



Inhalt

- Hintergrund und Fragestellung
- Methodik
- Resultate
- Diskussion
- Ausblick

Abkürzungen:

- MPPT = Maximum Power Point Tracker
- PVA = PV-Anlage
- TTF = Time to Failure
- WR = Wechselrichter



Hintergrund und Fragestellung

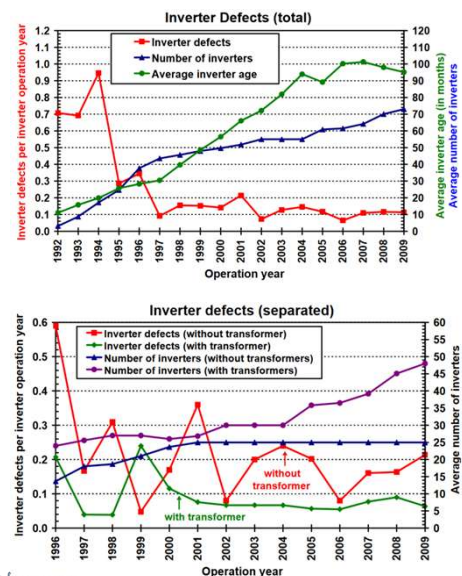
Wechselrichter müssen 1x im Leben der PVA ersetzt werden

- ▶ 2009, Prof. Dr. Häberlin: Jährlich haben ca. 10% der WR einen Defekt.
- ▶ WR ohne Trafos sind fehleranfälliger als WR mit Trafos.

Faustregeln:

- ▶ WR leben 15 Jahre
- ▶ WR müssen 1x im Leben einer PVA ersetzt werden.

Fazit: Das stimmt ungefähr. Es sieht eher besser aus.



Was wir wissen, was wir nicht wissen

Bekannt

- ▶ Alte WR mit Trafos lebten länger als alte trafolose WR.
- ▶ WR haben eine Lebenserwartung von ca. 15 Jahren
- ▶ Schwachstellen in PV-Anlagen und in WR sind bekannt, quantifiziert

Unbekannt

- ▶ Was beeinflusst die Lebensdauer eines WR?
- ▶ Leben WR im Gebäudeinnern länger als WR im Freien?
- ▶ Lieber 1 grosser oder mehrere kleine WR?
- ▶ Lohnt sich ein Witterungsschutz?
- ▶ Altert ein WR schneller, wenn er unterdimensioniert wird?
- ▶ Wie beeinflussen Optimizer die Lebensdauer von WR+MPPT?

Methodik

Grundkonzept: Zeitdauer bis zum ersten Fehler

- ▶ Umfrage: Nach wie vielen Jahren tritt der erste energierelevante Fehler auf?
 - ▶ Time To Failure (TTF)
- ▶ Systembeschreibung:
 - ▶ WR im Freien oder im Gebäudeinnern?
 - ▶ WR im Kaltestrich oder im Keller?
 - ▶ Mit oder ohne Leistungsoptimierer?
 - ▶ WR über- oder unterdimensioniert (Nennleistungsverhältnis, Sizing Ratio)?

Betrachtungsgrösse: 1 WR (inkl. MPPT resp. Optimizer)

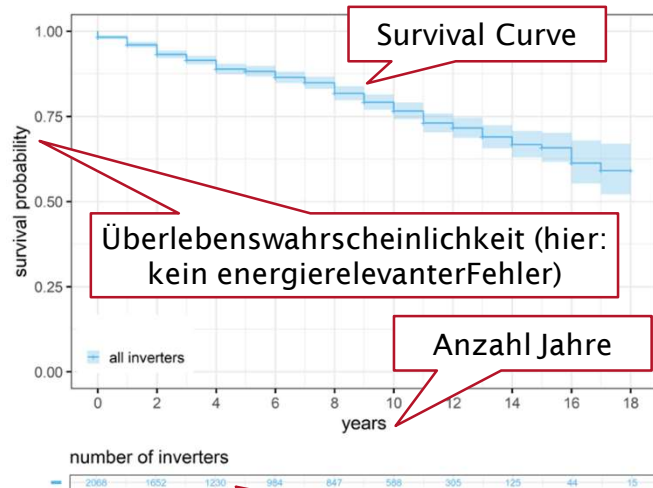
Daten

- ▶ Umfrage bei privaten Endkunden
- ▶ Ergänzung mit Daten von Installateuren / professionellen Betreibern

Source of data	No. of sys.	Total power (kVA)	No. of inv.	No. of inv. per sys	Power per sys (kVA)	Power per inv. (kVA)
Priv. owner	343	6172	546	1.6	18	11.3
Prof. owner	83	7050	314	3.8	84.9	22.5
Prof. instal.	769	13443	1261	1.6	17.5	10.7

Auswertung mit Kaplan-Meier-Schätzer (Survival Curve)

- ▶ Wie gross ist die **Überlebenswahrscheinlichkeit** eines WR nach x Jahren?
- ▶ Alle Kurven beginnen bei 100% und gehen Richtung 0%.
- ▶ Das **Vertrauensintervall** nimmt mit zunehmender Zeit zu, denn immer weniger WR sind in der Statistik enthalten.
- ▶ Verschiedene Kurven für verschiedene Gruppen (z. B. WR im Freien, WR im Gebäudeinnern)



Berner Fachhochschule | PV-Labor | Wie lange leben Wechselrichter? | Christof

Anzahl WR in Untersuchung

9

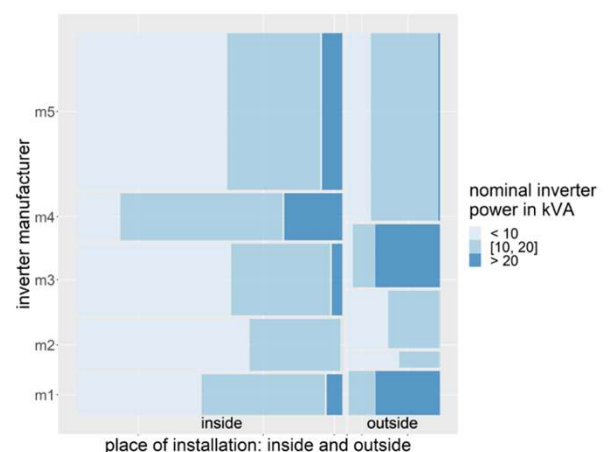
Korrelation ist nicht gleich Kausalität

Beispiel eines Trugschlusses:

- ▶ Kindergärtner können keine Differenzialgleichungen lösen. ETH-Studenten schon → Kindergarten schadet den Mathematikkenntnissen von Kindern.

In der Studie:

- ▶ WR im Freien altern schneller als WR im Gebäudeinnern. Grosse WR werden eher im Freien installiert als kleine.
- ▶ Was ist nun der Alterungsgrund? → unklar!



Berner Fachhochschule | PV-Labor | Wie lange leben Wechselrichter? | Christof Bucher

10

Lösung: Entkopplung der Variablen

- ▶ Viele einzelne Überlebenskurven berechnen:
 - ▶ Nur grosse WR von Hersteller 1, die im Freien installiert sind
 - ▶ Nur kleine WR von Hersteller 1, die im Freien installiert sind
 - ▶ Nur grosse WR von Hersteller 1, die im Gebäudeinnern installiert sind
 - ▶ ...
- ▶ Kombination dieser Kurven mit neuer (homogener) Gewichtung:
 - ▶ Alt (ungewichtet): Grosse WR sind eher im Freien, kleine WR eher im Gebäudeinnern
 - ▶ Neu (gewichtet): Gleich viele grosse WR sind im Freien wie im Gebäudeinnern

Spezialfall Leistungsoptimierer

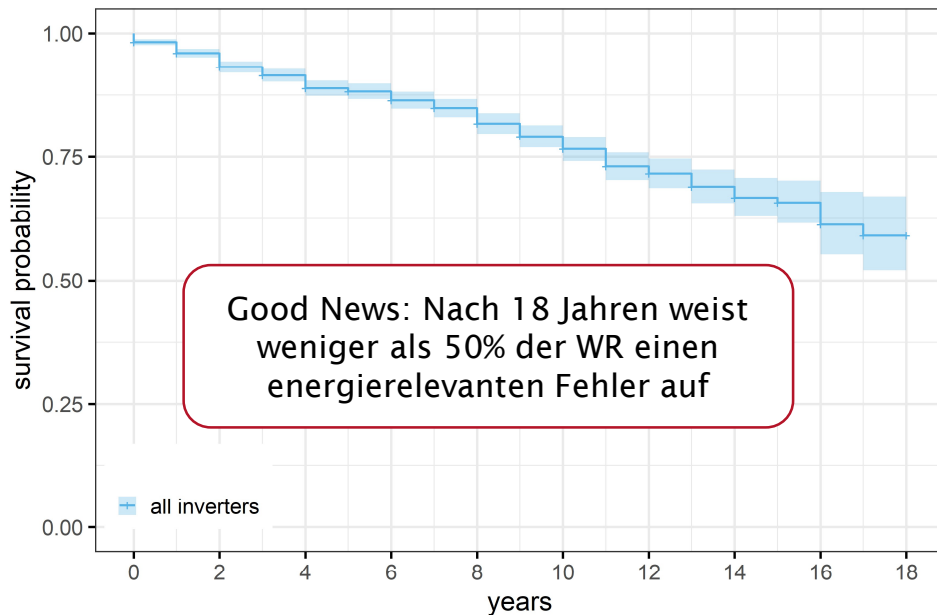
- ▶ Birnen mit Äpfel vergleichen: Ja. Muss der Kunde ja auch tun.
- ▶ Optimiererfehler = Wechselrichterfehler
 - ▶ Unfair?
 - ▶ Fällt ein Optimierer aus, läuft der Rest der Anlage weiter.
 - ▶ WR können repariert werden, Optimierer nicht.
 - ▶ Fair? Fällt ein Optimierer aus, rückt ein:e Spezialist:in aus und ersetzt den Optimierer → ähnlicher Aufwand wie bei WR-Fehler.
- ▶ Optimierer: Bessere Sichtbarkeit von Anlagenfehlern:
 - ▶ Mehr oder weniger Unterhaltsaufwand?
 - Kommt auf das Unterhaltskonzept an
- ▶ Fazit: Der Vergleich kann je nach Situation / Betriebskonzept anders ausfallen.

Resultate

Berner Fachhochschule | PV-Labor | Wie lange leben Wechselrichter? | Christof Bucher

13

Alle Wechselrichter



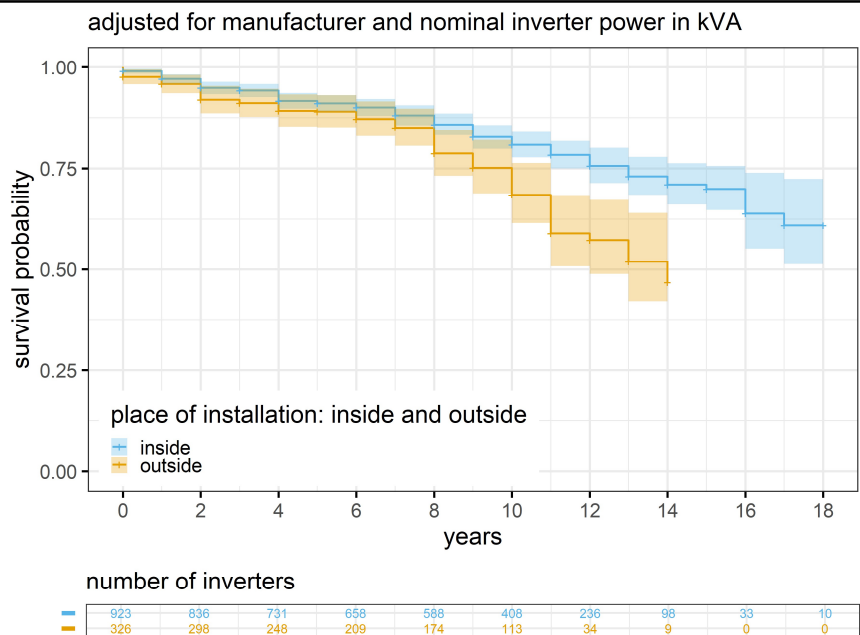
number of inverters

2068	1652	1230	984	847	588	305	125	44	15
------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

14

Installations- ort: Im Freien / im Gebäude- innern

- Entkorreliert von den Variablen «Hersteller» und «Leistung»

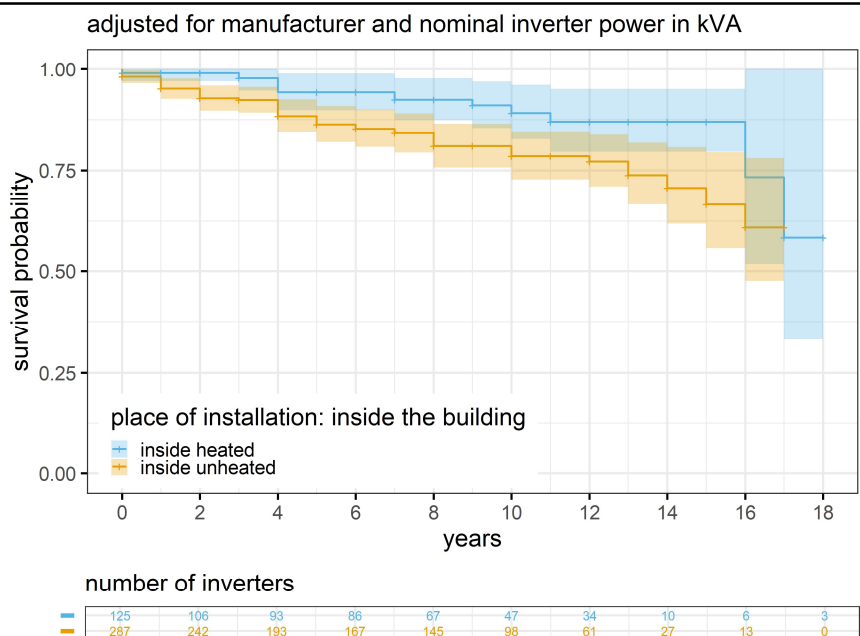


Berner Fachhochschule | PV-Labor | Wie lange leben Wechselrichter? | Christof Bucher

15

Installations- ort im Gebäude: Keller und Estrich

- WR leben am längsten im Keller.
Vermutung: Keine Überhitzung im Sommer

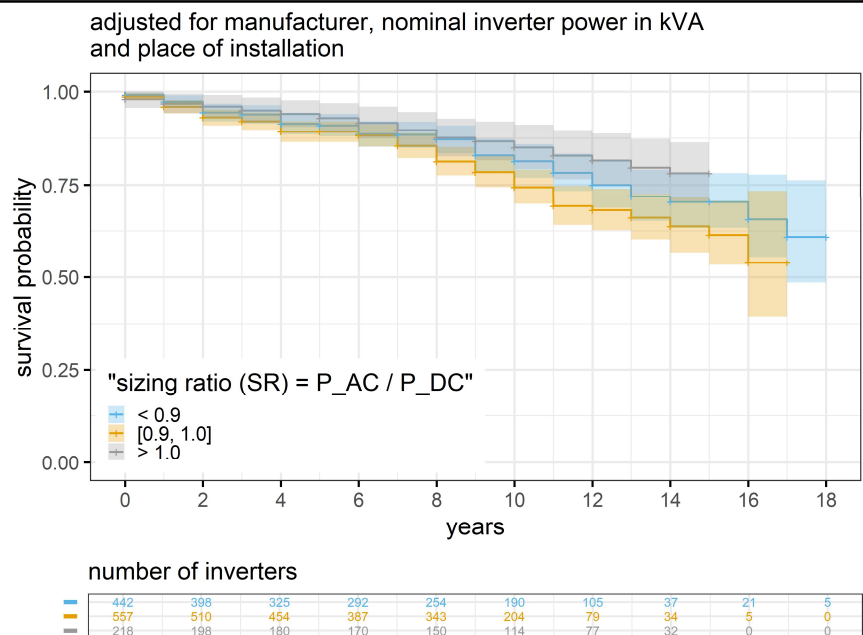


Berner Fachhochschule | PV-Labor | Wie lange leben Wechselrichter? | Christof Bucher

16

Nennleistungs- verhältnis (Sizing Ratio)

- ▶ Keine klare Aussage
- ▶ «zu kleine WR» (blaue Kurve) führen nicht zu einer vorzeitigen Alterung.

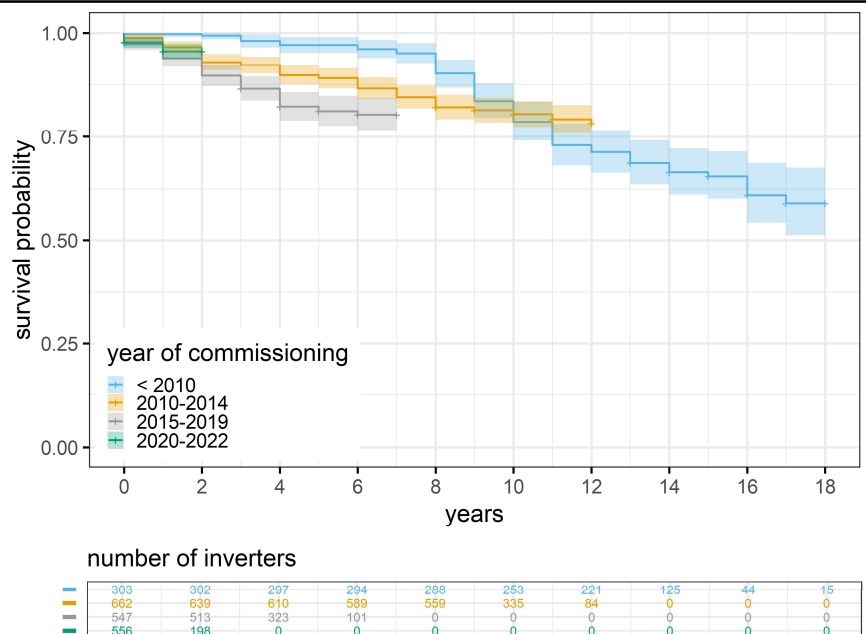


Berner Fachhochschule | PV-Labor | Wie lange leben Wechselrichter? | Christof Bucher

17

Inbetrieb- nahmejahr

- ▶ Ältere WR am zuverlässigsten?
- ▶ Oder sind einfach die frühen Ausfälle nicht mehr bekannt?

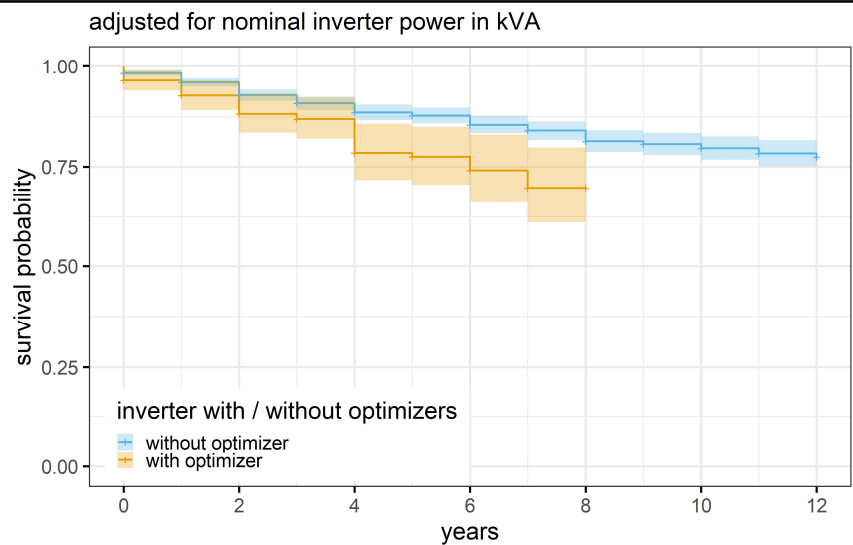


Berner Fachhochschule | PV-Labor | Wie lange leben Wechselrichter? | Christof Bucher

18

Mit und ohne Leistungs-optimierer

- ▶ Entkorreliert von der Variable «Leistung»
- ▶ Mit Optimierer: knapp doppelt so hohe Fehlerrate



number of inverters

—	1493	1140	811	616	520	323	83
—	224	164	96	56	27	0	0

Berner Fachhochschule | PV-Labor | Wie lange leben Wechselrichter? | Christof Bucher

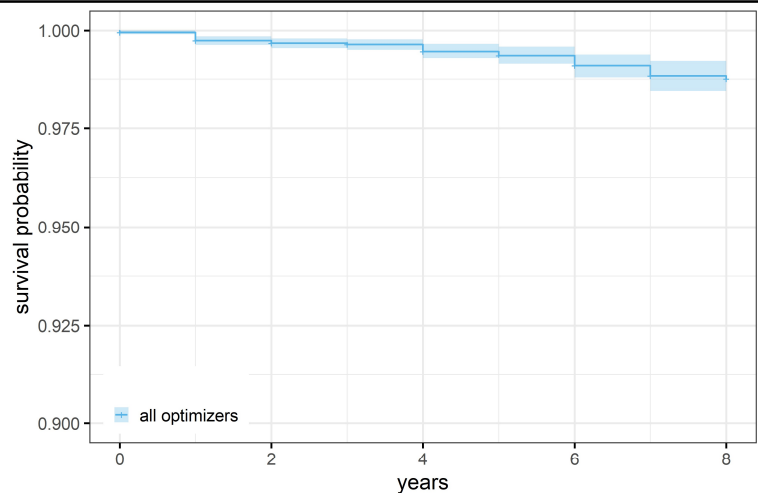
19

Leistungsoptimierer

- ▶ Geringe Ausfallrate, wenn nur 1 Optimierer betrachtet wird

Wichtige Hinweise:

- ▶ y-Achse geht nur bis 0.9
- ▶ Betrachtung nur Leistungsoptimierer, ohne notwendigen WR



number of optimizers

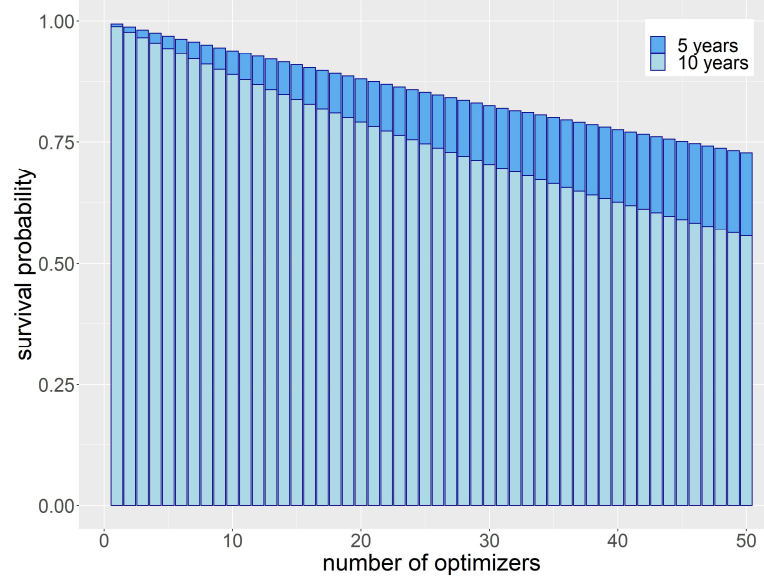
—	8542	7571	3425	2566	1283
---	------	------	------	------	------

Berner Fachhochschule | PV-Labor | Wie lange leben Wechselrichter? | Christof Bucher

20

Leistungsoptimierer nach 5 und 10 Jahren

- ▶ Optimierer haben ca. 20x weniger Fehler als WR
- ▶ Ca. 20 Optimierer zusammen haben etwa die gleiche Fehleranfälligkeit wie ein einzelner WR



Diskussion

Selbstkritik zur Studie

- ▶ WR als Systemgrenze: Sinnvoll?
- ▶ Datenqualität von Datenlieferant abhängig, Falschinformationen nicht detektierbar.
- ▶ Bewertung der Fehler (Definition / Kommunikation «energierelevant»)
- ▶ WR-Tausch ohne Fehler (insb. bei Anlagen mit vielen alten WR, z. B. SolarMax)
- ▶ Sind die Daten repräsentativ?
- ▶ Inbetriebnahmefehler nicht immer bekannt
- ▶ Falschinterpretationen wegen Korrelation von Variablen

Ausblick

Die Untersuchung soll weitergehen

- ▶ Ziel: Laufendes Update der Studie. Erkennung von Trends
- ▶ Vision: Online-Portal
 - ▶ Betreiber:innen von PVA erfassen ihre Anlagen
 - ▶ Jährlicher E-Mail-Reminder, um Fehler zu melden resp. «OK-Knopf» zu drücken
 - ▶ Option: Statistik on-demand abrufbar («Belohnung» fürs Mitmachen)
- ▶ Herausforderung: Kontakt zu Anlagebetreiber:innen
- ▶ Option: Zusammenarbeit mit Installationsfirmen

Class PV system				
PV & system	PV & inverter	PV & MPPT and Optimizer (optional)	PV & array	PV & module
Level 1 (compulsory) • ID number [int] • Name [text] • Place [address] • Number of modules [int] • Inverter [int] • MPPT [int] • Optimizer [int] • Array [int] • Module [int] • Inverter type [int]	Level 1 (compulsory) • ID number [int] • Number of modules [int] • Inverter [int] • MPPT [int] • Optimizer [int] • Array [int] • Module [int] • Inverter type [int]	Level 1 (compulsory) • ID number [int] • Number of modules [int] • Inverter [int] • MPPT [int] • Optimizer [int] • Array [int] • Module [int] • Inverter type [int]	Level 1 (compulsory) • ID number [int] • Number of modules [int] • Inverter [int] • MPPT [int] • Optimizer [int] • Array [int] • Module [int] • Inverter type [int]	Level 1 (compulsory) • ID number [int] • Number of modules [int] • Inverter [int] • MPPT [int] • Optimizer [int] • Array [int] • Module [int] • Inverter type [int]
Level 2 (optional) • Category [int] • Mounting type [int] • AC cable length [int] • DC cable length [int] • AC cable cross-section [int] • DC cable cross-section [int] • Inverter power [int] • Inverter type [int]	Level 2 (optional) • Category [int] • Mounting type [int] • AC cable length [int] • DC cable length [int] • AC cable cross-section [int] • DC cable cross-section [int] • Inverter power [int] • Inverter type [int]	Level 2 (optional) • Category [int] • Mounting type [int] • AC cable length [int] • DC cable length [int] • AC cable cross-section [int] • DC cable cross-section [int] • Inverter power [int] • Inverter type [int]	Level 2 (optional) • Category [int] • Mounting type [int] • AC cable length [int] • DC cable length [int] • AC cable cross-section [int] • DC cable cross-section [int] • Inverter power [int] • Inverter type [int]	Level 2 (optional) • Category [int] • Mounting type [int] • AC cable length [int] • DC cable length [int] • AC cable cross-section [int] • DC cable cross-section [int] • Inverter power [int] • Inverter type [int]
Level 3 (optional) • Commissioning date [int] • Failure in date [int] • Failure in reason [int] • Failure in type [int] • Failure in status [int]	Level 3 (optional) • Commissioning date [int] • Failure in date [int] • Failure in reason [int] • Failure in type [int] • Failure in status [int]	Level 3 (optional) • Commissioning date [int] • Failure in date [int] • Failure in reason [int] • Failure in type [int] • Failure in status [int]	Level 3 (optional) • Commissioning date [int] • Failure in date [int] • Failure in reason [int] • Failure in type [int] • Failure in status [int]	Level 3 (optional) • Commissioning date [int] • Failure in date [int] • Failure in reason [int] • Failure in type [int] • Failure in status [int]

Interessiert an unseren Forschungs-
Erkenntnissen?

Wir teilen diese 2x jährlich im Newsletter:
www.bfh.ch/pvlab



Interessiert an unseren Forschungs-Erkenntnissen?
Wir teilen diese 2x jährlich im Newsletter:
www.bfh.ch/pvlab

Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Christof Bucher, Labor für Photovoltaiksysteme, BFH