04_LCA\Export\diverse\flow mapping_UVEK_ei3_3_v1.csv](#)

3.1 ANPASSUNGEN BEI AUSWAHL DER LIEFERPROZESSE

- Vorzugsweise Market-Datensätze eingefügt, wenn möglich in geografischer Übereinstimmung zum Datensatz
- a-Si und ribbon-Si identisch zu ei v3.3
- weitere Komponenten, die keine Aktualisierung erfahren haben:

P electric installation, photovoltaic plant, at plant/p/CH/I
P facade construction, integrated, at building/m2/RER/I
P facade construction, mounted, at building/m2/RER/I
P flat roof construction, on roof/m2/RER/I
P metallization paste, back side, aluminium, at plant/kg/RER
P metallization paste, back side, at plant/kg/RER
P metallization paste, front side, at plant/kg/RER
P photovoltaic cell factory/p/DE/I
P photovoltaic laminate, a-Si, at plant/m2/US/I
P photovoltaic panel factory/p/GLO/I
P photovoltaic panel, a-Si, at plant/m2/US/I
P slanted-roof construction, integrated, on roof/m2/RER/I
P slanted-roof construction, mounted, on roof/m2/RER/I
P wafer factory/p/DE/I

dementsprechend wurden bei den unveränderten Produkten die entsprechend vorhandenen ei v3.3-Lieferprozesse ausgewählt

3.2 ANPASSUNGEN BEI FLÜSSEN

- Transporte gelöscht, da in Market-Datensätzen bereits enthalten
- Waste-/wastewater-Flüsse wurden entsprechend der ecoinvent v3-Logik mit negativen Vorzeichen versehen und mit ecoinvent v3-Prozessen verknüpft

3.3 ÜBERSICHT DER ADAPTIEREN DATENSÄTZE

PV – GEBÄUDEANLAGEN

3kWp facade installation, multi-Si, laminated, integrated, at building/p/RER/I
3kWp facade installation, multi-Si, panel, mounted, at building/p/RER/I
3kWp facade installation, single-Si, laminated, integrated, at building/p/RER/I
3kWp facade installation, single-Si, panel, mounted, at building/p/RER/I
3kWp flat roof installation, multi-Si, on roof/p/RER/I
3kWp flat roof installation, single-Si, on roof/p/RER/I
3kWp slanted-roof installation, CIS, panel, mounted, on roof/p/CH/I
3kWp slanted-roof installation, CdTe, laminated, integrated, on roof/p/CH/I
3kWp slanted-roof installation, CdTe, panel, mounted, on roof/p/CH/I
3kWp slanted-roof installation, multi-Si, laminated, integrated, on roof/p/RER/I
3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted, on roof/p/RER/I
3kWp slanted-roof installation, single-Si, laminated, integrated, on roof/p/RER/I
3kWp slanted-roof installation, single-Si, panel, mounted, on roof/p/RER/I

Vorgelagerte Prozesse

- P CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant/kg/APAC - Asia without China
- P CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant/kg/CN - CN
- P CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant/kg/RER - RER
- P CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant/kg/US - US
- P multi-Si wafer, at plant/m2/APAC - Asia without China
- P multi-Si wafer, at plant/m2/CN - CN
- P multi-Si wafer, at plant/m2/RER - RER
- P multi-Si wafer, at plant/m2/US - US
- P multi-Si wafer, at regional storage/m2/APAC - Asia without China
- P multi-Si wafer, at regional storage/m2/RER - RER
- P multi-Si wafer, at regional storage/m2/US - US
- P open ground construction, on ground, Mont Soleil/m2/CH/I
- P open ground construction, on ground/m2/RER/I - RER
- P open ground construction, on ground/m2/RER/I - CH
- P photovoltaic cell, multi-Si, at plant/m2/APAC - Asia without China
- P photovoltaic cell, multi-Si, at plant/m2/CN - CN
- P photovoltaic cell, multi-Si, at plant/m2/RER - RER
- P photovoltaic cell, multi-Si, at plant/m2/US - US
- P photovoltaic cell, single-Si, at plant/m2/APAC - Asia without China
- P photovoltaic cell, single-Si, at plant/m2/CN - CN
- P photovoltaic cell, single-Si, at plant/m2/RER - RER
- P photovoltaic cell, single-Si, at plant/m2/US - US
- P photovoltaic laminate, CIS, at plant/m2/DE/I - DE
- P photovoltaic laminate, CdTe, at plant/m2/DE/I - DE
- P photovoltaic laminate, CdTe, at plant/m2/MY/I - MY
- P photovoltaic laminate, CdTe, at plant/m2/US/I - US
- P photovoltaic laminate, CdTe, mix, at regional storage/m2/RER/I - RER
- P photovoltaic laminate, CdTe, production US, at regional storage/m2/RER/I - RER
- P photovoltaic laminate, multi-Si, at plant/m2/APAC/I - Asia without China
- P photovoltaic laminate, multi-Si, at plant/m2/CN/I - CN
- P photovoltaic laminate, multi-Si, at plant/m2/RER/I - RER
- P photovoltaic laminate, multi-Si, at plant/m2/US/I - US
- P photovoltaic laminate, multi-Si, at regional storage/m2/RER/I - RER
- P photovoltaic laminate, multi-Si, at regional storage/m2/US/I - US
- P photovoltaic laminate, single-Si, at plant/m2/APAC/I - Asia without China
- P photovoltaic laminate, single-Si, at plant/m2/CN/I - CN
- P photovoltaic laminate, single-Si, at plant/m2/RER/I - RER
- P photovoltaic laminate, single-Si, at plant/m2/US/I - US
- P photovoltaic laminate, single-Si, at regional storage/m2/RER/I - RER
- P photovoltaic laminate, single-Si, at regional storage/m2/US/I - US
- P photovoltaic panel factory CdTe/p/US/I - US
- P photovoltaic panel, CIS, at plant/m2/DE/I - DE

P photovoltaic panel, multi-Si, at plant/m2/APAC/I - Asia without China
 P photovoltaic panel, multi-Si, at plant/m2/CN/I - CN
 P photovoltaic panel, multi-Si, at plant/m2/RER/I - RER
 P photovoltaic panel, multi-Si, at plant/m2/US/I - US
 P photovoltaic panel, multi-Si, at regional storage/m2/RER/I - RER
 P photovoltaic panel, multi-Si, at regional storage/m2/US/I - US
 P photovoltaic panel, single-Si, at plant/m2/APAC/I - Asia without China
 P photovoltaic panel, single-Si, at plant/m2/CN/I - CN
 P photovoltaic panel, single-Si, at plant/m2/RER/I - RER
 P photovoltaic panel, single-Si, at plant/m2/US/I - US
 P photovoltaic panel, single-Si, at regional storage/m2/RER/I - RER
 P photovoltaic panel, single-Si, at regional storage/m2/US/I - US
 P single-Si wafer, photovoltaics, at plant/m2/APAC - Asia without China
 P single-Si wafer, photovoltaics, at plant/m2/CN - CN
 P single-Si wafer, photovoltaics, at plant/m2/RER - RER
 P single-Si wafer, photovoltaics, at plant/m2/US - US
 P single-Si wafer, photovoltaics, at regional storage/m2/APAC - Asia without China
 P single-Si wafer, photovoltaics, at regional storage/m2/RER - RER
 P single-Si wafer, photovoltaics, at regional storage/m2/US - US

4 PLAUSIBILISIERUNG UVEK-ÜBERSETZUNG

4.1 VORGEHENSWEISE

Die Plausibilitätsprüfung erfolgt auf Anlagenebene für Panel-Schrägdachanlagen für die aktualisierten Zelltypen multi-Si, single-Si, CdTe und CIS. Dazu werden die Wirkungsabschätzungsergebnisse anhand der Methode ILCD 2011, midpoint [v1.0.10, August 2016] der einzelnen Datensätze ihrem Pendant aus der Datenbank ecoinvent v3.3 cut-off gegenübergestellt. Da sich die Aktualisierung der Daten im Wesentlichen auf die Prozesskette der Zellenfertigung bezieht, wird auf den Vergleich der verschiedenen Montagesysteme verzichtet.

4.2 ERGEBNISSE

- Verringerung bei ionisierender Strahlung bei allen Zelltechnologien kommt durch veränderten Strommix

4.2.1 Si

- Multi-Si: Unterschiede deutlich, tendenziell Verringerung der Umweltwirkungen
- Single-Si: Unterschiede deutlich, sowohl erhöhte als auch verringerte Umweltwirkungen
- Verringerung bei dissipated water durch fehlenden Fluss für verdunstetes Wasser
- Verringerung bei ozone depletion resultiert aus Nichtverwendung von Tetrafluorethen bei Si-PV-Zellen-Herstellung
- Verringerung bei UVEK durch höheren Recyclinganteil bei der Si-Herstellung

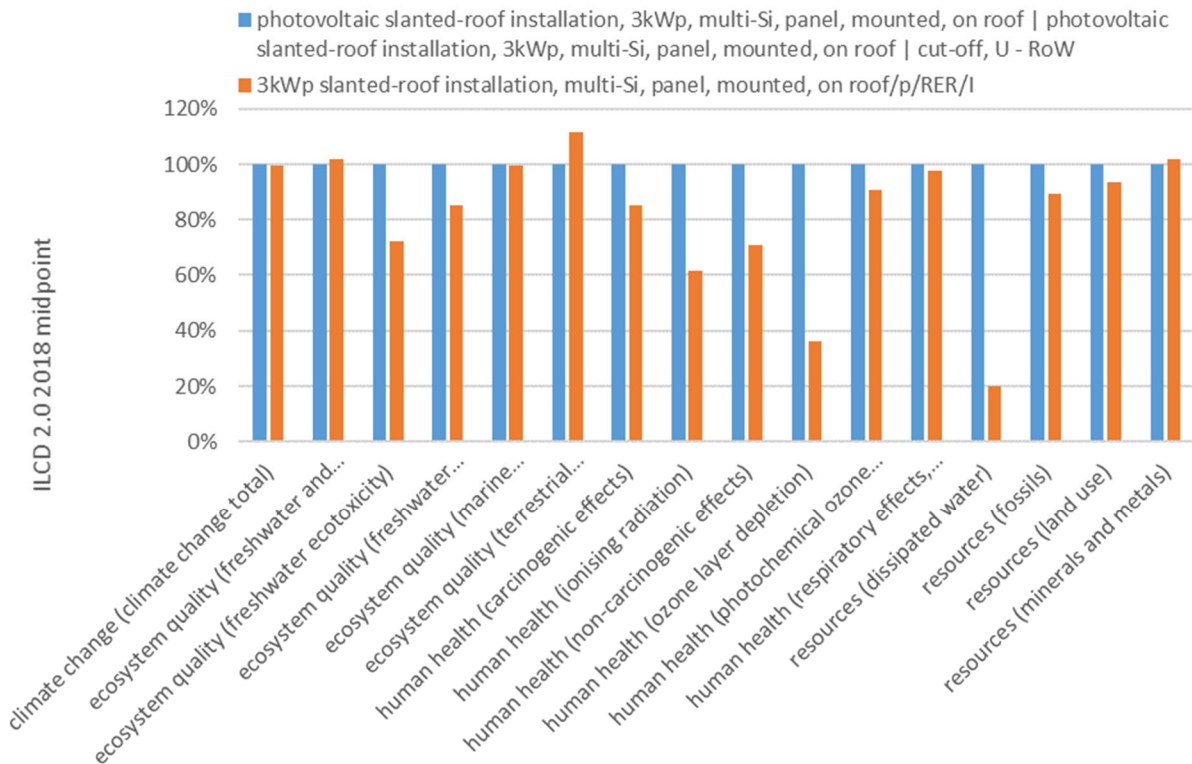


Abbildung 2 Vergleich von ecoinvent v3.3-Datensatz und übersetztem UVEK-Datensatz pro Anlage (3 kWp slanted-roof installation, multi-Si, mounted)

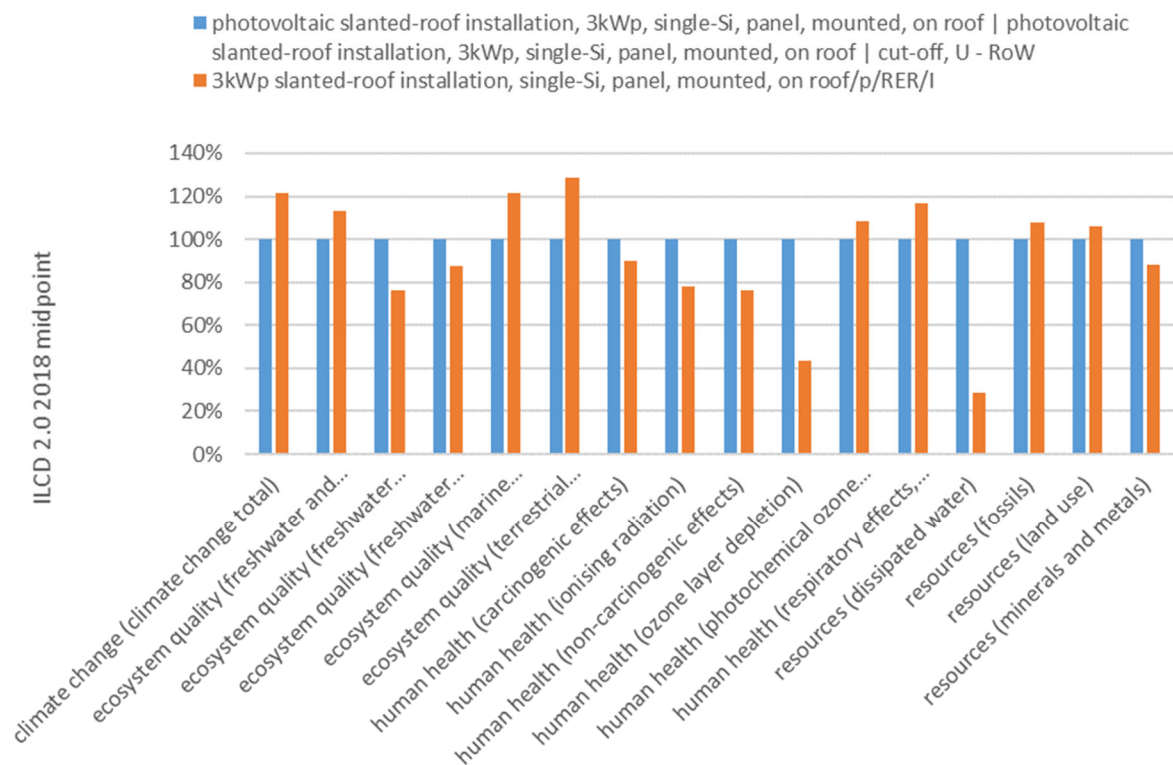


Abbildung 3 Vergleich von ecoinvent v3.3-Datensatz und übersetztem UVEK-Datensatz pro Anlage (3 kWp slanted-roof installation, single-Si, mounted)

- Durch die Umstellung der vorgelagerten Prozesse auf ei v3.3 hat sich der Anteil der Komponenten bei 3 kWp slanted-roof installations im Vergleich zur ei v2.2-Basis deutlich verändert.
 - UVEK bzw. Itten und Frischknecht (2014): „The photovoltaic laminate or panels cause the highest share of the greenhouse gas emissions (between 75 and 85 %) depending on the type of photovoltaic power plant, followed by the mounting structures on the roof causing between 8 and 13 % and the inverter causing between 5 and 8 % of the greenhouse gas emissions. The contribution of the electric installation, transports and other parts are below 4 % for all types of photovoltaic power plants.“
 - Für Panels liegt der Anteil bei multi-Si bei 68 %, bei single-Si bei 78 %, das Mounting System hat einen Anteil von 20 bzw. 14 %, der Inverter von 8,8 bzw. 6,2 %, Elektroinstallation und Strom machen 2,6 bzw. 1,8 % aus.
- Der höhere Anteil des Mounting Systems resultiert aus der veränderten Vorkette von Aluminium bei ei v3.3, die höhere Treibhausgasemissionen aufweist als bei ei v2.2.

4.2.2 CdTe

- Die Umweltwirkungen bei CdTe-Anlagen haben sich im Vergleich zu ei v3.3 deutlich verringert. Dies ist auf die Annahme für den Wirkungsgrad dieser Zellen zurückzuführen, der nun deutlich höher ist.
- Der Unterschied zwischen integrierten Laminat-Anlagen und Aufdach-Panel-Anlagen ist gering, wie dieses Beispiel zeigt.

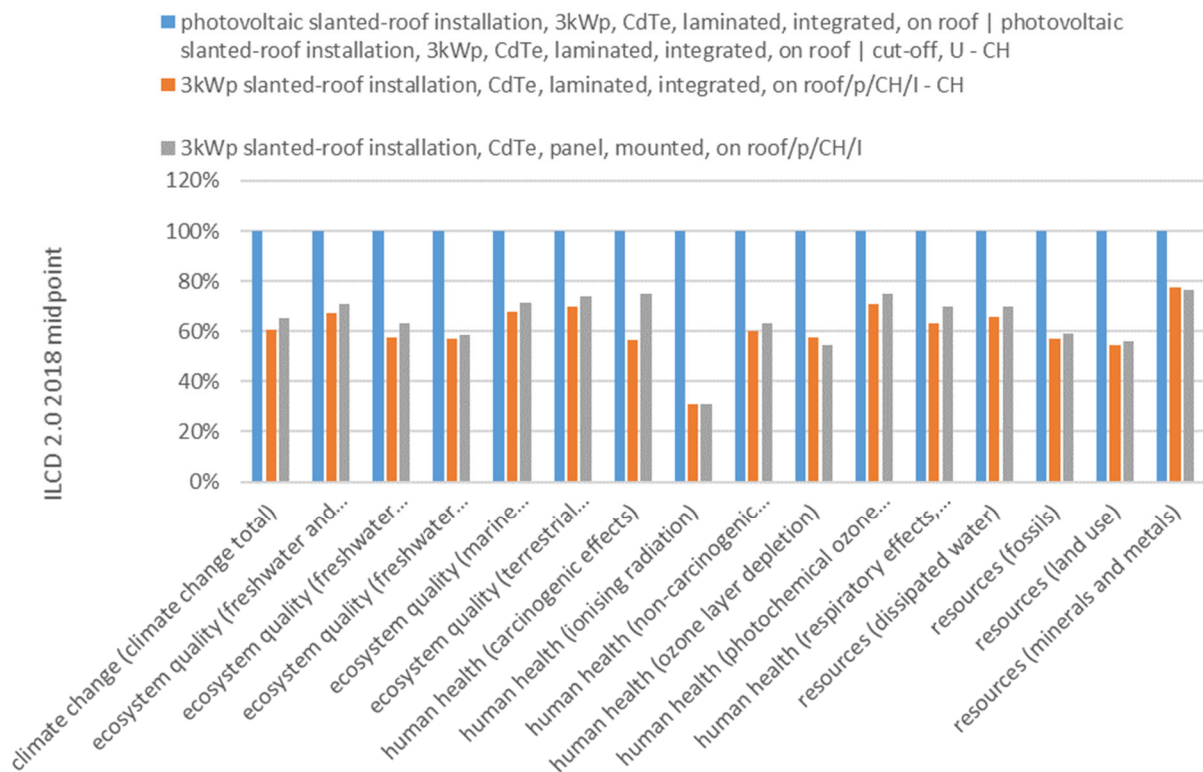


Abbildung 4 Vergleich von ecoinvent v3.3-Datensatz und übersetztem UVEK-Datensatz pro Anlage (3 kWp slanted-roof installation, CdTe)

4.2.3 CIS

- Die Reduktion beim UVEK-Datensatz für CIS-Panels wird bestimmt durch die Laminat-Herstellung. Hier wird z.B. nur halb so viel Glas angenommen wie beim ei v3.3-Datensatz.

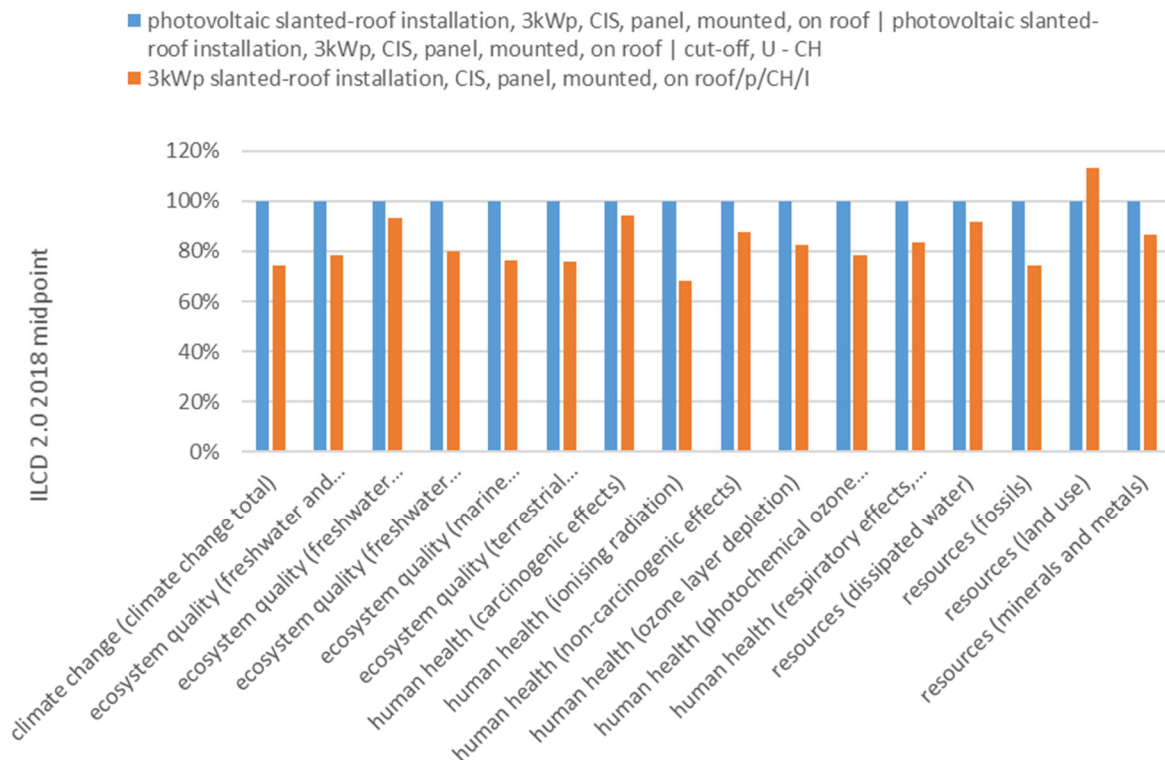


Abbildung 5 Vergleich von ecoinvent v3.3-Datensatz und übersetztem UVEK-Datensatz pro Anlage (3 kWp slanted-roof installation, CIS, panel, mounted)

4.2.4 Zelltypen-Vergleich

Beim Vergleich der Schrägdach-Panel-Anlagen mit verschiedenen Zelltypen innerhalb von ecoinvent v3.3 und übersetzter UVEK-Datenbank zeigt sich,

- dass single-Si-Anlagen weiterhin die höchsten Umweltwirkungen beim Großteil der Indikatoren aufweisen.
- dass durch die Aktualisierung der Daten die Unterschiede zwischen den Zelltypen zugenommen haben. Dies ist vor allem auf die stärkere Verringerung der Umweltwirkungen bei CdTe- und CIS-Anlagen zurückzuführen.
- Der größere Abstand zwischen multi- und single-Si-Anlagen bei den übersetzten UVEK-Datensätzen resultiert auch aus der Verwendung von Recyclingmaterial (30 %) aus den Schneideverlusten von runden monokristallinen Si-Ingots in eckige Wafer, welche für das Casting von multi-Si verwendet werden und ohne Aufwände für die Vorkette in den Prozess eingehen, allerdings wird ebenfalls bei der single-Si-Herstellung mit Recyclingmaterial gerechnet². Bei ei v3.3 wurde keinerlei Recycling berücksichtigt.

² Anmerkung: Bei single-Si das Recyclingmaterial ohne Lasten eingehen zu lassen scheint auf Basis des closed-loop-Ansatzes gerechtfertigt. Dies ebenso bei multi-Si zu praktizieren ist jedoch in Frage zu stellen, da es sich um open-loop-Recycling handelt. Aus einer consequential-Sichtweise ist das bessere Abschneiden des multi-Si nur möglich durch Produktion von single-Si. Bei einer Steigerung der multi-Si-Produktion muss auch die single-Si-Produktion steigen und damit die Umweltauswirkungen.

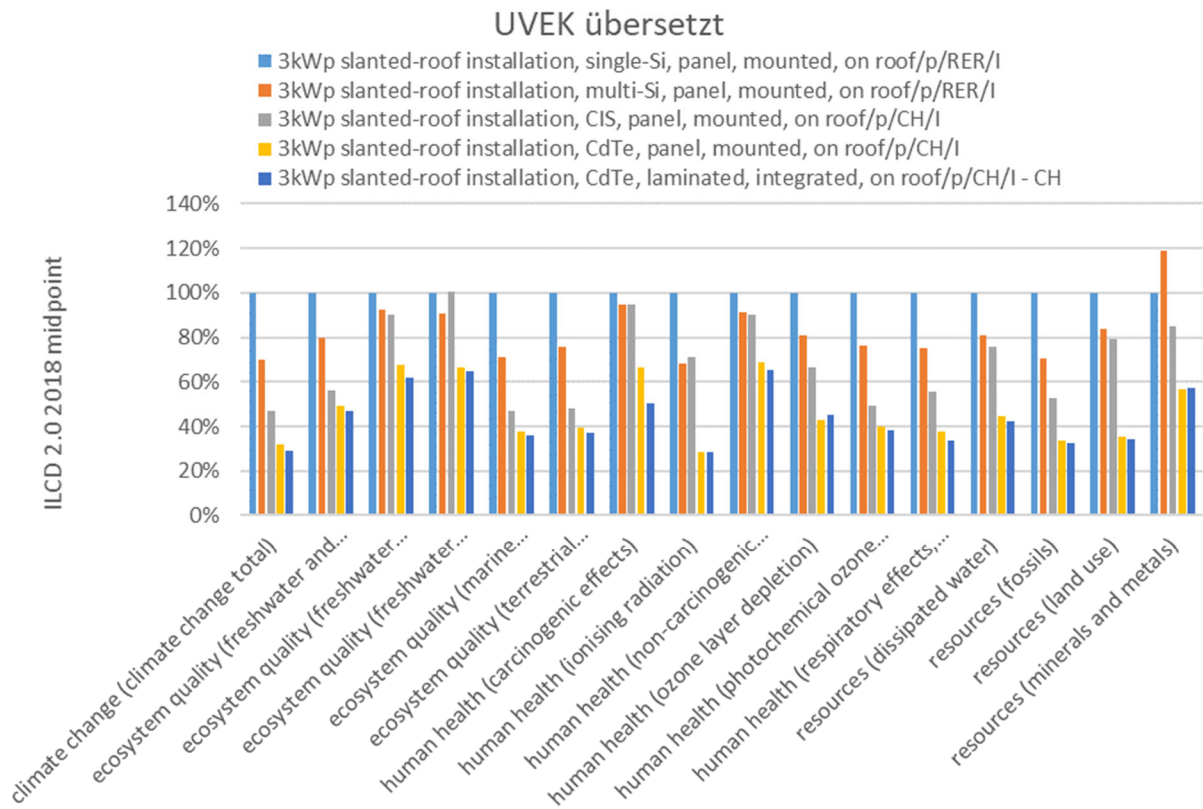


Abbildung 6 Vergleich übersetzte UVEK-Datensätze für 3 kWp-Anlagen untereinander

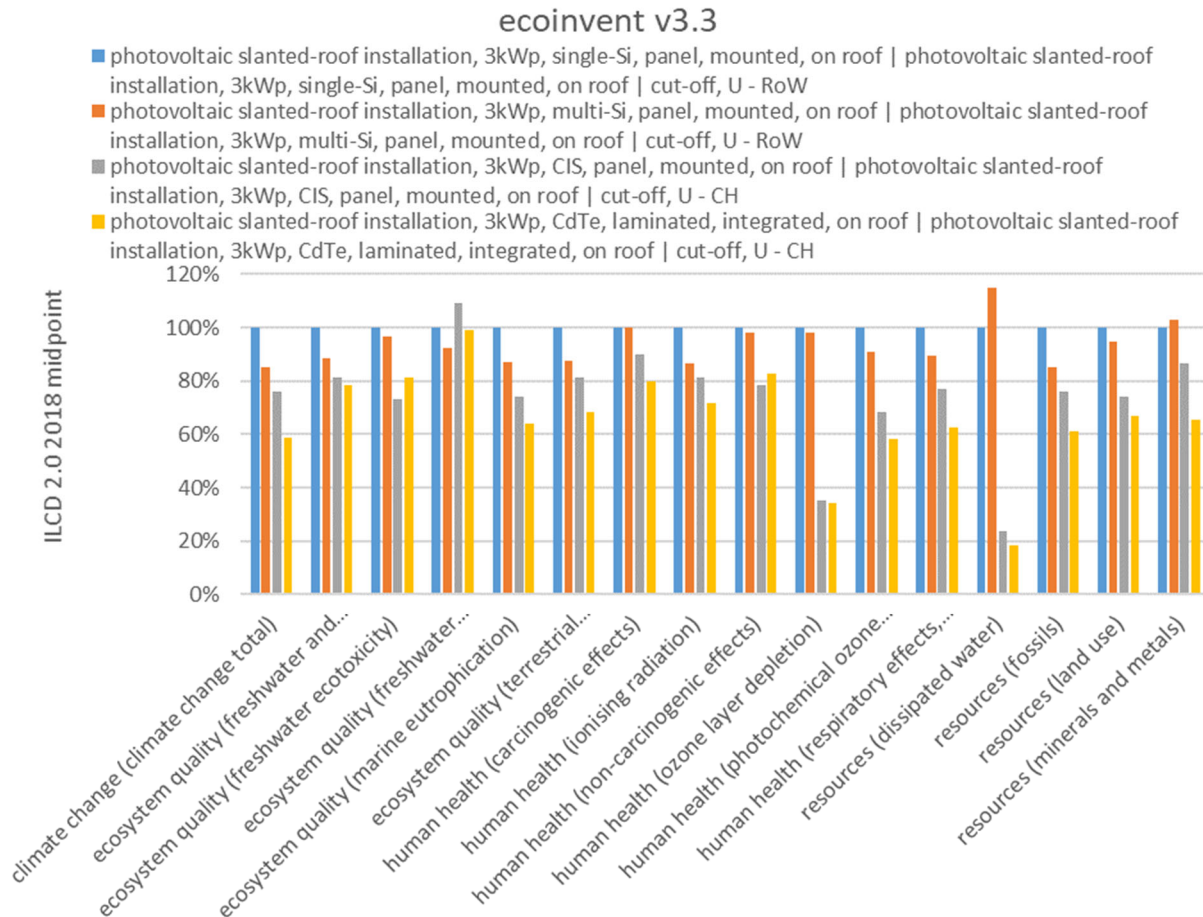


Abbildung 7 Vergleich ecoinvent v3.3-Datensätze untereinander

4.3 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Die chinesische Prozesskette von PV-Modulen und die damit einhergehende kohledominierte Strommixnutzung wird bei multi-Si-PV-Anlagen durch Effizienzsteigerungen und höhere Recyclingraten bei der Si-Herstellung überkompensiert, so dass der Großteil der Indikatoren gleichbleibt oder leicht unter den ei v3.3-Datensätzen liegt (-15 %). Bei single-Si fallen die Reduktionen etwas geringer aus; einzelne Indikatoren steigen leicht. Bei den Zellmaterialien CdTe und CIS gibt es fast keine Erhöhungen bei den Indikatorergebnissen, Ausnahme Landnutzung bei CIS; die Verringerungen sind größtenteils deutlich. Der Abstand zwischen den Umweltwirkungen der einzelnen Zelltypen hat zugenommen.

In Bezug auf die Verwendung in InNOSys zur Bewertung von Energiesystemen sollte auf jeden Fall ein Mix eingesetzt werden.

5 NEUE DATENSÄTZE FÜR FREIFLÄCHENANLAGEN

Die Daten für Freiflächenanlagen wurden in der UVEK-Datenbank nicht aktualisiert. Dies wurde nun nachgeholt, und es wurden weitere Datensätze erstellt. Diese umfassen Anlagen mit single-Si und CdTe als Zellmaterial.

5.1 570 kWp OPEN GROUND INSTALLATION, MULTI-Si, ON OPEN GROUND/p/DE/I – DE

Dieser Datensatz wurde auf Grundlage des UVEK-Datensatzes 570 kWp open ground installation, multi-Si, on open ground/p/ES/I, welcher jedoch anders als die 3 kWp-Anlagen nicht aktualisiert wurde und auf dem Stand von Jungbluth et al. (2012) sind. Diese Aktualisierung wurde nun nachgeholt, indem der verbesserte Wirkungsgrad für multi-Si-Panels bei der Berechnung der notwendigen Fläche entsprechend der Annahmen für 3 kWp-Anlagen berücksichtigt wurde. Darüber hinaus wurde statt des spanischen der deutsche Strommix für electricity, low voltage eingefügt.

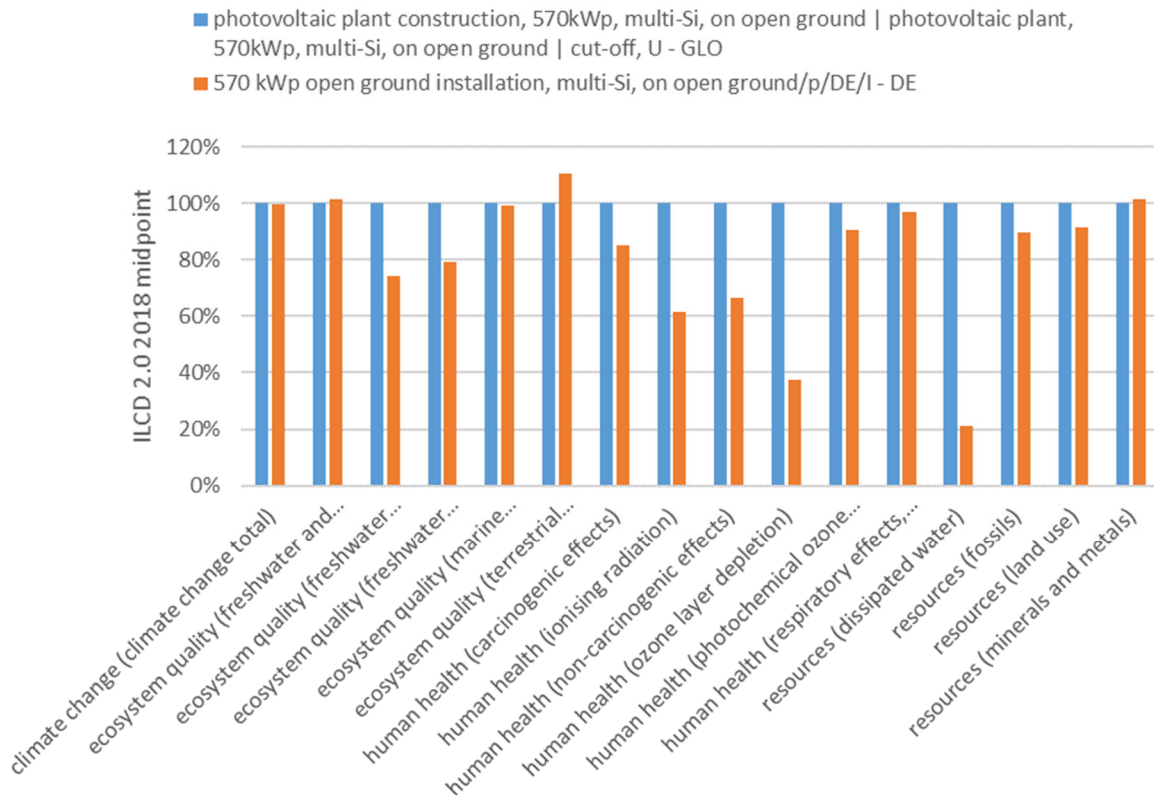


Abbildung 8 Vergleich von ecoinvent v3.3-Datensatz und übersetztem UVEK-Datensatz pro Anlage (570 kWp, multi-Si)

5.2 570 kWp OPEN GROUND INSTALLATION, SINGLE-Si, ON OPEN GROUND/p/DE/I – DE

Dieser Datensatz wurde auf Grundlage des neuen Datensatzes 570 kWp open ground installation, multi-Si, on open ground/p/DE/I – DE erstellt, indem das Material photovoltaic panel, multi-Si wafer gegen photovoltaic panel, single-Si wafer ausgetauscht wurde und die Fläche entsprechend den Annahmen für 3 kWp-Anlagen angepasst wurde.

5.3 570 kWp OPEN GROUND INSTALLATION, CdTe, ON OPEN GROUND/p/DE/I – DE

Dieser Datensatz wurde auf Grundlage des neuen Datensatzes 570 kWp open ground installation, multi-Si, on open ground/p/DE/I – DE erstellt, indem das Material photovoltaic panel, multi-Si wafer gegen photovoltaic laminate, CdTe ausgetauscht wurde und die Fläche entsprechend den Annahmen für 3 kWp-Anlagen angepasst wurde.

5.4 1.3 MWp OPEN GROUND INSTALLATION, MULTI-Si, PANEL, ON OPEN GROUND/p/DE/I – DE

Dieser Datensatz wurde auf Grundlage des UVEK-Datensatzes 1.3 MWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted, on roof/p/CH/I erstellt, indem einerseits das Befestigungssystem ausgetauscht, der Strombedarf von der 570 kWp-Anlage entsprechend der Leistung hochskaliert und

diesel, burned in building machine hinzugefügt und ebenfalls entsprechend der Leistung hochskaliert wurde. Andererseits wurde der Panelbedarf entsprechend der aktualisierten Annahmen für den Wirkungsgrad angepasst.

5.5 1.3 MWp OPEN GROUND INSTALLATION, SINGLE-Si, PANEL, ON OPEN GROUND/p/DE/I – DE

Dieser Datensatz wurde auf Grundlage des neuen Datensatzes 1.3 MWp open ground installation, multi-Si, panel, on open ground/p/DE/I – DE erstellt, indem das Material photovoltaic panel, multi-Si wafer gegen photovoltaic panel, single-Si wafer ausgetauscht wurde und die Fläche entsprechend den Annahmen für 3 kWp-Anlagen angepasst wurde.

5.6 1.3 MWp OPEN GROUND INSTALLATION, CdTe, PANEL, ON OPEN GROUND/p/DE/I – DE

Dieser Datensatz wurde auf Grundlage des neuen Datensatzes 1.3 MWp open ground installation, multi-Si, panel, on open ground/p/DE/I – DE erstellt, indem das Material photovoltaic panel, multi-Si wafer gegen photovoltaic laminate, CdTe ausgetauscht wurde und die Fläche entsprechend den Annahmen für 3 kWp-Anlagen angepasst wurde.

5.7 ZELLTYPEN-VERGLEICH

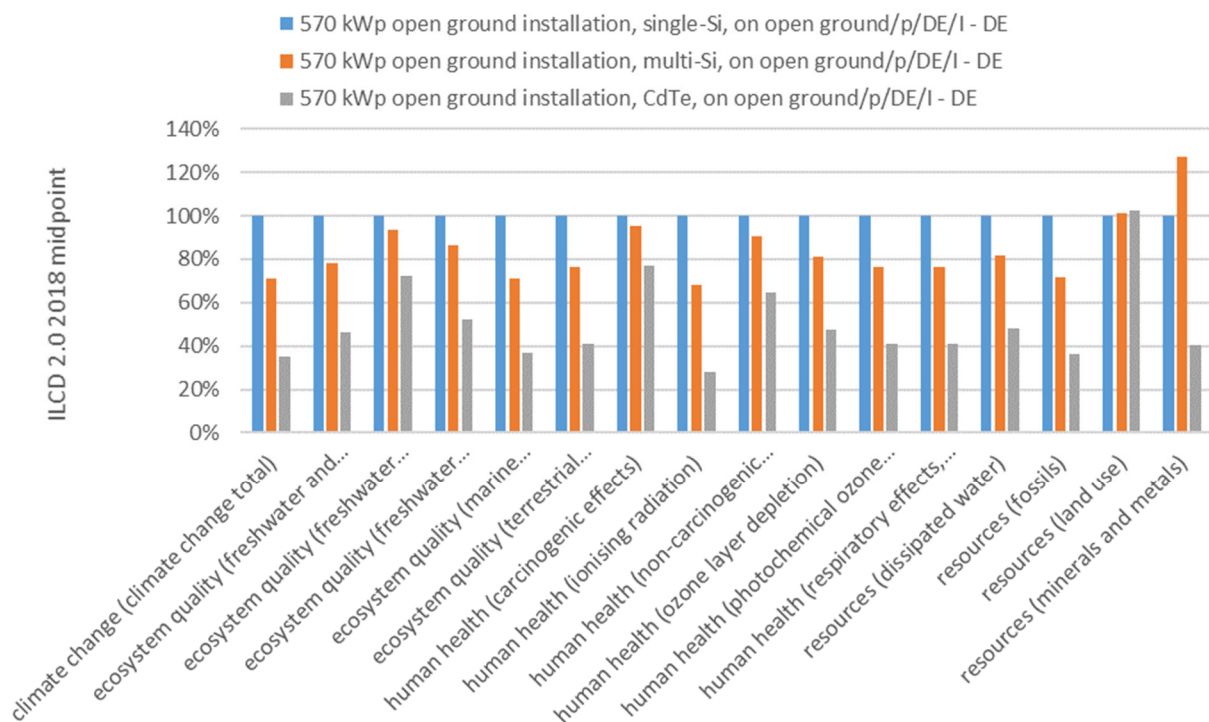


Abbildung 9 Vergleich von 570 kWp-Anlagen mit unterschiedlichem Zellmaterial

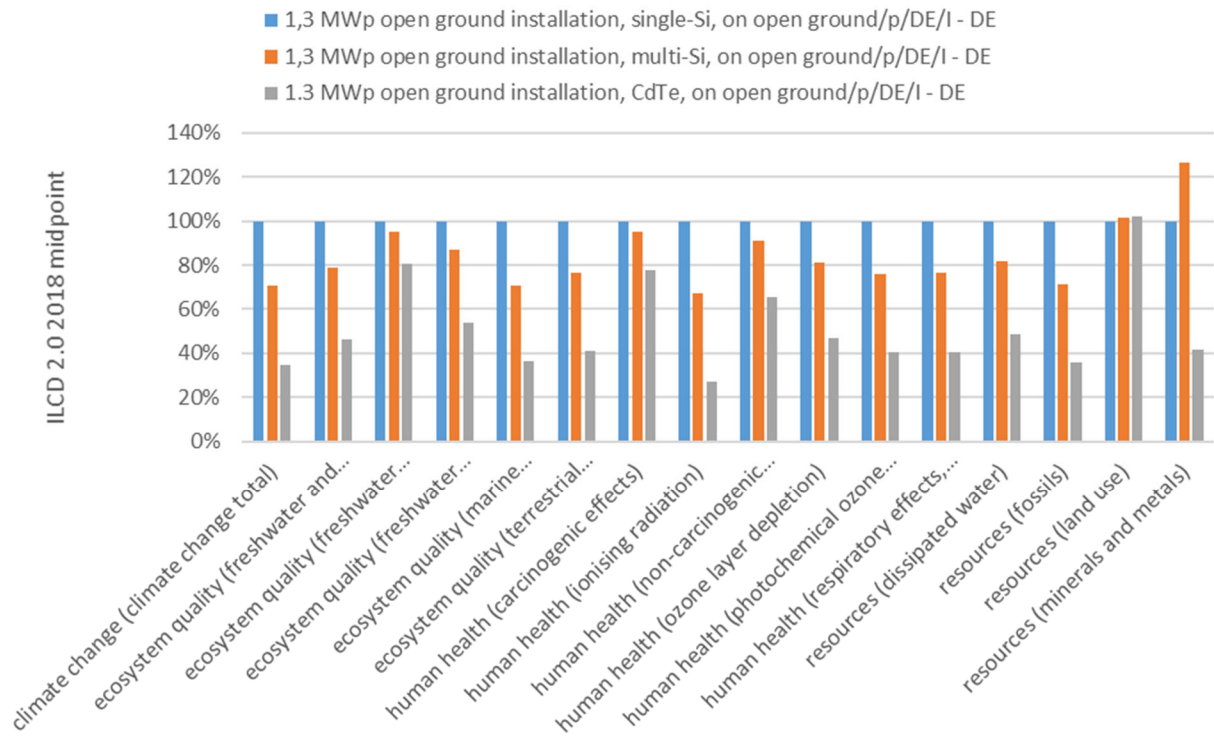


Abbildung 10 Vergleich von 1,3 MWp-Anlagen mit unterschiedlichem Zellmaterial

6 LITERATUR

Frischknecht, R., Heath, G., Raugei, M., Sinha P., P., de Wild-Scholten, M., Fthenakis, V.M., Kim, H.C., Alsema, E.A., Held, M. (2016): Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems. International Energy Agency.

Itten, R., Frischknecht, R. (2014): LCI of the global crystalline photovoltaics supply chain and Chinese multi-crystalline supply chain, Uster (Schweiz).

Jungbluth, N., Stucki, M., Flury, K., Frischknecht, R., Büsser, S. (2012): Life Cycle Inventories of Photovoltaics.

7 ANHANG

7.1 WASSER

Im ei v3.3-Datensatz wird fast gleich viel Wasser eingesetzt, wie im UVEK-Datensatz (ca. 5 m³), allerdings wird bei ei v3.3 auch die Verdunstung des Wassers modelliert, nicht so bei ei v2.2/UVEK. Dadurch wird der ILCD v2-Indikator für Wasser, da er nur dissipated water berücksichtigt, unterschätzt.

Inputs/Outputs: silicon production, single crystal, Czochralski process, photovoltaics | silicon, single crystal, Czochralski process, photovoltaics | cut-off, U

Inputs									
Fluss	Kategorie	Menge	Einheit	Kosten/...	Unsicher...	Avoided...	Lieferpr...	Datenqu...	Beschr...
tap water	360:Water collecti...	94.07300	kg	(0.0003...	lognor...		mark...	(1; 4; 4; ...	EcoSp...
waste, from silicon wafe...	382:Waste treatm...	-3.63640	kg		lognor...		mark...	(1; 4; 4; ...	EcoSp...
Water, cooling, unspecifi...	Resource/in water	2.33300	m3		lognor...			(1; 4; 4; ...	Literat...
Water, river	Resource/in water	2.05080	m3		lognor...			(1; 4; 4; ...	Literat...

Outputs									
Fluss	Kategorie	Menge	Einheit	Kosten/...	Unsicher...	Äquival...	Lieferpr...	Datenqu...	Beschr...
Water	Emission to air/un...	1225.7684...	kg		lognor...			(2; 2; 4; ...	Calcula...
Water	Emission to water/...	3.25210455	m3		lognor...			(2; 2; 4; ...	Calcula...
TOC, Total Organic Carb...	Emission to water/...	0.04047500	kg		lognor...			(5; 5; 4; ...	Calcula...
silicon, single crystal, ...	201:Manufactur...	1.00000000	kg	39.400...	none				EcoSp...

Inputs/Outputs: CZ single crystalline silicon, photovoltaics, at plant/kg/CN

Inputs					
Fluss	Kategorie	Menge	Einheit	Kos	
sodium hydroxide, without water, in 5...	201:Manufacture of basic che...	0.04150	kg		
waste, from silicon wafer production, i...	382:Waste treatment and dis...	-0.16700	kg		
Water, cooling, unspecified natural ori...	Resource/in water	5.09000	m3		
water, deionised, from tap water, at user	360:Water collection, treatme...	4.01000	kg		

Outputs					
Fluss	Kategorie	Menge	Einheit	Kos	
BOD5, Biological Oxygen Demand	Emission to water/river	0.13034	kg		
COD, Chemical Oxygen Demand	Emission to water/river	0.13034	kg		
DOC, Dissolved Organic Carbon	Emission to water/river	0.04047	kg		
Heat, waste	Emission to air/high populati...	245.52000	MJ		
Hydroxide	Emission to water/river	0.36669	kg		
Nitrate	Emission to water/river	0.08350	kg		
Nitrogen oxides	Emission to air/high populati...	0.03385	kg		
silicon, single crystal, Czochralski pr...	201:Manufacture of basic c...	1.00000	kg		
TOC, Total Organic Carbon	Emission to water/river	0.04047	kg		

7.2 MÄRKTE

- Um die Auswirkungen der Änderungen innerhalb des PV-Marktes vergleichen zu können, wurde der Produktionsmix, der in der UVEK-Datenbank existiert, mit ei v3.3-Prozessen aufgebaut und beide Prozesse verglichen.
- Größere Unterschiede (> 20 %) zeigen sich nur in wenigen Kategorien: ionisierende Strahlung, Ozonschichtzerstörung und Wasserverbrauch
- Da der single-Si-Anteil relativ hoch ist und dieses Zellmaterial auch die größten Umweltwirkungen verursacht, haben die Änderungen bei single-Si auch einen großen Einfluss auf die Umweltwirkungen des Marktes. Das Diagramm zeigt große Ähnlichkeit mit dem Vergleich von single-Si-Anlagen in UVEK und ei v3.3
- Die geringeren Unterschiede bei multi-Si und single-Si wirken sich auch auf den Markt für PV-Strom aus, so dass die Änderungen im Vergleich zu den veralteten ecoinvent-Daten bei den meisten Indikatoren gering sind.

Tabelle 2 Wirkungsindikatorergebnisse für PV-Produktionsmix mit übersetzten UVEK-Datensätzen und ecoinvent v3.3-Datensätzen

ILCD 2011, midpoint, v1.0.10	market for electricity, low voltage, photovoltaic	electricity, production mix photovoltaic, at plant/kWh/DE - DE (übersetzt in ei v3.3)	
Acidification	8.80E-04	8.90E-04	Mole H+ eq.
Climate change	1.10E-01	1.05E-01	kg CO2 eq.
Freshwater ecotoxicity	9.46E+00	9.12E+00	CTUe
Freshwater eutrophication	9.27E-05	8.16E-05	kg P eq.
Human toxicity - carcinogenics	1.60E-08	1.45E-08	CTUh
Human toxicity - non-carcinogenics	1.21E-07	1.10E-07	CTUh
Ionizing radiation - ecosystems	2.93E-08	2.16E-08	CTUe
Ionizing radiation - human health	9.27E-03	6.81E-03	kg U235 eq.
Land use	1.39E+00	1.38E+00	kg SOC
Marine eutrophication	1.30E-04	1.40E-04	kg N eq.
Ozone depletion	1.41E-08	5.52E-09	kg CFC-11 eq.
Particulate matter/Respiratory inorganics	1.30E-04	1.20E-04	kg PM2.5 eq.
Photochemical ozone formation	4.10E-04	3.90E-04	kg C2H4 eq.
Resource depletion - mineral, fossils and renewables	3.45E-05	3.29E-05	kg Sb eq.
Resource depletion - water	5.40E-04	7.30E-04	m3
Terrestrial eutrophication	1.21E-03	1.33E-03	Mole N eq.

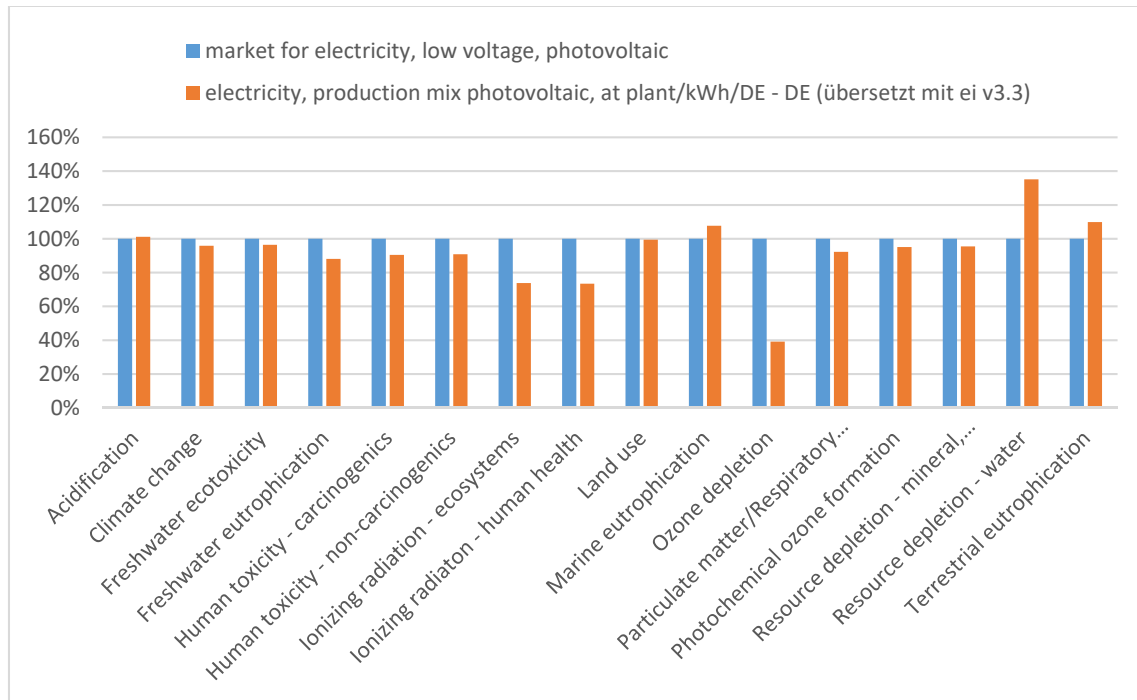


Abbildung 11 Wirkungsindikatorergebnisse für PV-Produktionsmix mit übersetzten UVEK-Datensätzen (100 %) und ecoinvent v3.3-Datensätzen