



# Zuverlässigkeit von Photovoltaik-Wechselrichtern

Vorabzug zu den Resultaten aus der Umfrage vom Frühjahr 2022

Christof Bucher, David Joss  
Burgdorf, 8. Juni 2022, V1

**Bei diesem Bericht handelt es sich um einen Vorabzug der Resultate der Umfrage <https://www.bfh.ch/de/forschung/referenzprojekte/lebenserwartung-photovoltaik-wechselrichter/>. Die Studie ist noch nicht begutachtet. Eine offizielle Publikation wird im Herbst 2022 anlässlich der «8th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion» in Mailand vorgestellt.**

**Die Autoren behalten sich vor, u. a. aufgrund von Feedback der Anlagenbetreiber:innen sowie aufgrund einer neuen Datenlage diese Studie zu aktualisieren.**

# Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Einleitung	4
	2.1 Untersuchung der Zuverlässigkeit von PV-Wechselrichtern an der BFH	4
	2.2 Weitere Untersuchungen der Lebensdauer von Wechselrichtern	5
	2.3 Aktuelle Fragestellungen	5
3	Daten (Deskriptive Statistik)	6
	3.1 Datenquellen	9
	3.2 Manuelle Datenkorrektur	9
	3.2.1 Löschung unvollständiger oder unrealistischer Datensätze	9
	3.2.2 Erstellung einer konsistenten Nomenklatur	9
	3.2.3 Korrektur offensichtlicher Fehler	9
4	Auswertungen	10
	4.1 Beschreibung der Datenauswertung	10
	4.2 Überlebenskurven	10
5	Kritische Betrachtung der Umfrage und der Datenauswertung	14
	5.1.1 Systemgrenze Wechselrichter	15
	5.1.2 Fehlerursache unbekannt	15
	5.1.3 Bewertung Optimierer- und Wechselrichterausfall	15
	5.1.4 Wechselrichterersatz ohne Ausfall	15
	5.1.5 Reparatur vs. Ende der Lebensdauer	15
	5.1.6 Nicht repräsentativer Datensatz	16
	5.1.7 Unbekannte Initialstörungen	16
	5.1.8 Falschangaben	16
	5.1.9 Falschinterpretation aufgrund von korrelierten Variablen	16
6	Ausblick	17
7	Fazit	17
8	Abkürzungen	17
9	Versionskontrolle	17
10	Literaturverzeichnis	18
	Anhang: Fragebogen	19

# 1 Zusammenfassung

Im Frühjahr 2022 wurden Daten zu Wechselrichter- (WR) und Leistungsoptimierer (LO)-Defekten von Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) bei den Betreiber:innen von PV-Anlagen erhoben. Der Grossteil der untersuchten Anlagen stammt aus der Deutschschweiz. Teil der Untersuchung sind insgesamt 1280 PV-Anlagen mit 2151 Wechselrichtern. In diesem Dokument werden die Resultate der Umfrage als Vorabzug dargestellt. Die vollständig ausgewerteten Daten sollen im Herbst 2022 an der EUPVSEC in Mailand vorgestellt werden.

Die untersuchten Wechselrichter und Leistungsoptimierer (im Folgenden «Leistungselektronik» genannt) sind ein breiter, wenn auch nicht repräsentativer Querschnitt durch die Leistungselektronik, welche bei PV-Anlagen an Gebäuden in der Schweiz respektive in Europa eingesetzt werden. Am meisten vertreten ist Leistungselektronik der Hersteller Fronius, Sputnik und SMA, die meisten PV-Anlagen mit Optimizern von SolarEdge ausgerüstet. Im europäischen Vergleich dürften dabei insbesondere bei älteren Anlagen die Produkte von Sputnik (SolarMax) übervertreten sein. Im internationalen Vergleich sind europäische Hersteller übervertreten.

Im Rahmen der Umfrage wurden insbesondere die Art der Leistungselektronik, das Inbetriebnahmejahr sowie das Jahr der ersten aufgetretenen energierelevanten Störung erhoben. Die Auswertung bezieht sich jeweils auf die mittlere Zeit bis zum Auftreten des ersten energierelevanten Fehlers, in diesem Bericht «MTTF» (mean time to failure) genannt. Dies ist nicht zu verwechseln mit der Lebensdauer eines Wechselrichters, denn diese kann aufgrund der Reparaturmöglichkeit der Geräte länger als die MTTF sein.

Die Resultate über alle untersuchten Wechselrichter und Leistungsoptimierer zeigen, dass über 50% der Leistungselektronik bis zu ihrem 15. Lebensjahr keinen ertragsrelevanten Fehler aufweist (Abbildung 1).

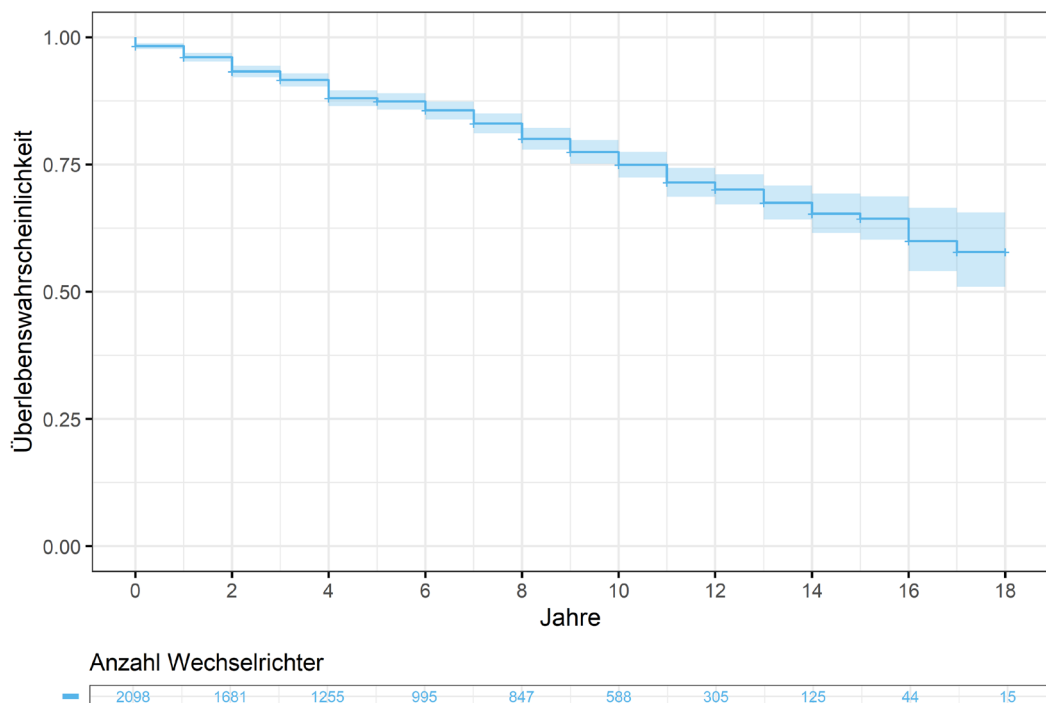


Abbildung 1: Überlebenskurve (Zeitdauer bis zum ersten ertragsrelevanten Defekt) für alle untersuchten Wechselrichter.

Im Weiteren zeigt die Untersuchung, dass die MTTF von verschiedenen Faktoren abhängig ist, insbesondere:

- Hersteller: Unterschiedliche Hersteller haben unterschiedliche MTTF.

- Leistung: Leistungsstärkere Wechselrichter haben kürzere MTTF, die grössten MTTF haben einzeln betrachtete Leistungsoptimierer. Die Zuverlässigkeit einer PV-Anlage insgesamt steigt jedoch signifikant mit der Reduktion der Anzahl leistungselektronischer Komponenten.
- Aufstellungsort: Leistungselektronik im Freien hat eine kürzere MTTF als Leistungselektronik im Gebäudeinnern.
- Topologie: Bei PV-Anlagen mit Wechselrichtern mit Leistungsoptimierern tritt der erste Fehler früher auf als bei PV-Anlagen, die nicht über Leistungsoptimierer verfügen.

## 2 Einleitung

### 2.1 Untersuchung der Zuverlässigkeit von PV-Wechselrichtern an der BFH

Die Untersuchung der Zuverlässigkeit von PV-Wechselrichtern war stets ein relevanter Forschungsgegenstand des PV-Labors. Zuletzt hat dieses im Jahr 2010 ein Paper zu der Zuverlässigkeit von Wechselrichtern veröffentlicht (Häberlin and Schärf 2010). Abbildung 2 zeigt eine wesentliche Schlussfolgerung von 2010: Im Mittel hat jeder Wechselrichter pro Jahr rund 0.1 Defekte. Das durchschnittliche Alter von Wechselrichtern stagniert dabei bei ca. 100 Monaten. Daraus lassen sich, insbesondere aufgrund der stetig weiterentwickelten Wechselrichtertechnologie, nur ansatzweise Schlüsse auf die Zuverlässigkeit der Wechselrichter im Allgemeinen ziehen. Aus Abbildung 2 geht jedoch hervor, dass das durchschnittliche Alter der Wechselrichter im Jahr 2005 erstmals rückläufig war und auch in den Folgejahren stagnierte. Die ältesten PV-Anlagen waren zu diesem Zeitpunkt 13-jährig, was auf einen erhöhten Ausfall der Wechselrichter ab diesem Alter hindeutet.

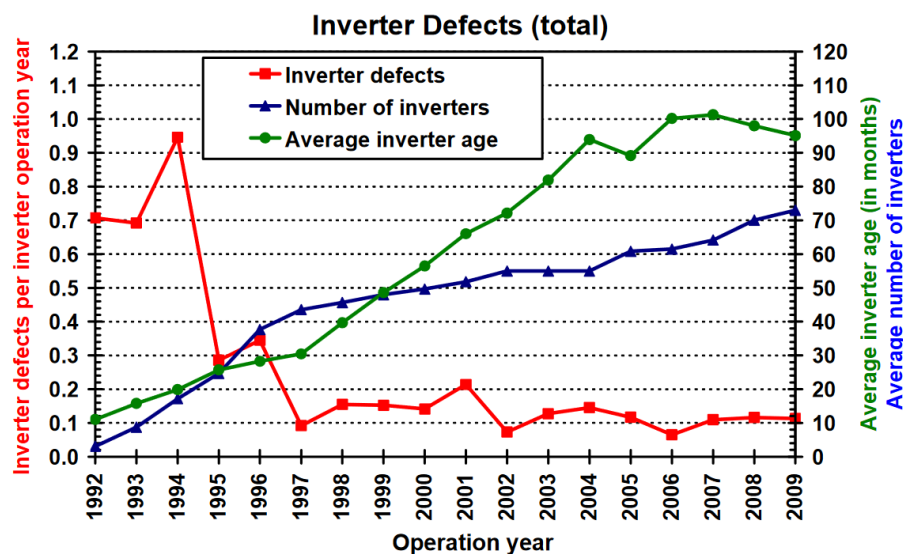


Abbildung 2: Untersuchung der Wechselrichter-Defekte (total) aus dem Jahr 2010 (Häberlin and Schärf 2010).

Die damalige Wechselrichtertechnologie ist jedoch kaum mit den heutigen Geräten zu vergleichen. Wenige lokale (insb. schweizerische und europäische) Wechselrichterhersteller dominierten den Weltmarkt mit relativ geringen Stückzahlen. Nicht zuletzt aufgrund der Befunde des PV-Labors setzte sich die Erkenntnis durch, dass Wechselrichter mit Transformatoren eine höhere Zuverlässigkeit haben respektive weniger störungsanfällig waren als Wechselrichter ohne Transformatoren (Abbildung 3).

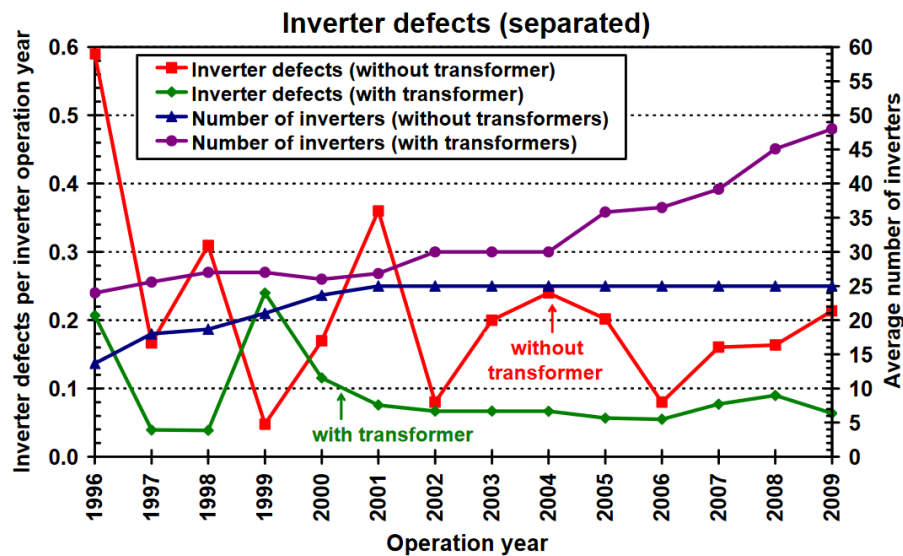


Abbildung 3: Untersuchung der Wechselrichter-Defekte (mit/ohne Transformator) aus dem Jahr 2010 (Häberlin and Schärp 2010).

## 2.2 Weitere Untersuchungen der Lebensdauer von Wechselrichtern

Auch andere Studien greifen das Thema der Zuverlässigkeit von Wechselrichtern auf. Im Projekt TRUST-PV werden sowohl die Zuverlässigkeit von Wechselrichtern in Grossanlagen als auch die Fehlermodellierung von PV-Anlagen auf Gebäuden untersucht (TRUST-PV 2022). Jordan et al. betrachtet zwar eine grosse Anzahl von PV-Anlagen, aber einen relativ jungen Anlagenpark und repräsentiert daher noch nicht die gesamte Lebensdauer einer Anlage (Jordan et al. 2020). Darüber hinaus fehlt in ihrer Betrachtung auch eine Unterscheidung zwischen Modulwechselrichtern und Leistungsoptimierern, was die Interpretation der Ergebnisse erschwert. Nach ihrer Einschätzung wird die Häufigkeit von Ausfällen in der Kategorie MLPE unterschätzt. Die Zuverlässigkeit von Wechselrichtern in Dänemark wird laut (Sangwongwanich et al. 2018) massgeblich durch das Nennleistungsverhältnis von Wechselrichter und PV-Modulen beeinflusst. Die zu Grunde liegende Untersuchung beruht sich auf Lebensdauermodelle von Komponenten, nicht auf die Untersuchung gebauter PV-Anlagen.

## 2.3 Aktuelle Fragestellungen

Mit der Einführung der KEV in der Schweiz hat die Schweizer PV-Branche einen Boom erfahren. Im gleichen Zeitraum wurden die Wechselrichter mit Transformator mehr und mehr von traflosen Geräten verdrängt. Vor diesem Hintergrund sind die Erkenntnisse von 2010 nicht mehr repräsentativ für den heutigen PV-Anlagenpark.

Auch die Landschaft der Hersteller von Wechselrichtern hat sich gewandelt. Dabei fallen insbesondere folgende Punkte ins Auge:

- Während asiatische Wechselrichterhersteller zunächst keine kompatible Geräte herstellten und diese im Europäischen Markt deshalb nicht verkauft wurden, sind heute insbesondere auch chinesische Firmen Huawei, Delta oder SunGrow vertreten.
- Bis 2014 hatte der Schweizer Wechselrichterhersteller Sputnik (SolarMax) einen hohen Marktanteil in der Schweiz. Seit kurzem führt der auf Off-Grid-Anwendungen spezialisierte Hersteller Studer-Innotec mit dem next3 wieder einen Netzverbundwechselrichter für PV-Anlagen im Portfolio, jedoch mit einem noch geringen Marktanteil.
- Obwohl sie schon lange bekannt sind, haben Modulwechselrichter und insbesondere Leistungsoptimierer erst in den vergangenen rund zehn Jahren eine weite Verbreitung erfahren.

Im Rahmen der hier vorgestellten Untersuchung werden neue Fragestellungen aufgeworfen. Diese sind unter anderen:

- Wie lange dauert es im Durchschnitt, bis ein Wechselrichter oder ein Leistungsoptimierer eine erste Störung aufweist?
- Hat sich die MTTF von heutigen Wechselrichtern gegenüber früher verändert?
- Hat die Dimensionierung der Anlage (Nennleistungsverhältnis, AC- geteilt durch DC-Leistung) einen Einfluss auf die MTTF der Wechselrichter?
- Inwiefern beeinflusst der Installationsort der Wechselrichter seine MTTF?

### 3 Daten (Deskriptive Statistik)

Im Rahmen der Umfrage von März – Mai 2022 sind Daten zu 1280 PV-Anlagen mit insgesamt 2151 Wechselrichtern und 9091 Leistungsoptimierern eingegangen. Davon mussten 71 Datensätze aufgrund von Unvollständigkeit respektive unplausiblen Daten gelöscht werden.

Die Umfrage wird in dieser ersten Auswertung primär mit folgender Fragestellung ausgewertet: «Wie viele Jahre dauert es, bis bei einem Wechselrichter der erste ertragsrelevante Fehler auftritt?». Für die Statistik ist es demnach unerheblich, ob beispielsweise zwei 6 kVA-Wechselrichter in einer PV-Anlage verbaut sind, oder ob die beiden Wechselrichter in zwei unabhängigen Anlagen installiert werden.

Die häufigsten im Rahmen dieser Studie evaluierten Wechselrichterhersteller sind (alphabetisch):

- Fronius
- Huawei
- Kostal
- SMA
- SolarEdge
- Sputnik

Abbildung 4 bis Abbildung 10 geben eine Übersicht über die in dieser Studie untersuchten Anlagen und Wechselrichter.

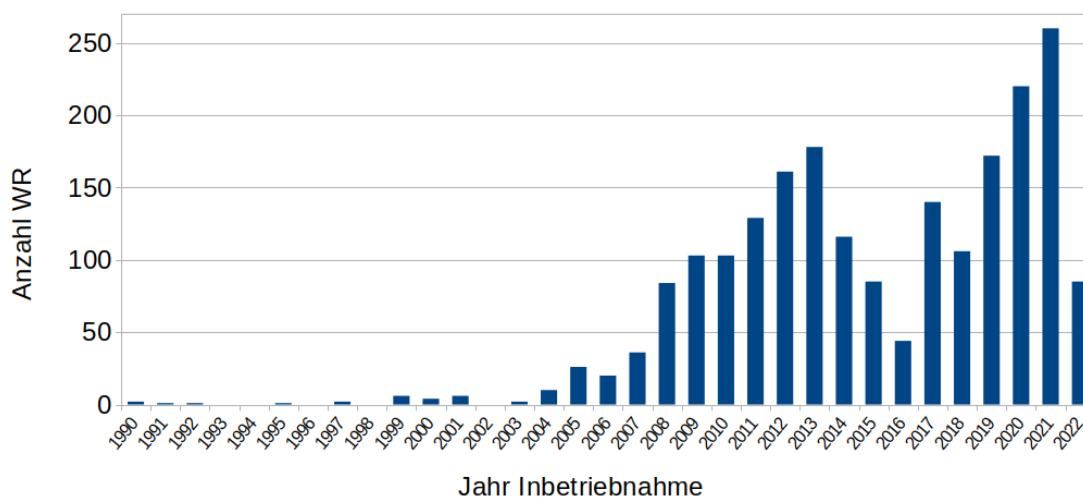


Abbildung 4: Anzahl der Wechselrichter für das jeweilige Inbetriebnahmejahr.

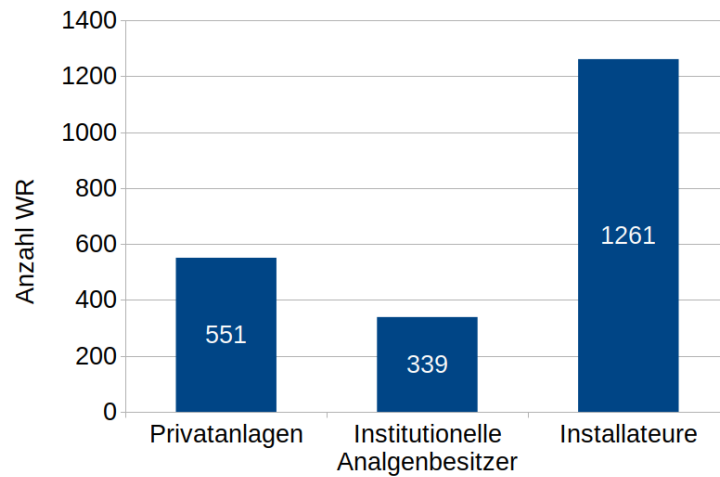


Abbildung 5: Datenquelle: Anzahl der Wechselrichter von Privaten (Einzeleingaben) und von institutionellen Datenlieferant:innen, z. B. Portfoliobetreiber:innen oder PV-Installationsfirmen.

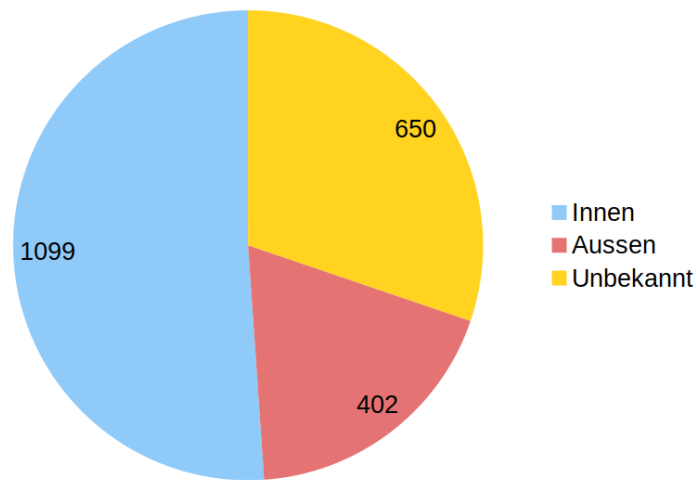


Abbildung 6: Installationsort der Wechselrichter. Hinweis: Von den übrigen Wechselrichtern sind keine Informationen vorhanden.

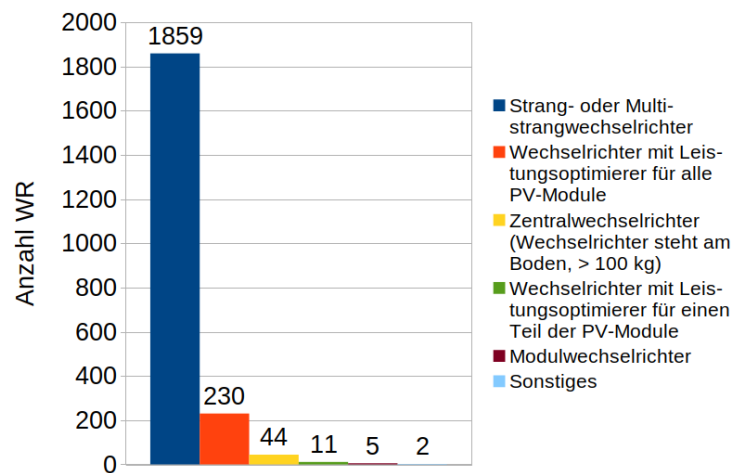


Abbildung 7: Typ der Wechselrichter.

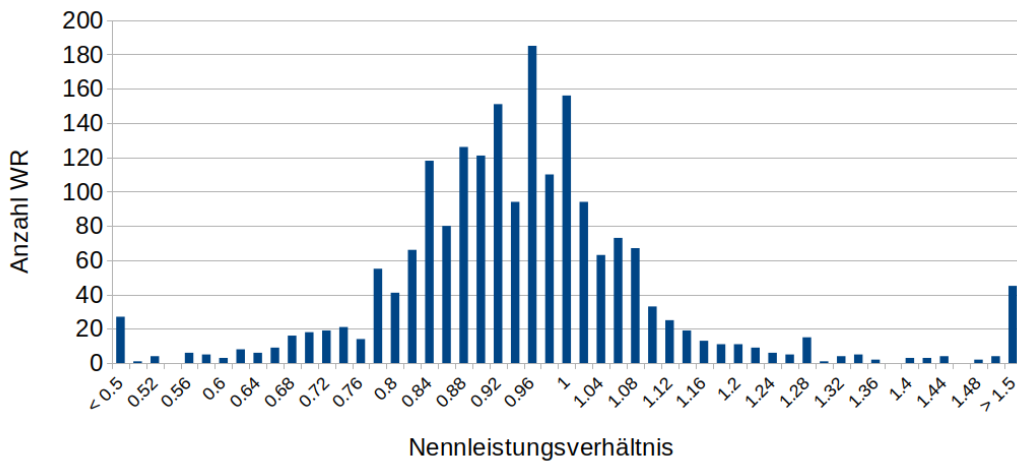


Abbildung 8: Nennleistungsverhältnis der Anlagen. Das Nennleistungsverhältnis wird in diesem Bericht als AC-Leistung dividiert durch die DC-Leistung bezeichnet.

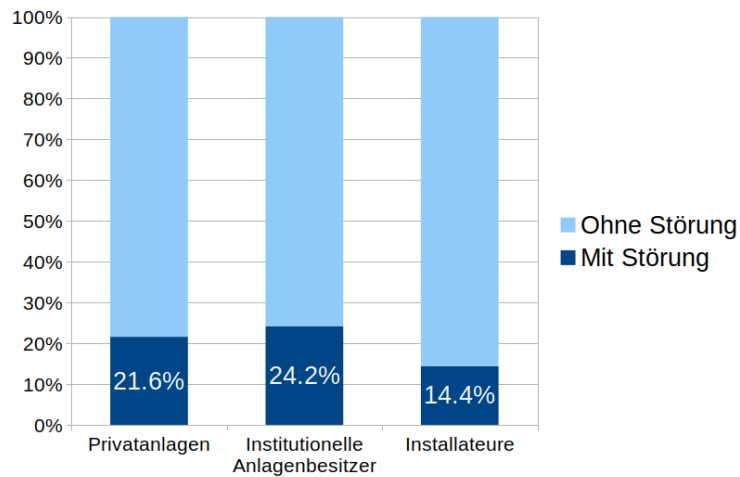


Abbildung 9: Anzahl der Anlagen mit und ohne ertragsrelevante Störung nach Datenquelle.

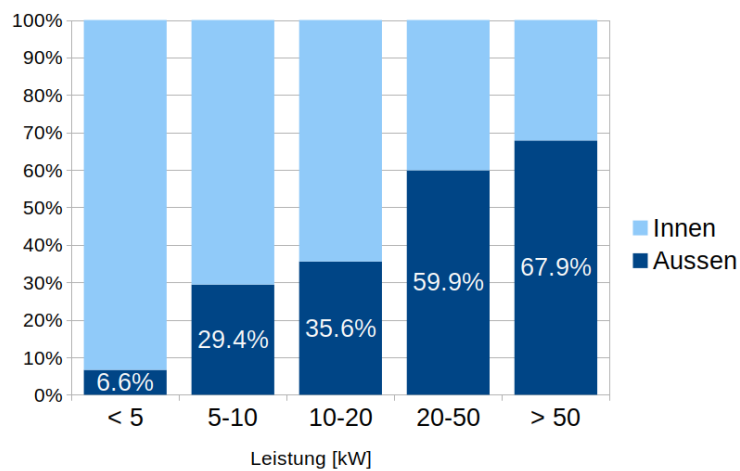


Abbildung 10: Installationsort des Wechselrichters je nach Leistungsklasse der Wechselrichter.



### 3.1 Datenquellen

Die Daten wurden primär über die Online-Umfrage erhoben. Auf diese wurde in Social Media sowie über diverse E-Mail-Kontakte aufmerksam gemacht. Nebst den mutmasslich vorwiegend von den Anlagebetreiber:innen angegebenen Daten wurden PV-Anlageportfolios von Firmen integriert, welche professionell mit dem Betrieb und dem Unterhalt von PV-Anlagen betraut sind. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Herkunft der Daten.

Informationsquelle	Anzahl Anlagen	Leistung total	Anzahl WR	WR pro Anlage	Leistung pro Anlage	Leistung pro WR
Private, Online-Umfrage	351	7'816	551	1.57	22.3	14.2
Institutionelle Anlagenbesitzer	106	8'440	339	3.2	79.6	24.9
Installateure mit Wartungsverträgen	821	12'509	1261	1.54	15.2	9.9

Tabelle 1: Informationsquellen der Datensätze

### 3.2 Manuelle Datenkorrektur

Im Rahmen dieser Umfrage sollte der Grossteil der Daten insbesondere mithilfe von Personen erhoben werden, die die Geschichte der Anlagen gut kennen. Dies sind insbesondere die Betreiber:innen der Anlagen. Diese sind jedoch oft nicht mit technischen Details vertraut. Aus diesem Grund wurde im Rahmen der Umfrage die Möglichkeit gegeben, die statistischen Angaben mit eigenen Kommentaren zu ergänzen. Unter anderem mithilfe dieser Kommentare wurden die Daten anschliessend manuell bereinigt und korrigiert. Die durchgeführten Korrekturen werden im Folgenden beschrieben.

#### 3.2.1 Löschung unvollständiger oder unrealistischer Datensätze

- Unvollständige und nicht auswertbare Datensätze gelöscht. Hinweis: Falls Datensätze unvollständig sind aber dennoch ausgewertet werden können (z. B. Herstellerfirma Wechselrichter fehlt), wurden sie nicht gelöscht, sondern lediglich bei den Auswertungen, bei denen die fehlende Information relevant ist, nicht berücksichtigt. Deshalb basieren nicht alle Untersuchungen auf derselben Anzahl Datenpunkte
- Unrealistische Einträge gelöscht (beispielsweise wenn die erste Störung vor dem Inbetriebnahmejahr angegeben wurde).

#### 3.2.2 Erstellung einer konsistenten Nomenklatur

- Komma mit Punkt ersetzt.
- Offensichtlich falsche Einheiten ersetzt / korrigiert.
- Schreibweise der Produkte und Firmen vereinheitlicht.

#### 3.2.3 Korrektur offensichtlicher Fehler

- Widersprüchliche Daten korrigiert oder gelöscht (z. B. Faktor 1000 bei Leistungsangaben).
- Falsche Kategorie-Zuordnungen der Wechselrichter korrigiert. So wird beispielsweise die Kategorie «Hybridwechselrichter» nicht geführt, sondern als «Strang- oder Multistrangwechselrichter» erfasst.
- Einheitliche Leistungen bei bekannten Produkten eingesetzt (z. B. AC-Leistung von WR).
- Störungen aufgrund der Beschreibung berücksichtigt oder nicht. Zwei fiktive Beispiele:
  - Sicherung hat ausgelöst, nach dem Wiedereinschalten lief der Wechselrichter wieder normal → nicht als Störung gewertet.
  - Wechselrichter hat merkwürdige Geräusche gemacht, wurde deshalb ersetzt → als Störung gewertet.

## 4 Auswertungen

### 4.1 Beschreibung der Datenauswertung

Bei der Datenauswertung ist die «Mean Time to Failure» (MTTF), die mittlere Zeit bis zum Auftreten des ersten ertragsrelevanten Fehlers, die massgebende Grösse. Diese wird mithilfe des Konzepts des Kaplan-Meier-Schätzers, auch bekannt als Überlebenskurve (Wikipedia Kaplan-Meier-Schätzer 2021) dargestellt. Die Überlebenskurve zeigt auf, welcher Prozentsatz der Population nach wie vielen Jahren noch am Leben ist. Übertragen auf diese Studie heisst das, es wird aufgezeigt, welcher Prozentsatz der Wechselrichter nach der angegebenen Anzahl Jahre noch keinen ertragsrelevanten Fehler aufweist.

Mithilfe der Methode der Überlebenskurve können verschiedene weitere Informationen abgeleitet werden:

- Die Daten können nach allen erhobenen Merkmalen gefiltert werden, beispielsweise nach dem Inbetriebnahmejahr, nach dem Wechselrichterhersteller oder nach dem Nennleistungsverhältnis. Für jede Filterung lässt sich eine neue Überlebenskurve darstellen.
- Aus den Überlebenskurve lassen sich konkrete statistische Zahlen ablesen. So kann beispielsweise geprüft werden, wie gross der Anteil der Wechselrichter einer bestimmten Kategorie ist, der nach fünf Jahren den ersten Fehler aufweist. Umgekehrt kann überprüft werden, welcher Prozentsatz der Wechselrichter das zehnte Lebensjahr ohne ertragsrelevante Störung erreicht.

Die Überlebenskurve berücksichtigt zudem jeweils, wie viele Wechselrichter im entsprechenden Betriebsjahr noch in der Statistik sind («samples at risk»). Damit kann, obwohl der Grossteil der erfassten Wechselrichter noch nie eine Störung hatte, abgeschätzt werden, in welchem Betriebsjahr 50% der Wechselrichter ihre erste erwartete Störung haben. Weil mit zunehmendem Alter der Wechselrichter jedoch weniger Daten zur Verfügung stehen, nimmt die Unsicherheit des Verlaufs der Überlebenskurve mit zunehmender Lebensdauer zu. Das Konfidenzintervall wird mit dem farblich hinterlegten Bereich in den Diagrammen dargestellt.

### 4.2 Überlebenskurven

In diesem Abschnitt werden MTTF in Form von Überlebenskurven von verschiedenen Teilmengen der in der Umfrage erhobenen Wechselrichter und Leistungsoptimierer dargestellt. Diese dienen als Grundlage für die quantitativen Aussagen der folgenden Kapitel. Die Lebensdauerkurven werden nur so lange gezeigt, wie sie relevante Informationen erhalten. Unterhalb jeder Überlebenskurve ist die Anzahl der zu jedem Zeitpunkt berücksichtigten Geräte (samples at risk) angegeben.

Abbildung 11 zeigt die Überlebenskurve der Wechselrichter der fünf meistgenannten Hersteller in der Umfrage. Aufgrund der heterogenen Datenlage enden die Kurven nach unterschiedlichen Zeiträumen. Die Überlebenskurve nach Installationsort wird in Abbildung 12 gezeigt. Demnach sind im Freien installierte Wechselrichter rund doppelt so anfällig auf Störungen wie im Gebäudeinnern installierte Wechselrichter. Nicht berücksichtigt ist jedoch bei dieser Auswertung, dass im Freien tendenziell grössere Wechselrichter installiert werden als im Gebäudeinnern (Abbildung 10).

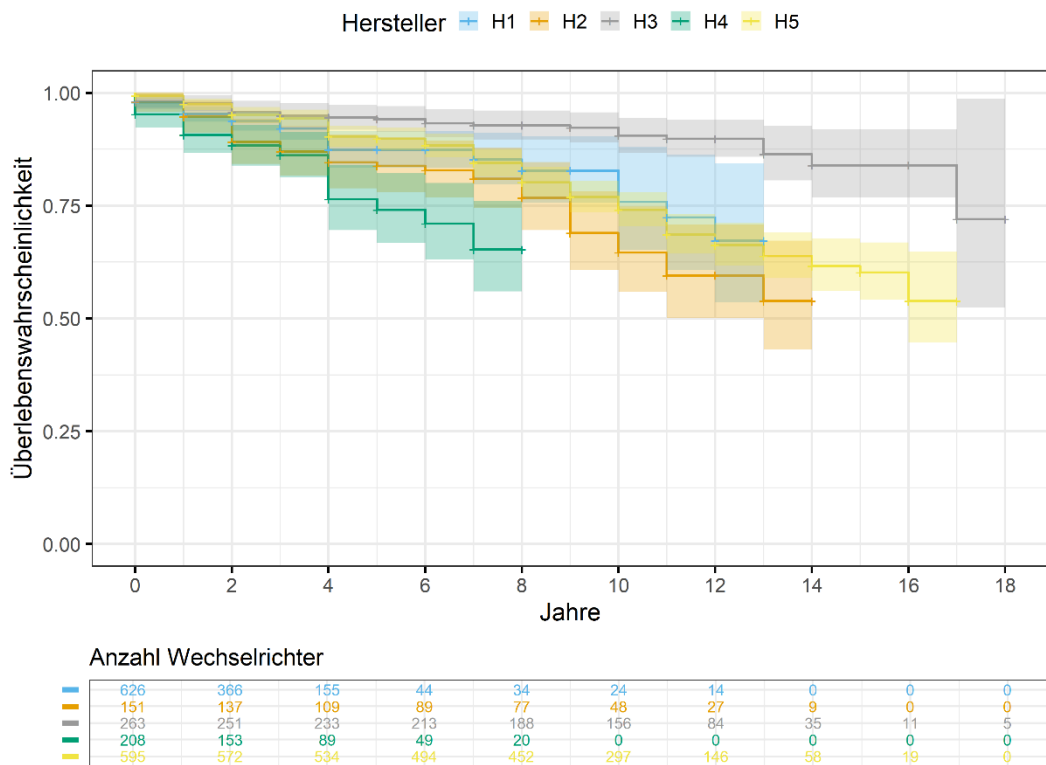


Abbildung 11: Überlebenskurve der Wechselrichter nach Hersteller.

Der Einfluss der Leistung der Wechselrichter auf deren MTTF wird in Abbildung 13 dargestellt. Dabei ist jedoch zu beachten, dass Wechselrichter mit grösseren Leistungen eher im Freien installiert werden, was eher zu Störungen führt (Abbildung 12). Die entsprechende Korrelation ist in Abbildung 13 nicht korrigiert.

In Abbildung 14 werden die Überlebenskurven von PV-Anlagen mit und ohne Leistungsoptimierer verglichen. Abbildung 15 zeigt die Überlebenskurve von Leistungsoptimierern ohne Wechselrichter.

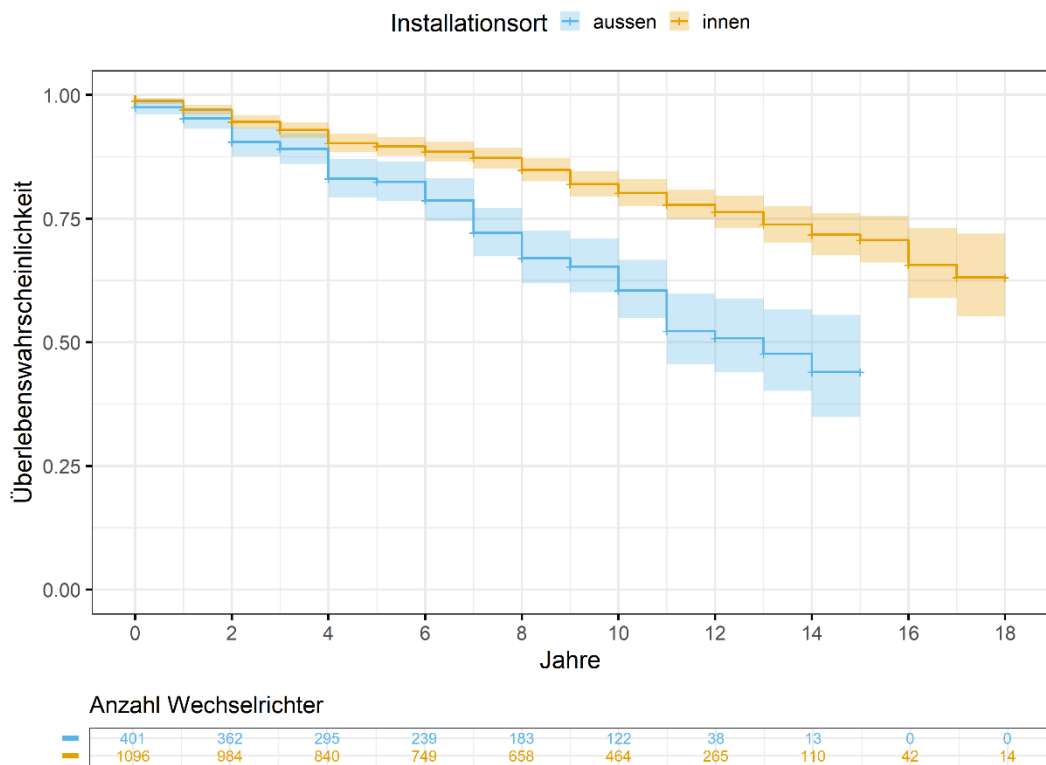


Abbildung 12: Überlebenskurve der Wechselrichter nach Installationsort. Der Installationsort der Leistungsoptimierer (üblicherweise «ausser») wird hier nicht berücksichtigt.

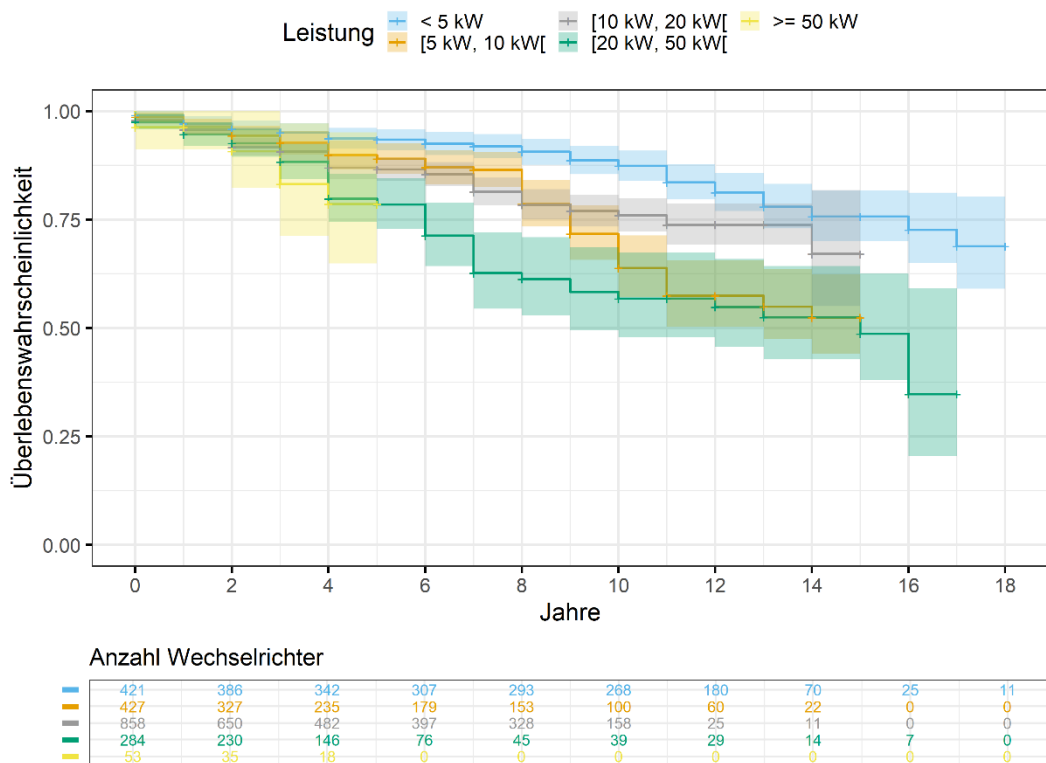


Abbildung 13: Überlebenskurve der Wechselrichter nach Leistung der Wechselrichter.

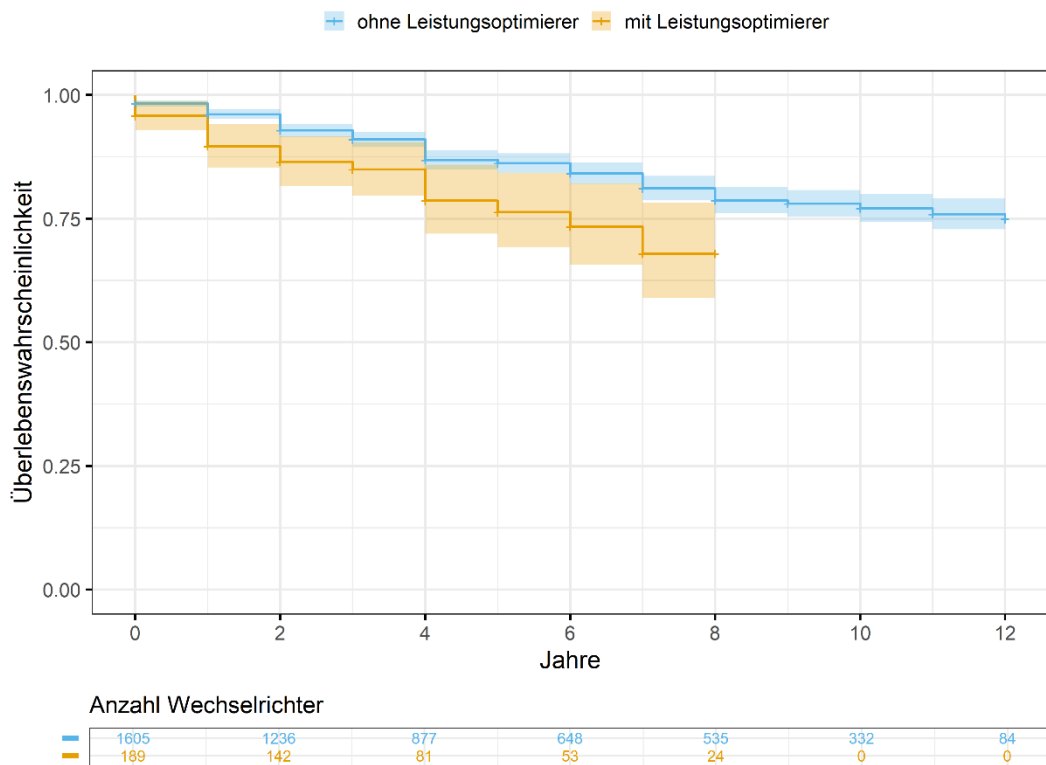


Abbildung 14: Überlebenskurve der Wechselrichter mit und ohne Leistungsoptimierer (nur Wechselrichter mit Inbetriebnahmejahr > 2010 sind berücksichtigt).

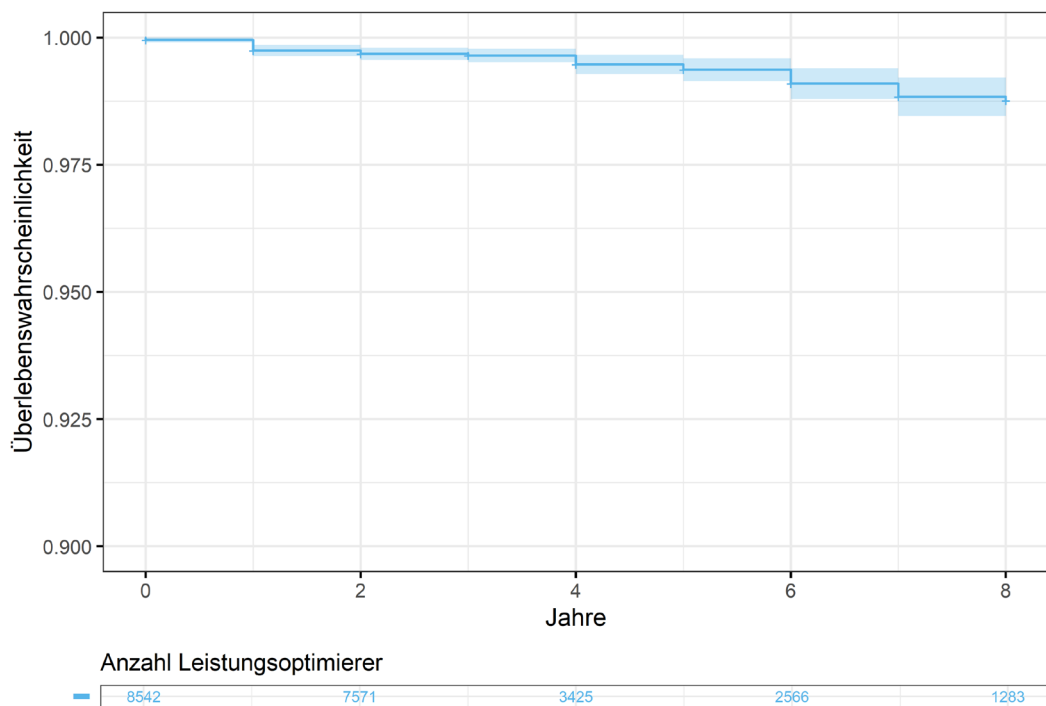


Abbildung 15: Überlebenskurve der Leistungsoptimierer ohne Wechselrichter einzeln betrachtet. Zu beachten ist die im Vergleich mit den anderen Überlebenskurven anders gewählte Achsenskalierung.

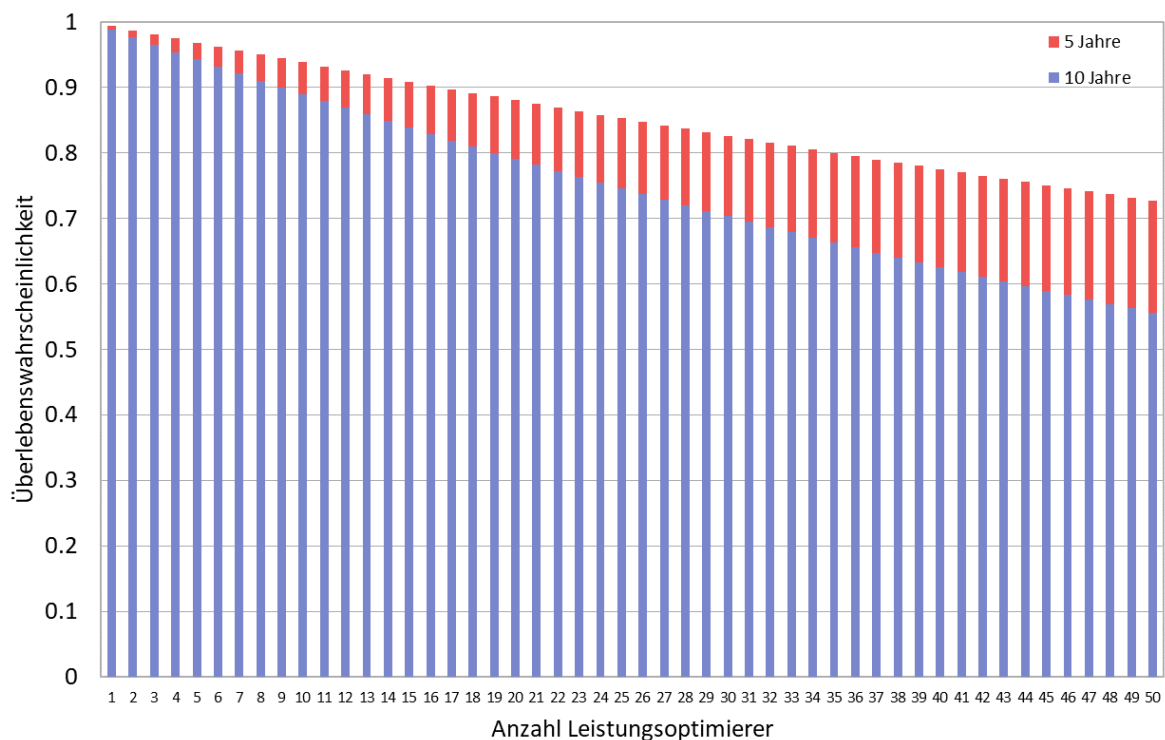


Abbildung 16: Anteil der Leistungsoptimierer (LO), die bis zum fünften resp. zehnten Lebensjahr keine Störung aufweisen; in Abhängigkeit der Anzahl LO, die gleichzeitig betrachtet werden.

Abbildung 15 zeigt, dass ein einzelner Leistungsoptimierer durchschnittlich weniger störungsanfällig ist als einzelner Wechselrichter. Während nach zehn Betriebsjahren im Mittel 23 % der Wechselrichter ohne Leistungsoptimierer eine erste Störung aufweisen (Abbildung 14), sind es bei den Leistungsoptimierern nur gerade 1.2 %. Die Korrelation zwischen Leistung und MTTF lässt sich in ähnlicher Form auch in Abbildung 10 beobachten. Hierbei handelt es sich jedoch lediglich um eine Analogieüberlegung, denn ein einzelner Leistungsoptimierer ist ohne zusätzlichen Wechselrichter nicht betriebsfähig.

Werden hingegen mehrere Leistungsoptimierer gemeinsam in einer PV-Anlage betrachtet, so nimmt die Häufigkeit der Ausfälle zu: Abbildung 16 zeigt, dass die durchschnittliche störungsfreie Zeit der Leistungsoptimierer ab einer Anzahl von ungefähr 24 Leistungsoptimierer gleich gross wird wie diejenige der Wechselrichter ohne Leistungsoptimierer. Die Zuverlässigkeit des an den Leistungsoptimierern angeschlossenen Wechselrichters ist dabei noch nicht berücksichtigt. Die durchschnittliche Anzahl Leistungsoptimierer pro Wechselrichter beträgt in der vorliegenden Untersuchung 47, was die kürzere MTTF bei PV-Anlagen mit Leistungsoptimierern in Abbildung 14 erklären kann.

## 5 Kritische Betrachtung der Umfrage und der Datenauswertung

Im Gegensatz zu anderen Untersuchungen zum Ausfall von Wechselrichtern<sup>1</sup> wird bei dieser Umfrage nicht primär nach der Ursache der Störung gefragt, sondern nach dem Jahr des Auftretens vom ersten energierelevanten Fehler und damit nach der störungsfreien Zeit der Wechselrichter. Damit können diverse Aussagen zur Zuverlässigkeit von Wechselrichtern sowie zu lebensdauerbeschränkenden Einflüssen der PV-Leistungselektronik gemacht werden.

<sup>1</sup> Wie beispielsweise im IEA PVPS Task 13: <https://iea-pvps.org/research-tasks/performance-operation-and-reliability-of-photovoltaic-systems/>

Es gibt jedoch auch diverse Punkte, die nicht oder nicht präzise erfasst werden und nachfolgend diskutiert werden.

#### 5.1.1 Systemgrenze Wechselrichter

- Die relevante Einheit dieser Studie ist «ein Wechselrichter». Bei PV-Anlagen mit Optimierern werden alle Optimierer zu diesem einen Wechselrichter dazugezählt. Wenige Anlagen im Rahmen dieser Studie verfügen über viele (>5), in einem Fall sogar über sehr viele (>20) Wechselrichter mit Optimierern. Bei den gemeldeten Optimiererausfällen ist dabei nicht ersichtlich, an welchem Wechselrichter diese angeschlossen waren. Da die Störungen jedoch einem Wechselrichter zugewiesen werden müssen, ist unklar, ob die gemeldeten defekten Optimizer als mehrfache Fehler an einem Wechselrichter zu werten sind, oder ob es sich um viele Erstfehler an mehreren Wechselrichter handelt. Für die Auswertung wurde von einer stochastischen Gleichverteilung der Fehler auf den Wechselrichtern ausgegangen. Da der Grossteil der gemeldeten Anlagen jedoch nur über einen Wechselrichter verfügt, wird der Fehler durch diese Annahme als untergeordnet eingestuft.

#### 5.1.2 Fehlerursache unbekannt

- Die Ursachen der Ausfälle und Defekte sind nicht bekannt. So kann beispielsweise nicht in allen Fällen einwandfrei zwischen einem Bagatellfehler (wie ein Ausfall eines Displays) und einem Totschaden (wie einem Brand im Wechselrichter) unterschieden werden.

#### 5.1.3 Bewertung Optimierer- und Wechselrichterausfall

- Der Ausfall eines Optimierers hat meist weniger Ertragsausfall zur Folge als der Ausfall eines Wechselrichters. Bei der Überlebenskurve (Zeit bis zum Auftreten des ersten Fehlers) werden jedoch beide Defekte gleich dargestellt. Falls der Ausfall eines Optimierers einen Service-Einsatz auslöst, ist diese Darstellung nahe an den finanziellen Auswirkungen eines Wechselrichterausfalls. Falls damit jedoch nur die Leistung eines Moduls wegfällt, sind die Auswirkungen eines Optimiererausfalls geringer als diejenigen eines Wechselrichterausfalls. Im Rahmen dieser Studie wurde die Tendenz festgestellt, dass einzelne defekte Optimierer jeweils ersetzt wurden. Optimizer, die defekt sind und nicht ersetzt wurden, wurden im Rahmen dieser Studie vermutlich nicht entdeckt.
- Unter dieser Betrachtung müssten jedoch auch einige Kommunikationsstörungen als «Zeit bis zum ersten Ausfall» gewertet werden. Kommunikationsstörungen werden jedoch nicht gewertet, da diese oft nicht vom Wechselrichter, sondern vom Kommunikationssystem (z. B. von schlechtem Mobilfunkempfang oder von Sicherheitsupdates am Internetanschluss) verursacht werden.
- Während Wechselrichter nach dem Auftreten des ersten Fehlers in der Regel repariert werden, werden auch relativ junge Leistungsoptimierer mit Defekten nicht repariert sondern entsorgt.
- Bei der Berechnung, wie viele Leistungsoptimierer gemeinsam betrachtet dieselbe MTTF haben wie ein Wechselrichter, wird die zusätzlich zu betrachtende MTTF des zu den Leistungsoptimierern gehörenden Wechselrichters vernachlässigt. Um ein realistisches Bild zu gewinnen, müsste diese ebenfalls berücksichtigt werden, was die Anzahl Leistungsoptimierer zum Erreichen der MTTF eines Wechselrichters reduzieren würde.

#### 5.1.4 Wechselrichterersatz ohne Ausfall

- Gerade bei älteren Anlagen kommt es vor, dass Wechselrichter ohne unmittelbaren technischen Grund präventiv ersetzt werden. In dieser Untersuchung wird dies als Ende der MTTF der Wechselrichter aufgeführt. Hinsichtlich einer Wirtschaftlichkeitsrechnung ist diese Betrachtung korrekt. Zur Beurteilung der Wechselrichterqualität wird damit jedoch die MTTF der Wechselrichter unterschätzt.

#### 5.1.5 Reparatur vs. Ende der Lebensdauer

- Es kann nicht zweifelsfrei gesagt werden, ob ein Defekt am Wechselrichter das Lebensende eines Wechselrichters bedeutet oder lediglich eine Reparatur nötig ist. Weil Installateure und Hersteller oft Occasion-Ersatzgeräte verbauen, muss selbst ein Wechselrichterersatz nicht notwendigerweise das Ende der Lebensdauer eines Wechselrichters bedeuten. Aufgrund dieser

Unsicherheit wird im Rahmen dieser Auswertung von der «Zeitdauer bis zum Auftreten des ersten Energierelevanten Fehlers» (MTTF) gesprochen.

#### 5.1.6 Nicht repräsentativer Datensatz

- Es kann angenommen werden, dass die Wechselrichterfabrikate und -hersteller aus der Online-Umfrage ungefähr proportional zu ihren Marktanteilen in der Deutschschweiz vertreten sind. Bei den Daten der institutionellen Anlagenbetreiber hingegen sind naturgemäss einzelne Produkte übervertreten. Weil die Wechselrichter verschiedener Hersteller unterschiedliche MTTF haben, führt dies zu einer Verzerrung der MTTF des gesamten Wechselrichterparks.
- Es ist nicht bekannt, ob sich eine Gruppe von Anlagebetreiber:innen von dieser Umfrage besonders angesprochen fühlte. So ist denkbar, dass Anlagenbetreiber:innen mit defekten Anlagen eher dazu tendierten, diese Umfrage auszufüllen, als Betreiber:innen von Anlagen ohne bekannte Wechselrichterdefekte. Der Vergleich der Daten aus den Online-Umfragen mit den Daten von institutionellen Betreiber:innen lässt diesbezüglich jedoch keine starke Verzerrung erkennen. Umgekehrt ist davon auszugehen, dass professionelle Anlagenbetreiber:innen eher auf Qualität und optimale Betriebsbedingungen achten und daher eher geringere Ausfallraten an Wechselrichtern aufweisen.
- Institutionelle Anlagenbetreiber:innen haben teilweise Anlagen, die vermehrt in bestimmten Zeiträumen gebaut wurden (beispielsweise in den Jahren 2008 – 2014). Dadurch sind die Anlagen aus diesen Zeiträumen bei diesen Datenlieferant:innen übervertreten. Dies führt automatisch zu Korrelationen in der Statistik, die zwar eindeutig vorhanden sind, jedoch keinen Kausalzusammenhang mit den Datenlieferant:innen haben.

#### 5.1.7 Unbekannte Initialstörungen

- Es wird davon ausgegangen, dass Wechselrichterstörungen direkt bei der Inbetriebnahme der Bauherrschaft oft nicht bekannt sind, weil sie von den Installationsfirmen noch während der Installation behoben oder die Wechselrichter ausgetauscht werden. Insbesondere bei Optimierern muss angenommen werden, dass defekte Geräte bei der Inbetriebnahme nicht bekannt waren, da deren Austausch während der Anlageinbetriebnahme nur geringen Mehraufwand und geringe Mehrkosten verursacht.

#### 5.1.8 Falschangaben

- Grundsätzlich muss davon ausgegangen werden, dass nicht alle gemachten Angaben korrekt sind. Die dadurch entstandenen Fehler können jedoch nicht quantifiziert werden. Aus den im Rahmen der gemachten Kommentare geht jedoch hervor, dass es nur vereinzelte Missverständnisse bei der Beantwortung der Umfrage gab. Diese wurden, soweit erkennbar, manuell korrigiert.
- Gewisse Fehler werden von den Anlagebetreiber:innen als Wechselrichterfehler interpretiert, die in Wahrheit jedoch keine Wechselrichterfehler sind. Ein Beispiel sind Erdschlüsse im Modulfeld, die zu einer Fehlermeldung am Wechselrichter führen. Soweit möglich, wurden diese Fehler als solche gekennzeichnet und im Rahmen dieser Untersuchung nicht gewertet.
- Wenn bei grösseren Anlagen Optimierer ersetzt werden, ist nicht immer klar, wie viele Optimierer ersetzt wurden. Wenn keine Angaben vorhanden sind, wird jeweils angenommen, dass nur ein Optimierer ersetzt wurde. Dieser Umstand könnte die Daten zugunsten der Leistungsoptimierer verfälschen.

#### 5.1.9 Falschinterpretation aufgrund von korrelierten Variablen

- Wechselrichter mit höheren Leistungen haben gemäss Untersuchung eine geringere MTTF als Wechselrichter mit kleineren Leistungen. Allerdings werden Wechselrichter mit grösseren Leistungen auch öfters im Freien installiert, was ebenfalls einen die MTTF reduzierenden Effekt hat. Diese beiden Effekte werden im Rahmen dieser Studie noch nicht unabhängig voneinander betrachtet.

Im Rahmen dieser Studie werden somit diverse Beobachtungen gezeigt, deren Gültigkeit nur im dargestellten Kontext isoliert betrachtet gegeben ist.



## 6 Ausblick

Die in dieser Studie vorgestellte Arbeit soll auf zwei Ebenen weitergeführt werden:

1. Die Daten sollen weiter analysiert und einige kritische Elemente durch Korrekturen in der Auswertung kompensiert werden. Die Publikation ist anlässlich der «8th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion» in Mailand vorgesehen.
2. Die Untersuchung soll künftig wiederholt und auf weitere Anlagen ausgeweitet werden.

## 7 Fazit

Die Untersuchung der MTTF der Wechselrichter bestätigt die Faustregel, dass Wechselrichter rund 15 Jahre ohne Störung laufen sollten. Sie zeigt zusätzlich auf, welche Faktoren sich auf die Störungsanfälligkeit positiv oder negativ auswirken. Als reduzierend auf die Zeit bis zum Auftreten eines ersten Fehlers werden insbesondere folgende Faktoren beobachtet:

- Aufstellung der Wechselrichter im Freien;
- Wechselrichter mit grösseren Leistungen (nur auf das Einzelgerät betrachtet, nicht aus Sicht einer PV-Anlage);
- PV-Anlagen mit Wechselrichtern und Leistungsoptimierern.

Verschiedene Faktoren, welche die MTTF beeinflussen, sind untereinander positiv korreliert. Die Auswertungen müssen deshalb jeweils im Kontext der möglichen Einflussparameter gesehen werden.

Im Rahmen dieses Berichtes wird lediglich ein Vorabzug der Datenauswertung dargestellt. Eine umfangreiche wissenschaftliche Publikation wird im Herbst 2022 publiziert.

## 8 Abkürzungen

In diesem Bericht werden folgende Abkürzungen verwendet:

- AC: Alternating Current, Wechselstrom
- DC: Direct Current, Gleichstrom
- LO: Leistungsoptimierer
- MTTF: Mean time to Failure
- NLV: Nennleistungsverhältnis (hier: AC-Leistung geteilt durch DC-Leistung)
- PV: Photovoltaik
- PVA: Photovoltaik-Anlage
- WR: Wechselrichter

## 9 Versionskontrolle

Version	Datum	Beschreibung	Autor
1.0	8.6.2022	Veröffentlichung der ersten, nicht geprüften Version auf der Homepage des PV-Labors.	Christof Bucher, David Joss

## 10 Literaturverzeichnis

Häberlin, H.; Schärf, P. (2010): Long-Term Behaviour of Grid-Connected PV Systems over More than 15 Years. 6 pages / 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition / 5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 6-10 September 2010, Valencia, Spain; 3926-3931. DOI: 10.4229/25thEUPVSEC2010-4DO.11.1.

Jordan, Dirk C.; Marion, Bill; Deline, Chris; Barnes, Teresa; Bolinger, Mark (2020): PV field reliability status—Analysis of 100 000 solar systems. In *Prog Photovolt Res Appl* 28 (8), pp. 739–754.

Sangwongwanich, Ariya; Yang, Yongheng; Sera, Dezso; Blaabjerg, Frede; Zhou, Dao (2018): On the Impacts of PV Array Sizing on the Inverter Reliability and Lifetime. In *IEEE Trans. on Ind. Applicat.* 54 (4), pp. 3656–3667. DOI: 10.1109/TIA.2018.2825955.

TRUST-PV (2022): TRUST-PV. Solar PV, Performance & Reliability. With assistance of David Moser. EURAC RESEARCH. Available online at <https://trust-pv.eu/>, checked on 6/7/2022.

Wikipedia Kaplan-Meier-Schätzer (Ed.) (2021): Kaplan-Meier-Schätzer. Available online at <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Kaplan-Meier-Schätzer&oldid=217448014>, updated on 11/20/2021, checked on 5/21/2022.

## Anhang: Fragebogen

Im Folgenden wird der Online-Fragebogen inhaltlich 1:1 wiedergegeben.

### Intro

Geben Sie bitte eine Bezeichnung für die PV-Anlage ein. Wir schlagen als Bezeichnung "Leistung Adresse Ort" vor, z. B. "10 kWp Jlcoweg 1 Burgdorf". Die Bezeichnung hilft uns in zweierlei Hinsichten:

- Wir können bei Unklarheiten nachfragen.
- Wir können doppelte Erfassungen erkennen.

Wenn Sie die Umfrage vollständig anonym erfassen möchten, dürfen Sie auch einen Fantasienamen verwenden.

### Kenndaten

#### Frage 1

\*

Geben Sie bitte eine Bezeichnung für die PV-Anlage ein. Wir schlagen als Bezeichnung "Leistung Adresse Ort" vor, z. B. "10 kWp Jlcoweg 1 Burgdorf". Die Bezeichnung hilft uns in zweierlei Hinsichten:

1. Wir können bei Unklarheiten nachfragen.
2. Wir können doppelte Erfassungen erkennen.

Wenn Sie die Umfrage vollständig anonym erfassen möchten, dürfen Sie auch einen Fantasienamen verwenden.

*Textfeld für die Antwort*

Hinweis: Fragen mit Stern \* müssen beantwortet werden.

#### Fragen 2

Geben Sie uns einige Details zur PV-Anlage bekannt. Falls Sie die Antworten nicht kennen, dürfen Sie die Felder leer lassen.

Jahr der Inbetriebnahme der Anlage

*Textfeld für die Antwort*

DC-Leistung in kWp (Summe der Leistung aller PV-Module)

*Textfeld für die Antwort*

AC-Leistung in kW (Summe der Wechselrichterleistung)

*Textfeld für die Antwort*

### Wechselrichter

Es werden zunächst ein paar kurze Fragen zu dem Wechselrichter Ihrer PV-Anlage gestellt. Sie haben später die Möglichkeit, weitere Details anzugeben.

#### Frage 3

\*

Welche Art von Wechselrichter hat die PV-Anlage?

Hinweis: Wenn die PV-Anlage mehreren der untenstehenden Kategorien angehört, bitten wir Sie, den ganzen Fragebogen für jede Kategorie einzeln auszufüllen.

- *Zentralwechselrichter (Wechselrichter steht am Boden, >100 kg)*
- *Strang- oder Multistrangwechselrichter (Wechselrichter ist an der Wand o. ä. installiert)*
- *Modulwechselrichter*
- *Wechselrichter mit Leistungsoptimierer für alle PV-Module*

- *Wechselrichter mit Leistungsoptimierer für einen Teil der PV-Module (restliche Module ohne Leistungsoptimierer)*
- *Ich weiss es nicht*
- *Sonstiges (bitte beschreiben)*

#### Frage 4

Wie viele Wechselrichter hat die PV-Anlage?

Bitte geben Sie die Anzahl an Wechselrichtern an (ohne allfällige Leistungsoptimierer).

*Dropdown-Liste: [1, 2, 3, 4, 5, 6, mehr als 6]*

#### Frage 5

\*

Wo sind die Wechselrichter installiert? Der Installationsort allfälliger Leistungsoptimierer spielt bei dieser Frage keine Rolle.

- *Innen, beheizter Raum, keine Überhitzung (Estrich oder Keller, Garage, Innenraum, Wohnraum)*
- *Innen, beheizter Raum, Überhitzung möglich (Estrich oder Keller, Garage, Innenraum, Wohnraum)*
- *Innen, unbeheizter Raum, keine Überhitzung (Keller, Garage)*
- *Innen, unbeheizter Raum, Überhitzung möglich (Estrich, kleiner Innenraum)*
- *Aussen, hinter den Modulen (Modulwechselrichter)*
- *Aussen, vor Witterung geschützt (Unterstand, Aussenwand mit Vordach, eingehaust)*
- *Aussen, ungeschützt (keine Überdachung oder Einhausung)*
- *Ich weiss es nicht*
- *Sonstiges:*

## **Störungen**

Auf dieser Seite möchten wir wenige einfache Antworten zu möglichen Störungen der Wechselrichter erhalten. Falls Sie weitere Details dazu kennen und preisgeben möchten, werden wir später spezifisch dazu nachfragen.

#### Frage 6

\*

Hatte einer der Wechselrichter oder Leistungsoptimierer jemals eine Störung, die nur durch eine Fachperson behoben werden konnte?

Dies ist beispielsweise der Fall, wenn das Aus- und Wiedereinschalten des Wechselrichters alleine die Störung nicht behoben hat.

- *Ja, war aber nicht unmittelbar für die Stromproduktion relevant (z. B. ein Problem mit der Datenübertragung oder mit dem Internetportal)*
- *Ja, war relevant für die Stromproduktion (z. B. "Störung", Reparatur / Austausch nötig, Ertragsverlust)*
- *Nein*
- *Weiss nicht*

#### Frage 7

Erlauben Sie uns nachzuhaken: War mindestens ein Wechselrichter oder Leistungsoptimierer bei der Inbetriebnahme defekt und musste vom Installateur ausgetauscht werden, noch bevor die Anlage richtig in Betrieb war?

- *Ja, war aber nicht unmittelbar für die Stromproduktion relevant (z. B. ein Problem mit der Datenübertragung oder mit dem Internetportal)*
- *Ja, war relevant für die Stromproduktion (z. B. "Störung", Reparatur / Austausch nötig)*
- *Nein*
- *Weiss nicht*

## Frage 8

Später können Sie mehr Details zu den Störungen angeben. Wenn Sie hier schon etwas dazu schreiben möchten, dürfen Sie dies gerne im nachfolgenden Feld tun. Wir werden diese Angaben manuell bearbeiten.

## Weitere Details

### Frage 9

Damit das PV-Labor noch bessere Aussagen zu der Lebensdauer von PV-Wechselrichtern machen kann, würden wir gerne zusätzliche Details zu Ihrer Anlage und allfälligen Störungen abfragen. Sind Sie bereit, noch einige Detailfragen zu beantworten? Insbesondere wenn die PV-Anlage mehrere Wechselrichter hat, sind Ihre zusätzlichen Angaben sehr wertvoll.

- *Ja, ich kann weitere Informationen zur PV-Anlage geben*
- *Nein, Umfrage abschliessen*

## Details 1 zur PV-Anlage

### Frage 10

Bitte füllen Sie die nachfolgende Tabelle aus, soweit sie für die PV-Anlage zutrifft. Beispiel: Wenn die PV-Anlage 2 Wechselrichter hat, müssen Sie nur die ersten beiden Spalten ausfüllen.

Hinweise zum Ausfüllen:

- Wenn die PV-Anlage mehr als 6 Wechselrichter hat, können Sie die Details hier nicht erfassen. Sie haben zwei Möglichkeiten:
  1. Sie füllen den kompletten Fragebogen mehrfach aus, jeweils für einen Teil der PV-Anlage.
  2. Sie senden Ihre Angaben per E-Mail an david.joss@bfh.ch. Wir füllen die Angaben für grosse PV-Anlagen manuell in die Resultate der Umfrage ein.
- Wenn die PV-Anlage Modulwechselrichter hat, können Sie in der Tabelle angeben, wie viele Modulwechselrichter die Anlage hat. Details zu den Störungen, falls zutreffend, können Sie im untenstehenden Kommentarfeld verfassen.
- Wenn ein Wechselrichter ausgetauscht wurde, füllen Sie für den neuen Wechselrichter eine neue Spalte aus.

Beispiel zum Ausfüllen der Tabelle für einen Wechselrichter:

- Herstellerfirma: Fronius
- Wechselrichtertyp: Symo Hybrid 10.0-3-m
- Inbetriebnahmejahr: 2019
- Angeschlossene Modulleistung: 14.3
- Nennleistung Wechselrichter: 10
- Ausrichtung der Module: Südost
- Neigung der Module: 10

	Wechselrichter 1	Wechselrichter 2	Wechselrichter 3	Wechselrichter 4	Wechselrichter 5	Wechselrichter 6
Herstellerfirma (z. B. "Fronius" oder "SMA" oder "Huawei")						
Wechselrichtertyp (z. B. "Symo" oder "SunnyBoy")						
Inbetriebnahmejahr						

Angeschlossene Modulleistung (DC-Leistung, kWp)						
Nennleistung Wechselrichter (AC-Leistung, kW)						
Ausrichtung der Module (z. B. Südost od. Ost-West)						
Neigung der Module (0° = Horizontal, 90° = Fassade)						

### Frage 11

In dieser Tabelle möchten wir mehr über allfällige Störungen erfahren. Falls die Wechselrichter nie Störungen hatten, können Sie diese Tabelle leer lassen. Falls Störungen aufgetreten sind, bitten wir Sie diese soweit bekannt zu beschreiben. Falls mehr als 3 Störungen je Wechselrichter aufgetreten sind, bitten wir Sie, die Details dazu im Kommentarfeld zu erfassen. Wir werden diese manuell bearbeiten.

**WICHTIG:** Störungen, die nicht ertragsrelevant sind, bitte entsprechend kennzeichnen (siehe erstes Beispiel).

Beispiele von Störungsbeschreibungen:

- Nicht ertragsrelevant: Datenübertragung ausgefallen.
- Unbekannte Störung im WR, wurde ausgetauscht.
- WR war defekt, wurde repariert.
- Drei Leistungsoptimierer defekt, ausgetauscht.
- Brand im WR, wurde ausgetauscht.
- Endstufe im WR defekt, ausgetauscht.

	Wechselrichter 1	Wechselrichter 2	Wechselrichter 3	Wechselrichter 4	Wechselrichter 5	Wechselrichter 6
Störung 0 (direkt bei Inbetriebnahme): Art der Störung						
Störung 1: Jahr des Auftretens						
Störung 1: Art der Störung						
Störung 2: Jahr des Auftretens						
Störung 2: Art der Störung						
Störung 3: Jahr des Auftretens						
Störung 3: Art der Störung						

### Frage 12

\*

War die Anlage je einmal in einen Brandfall verwickelt?

- *Ja, die PV-Anlage war die Brandursache*
- *Ja, aber die PV-Anlage war nicht die Brandursache*
- *Nein*
- *Ich weiss es nicht*

### Frage 13

Gibt es sonst noch etwas, was Sie uns zur PV-Anlage sagen möchten, das für die Auswertung relevant sein könnte? Beispiele für Informationen, die relevant sind:

- Der Wechselrichter 1 musste direkt nach der Installation mehrfach ausgetauscht werden, bis er störungsfrei funktionierte.
- Der Wechselrichter 1 macht immer wieder Probleme und wurde schon mindestens 4x ersetzt / repariert.
- Wechselrichter 1 wurde 2019 ohne Defekte mit einem neuen Wechselrichter ersetzt, der einen höheren Wirkungsgrad hat.
- Bei der Anlage wurde im Jahr 2018 ein Erdschluss repariert.
- Im Jahr 2020 hat sich ein Kabelbrand ereignet.
- Bei den PV-Modulen ist ein Hot-Spot aufgetreten.

## **Details 2 zur PV-Anlage**

### Frage 14

\*

Welcher Kategorie ist die PV-Anlage zuzuordnen?

- *Schrägdach: Indachanlage*
- *Schrägdach: Aufdachanlage*
- *Flachdach: Keine Begrünung*
- *Flachdach: Gründachanlage*
- *Fassadenanlage*
- *Ich weiss es nicht*
- *Sonstiges:*

### Frage 15

\*

Wie beurteilen Sie die Belüftungssituation der Wechselrichter?

- *Gut belüftet*
- *Wärmestau möglich (z. B. in der Fassade oder in einem geschlossenen Kasten/Schrank)*
- *Ich weiss es nicht*
- *Sonstiges:*

### Frage 16

Weitere Bemerkungen zu obigen Fragen:

## **Informationen & Kontakt**

### Frage 17

Falls Sie mögen, dürfen Sie uns gerne die Adresse der PV-Anlage bekannt geben. Das hilft uns in zweierlei Hinsichten:

1. Die Untersuchung mit Umwelteinflüssen zu korrelieren (z. B. sonnige / heisse Region, alpine Region, etc.).
2. Doppelerfassungen von PV-Anlagen zu erkennen.

- *Adresse (z. B. Jlcoweg 1)*
- *Postleitzahl (z. B. 3400)*
- *Ort (z. B. Burgdorf)*
- *Land (z. B. Schweiz)*

### Frage 18

Wenn Sie eine der folgenden Checkboxen ankreuzen, hinterlassen Sie uns bitte eine Emailadresse unter welcher wir Sie erreichen können.

- *Ich bin interessiert an den Ergebnissen dieser Umfrage.*
- *Sie dürfen mich bei Unklarheiten oder für Folgefragen kontaktieren.*
- *Sie dürfen mich in einigen Jahren nochmals kontaktieren, falls die Umfrage aktualisiert wird.*
- *Ich möchte an der Verlosung eines Fachbuchs «Photovoltaikanlagen» teilnehmen\**

### Frage 19

Ihre Meinung ist uns wichtig. Bitte lassen Sie uns Ihren Kommentar da, wenn Sie wollen.