
LICHTBÖGEN IN PV- UND SPEICHERSYSTEMEN

Ergebnisse im Rahmen des Projekts SPEISI



Felix Eger

Fraunhofer-Institut für Solare
Energiesysteme ISE

Workshop Speichersicherheit und
Brandschutz

Köln, 31.01.2017

www.ise.fraunhofer.de

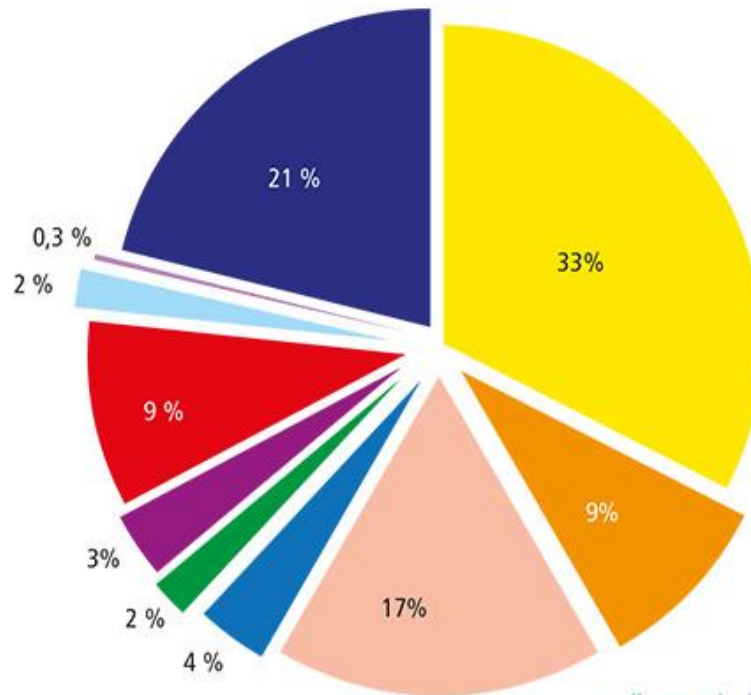
AGENDA

- Einleitung
- Lichtbogendetektion in PV-Anlagen
- Fehlerszenarien in PV-Batteriesystemen
- Ergebnisse

Einleitung

Brandgefahr durch Elektrizität

IFS-Brandursachenstatistik 2002 - 2015



Quelle: IFS-Schadendatenbank



- Statistik des Instituts für Schadenverhütung und Schadenforschung der öffentlichen Versicherer, ca. 1400 aufgenommene Schäden in 2015
- Elektrizität mit Abstand häufigste Brandursache
- Voraussichtlich erhöhte Kontaktwiderstände oder Lichtbögen

Einleitung

Brandgefahr in PV-Systemen

- Lichtbögen in DC-Systemen kritisch, da sie dauerhaft stabil brennen können
- Beispiel PV: Zahlreiche Löt-, Schraub-, Steck- und Klemmverbindungen sind potentielle Fehlerstellen
- Umfassende Untersuchung in BMWi-gefördertem Projekt von 2011 – 2014
www.pv-brandsicherheit.de
 - PV als Brandverursacher in ca. 200 Fällen bei 1.3 Millionen installierter Anlagen
→ Handlungsbedarf aber geringe Wahrscheinlichkeit
- 2015: Jede 2. neue PV-Anlage mit Batteriespeicher
- Aktuell etwa 50.000 installierte Speichersysteme [1]
- Gefahr durch Lichtbögen???

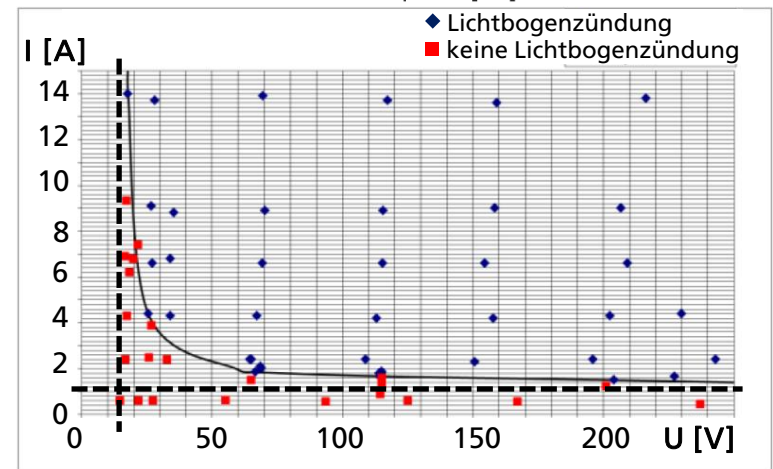
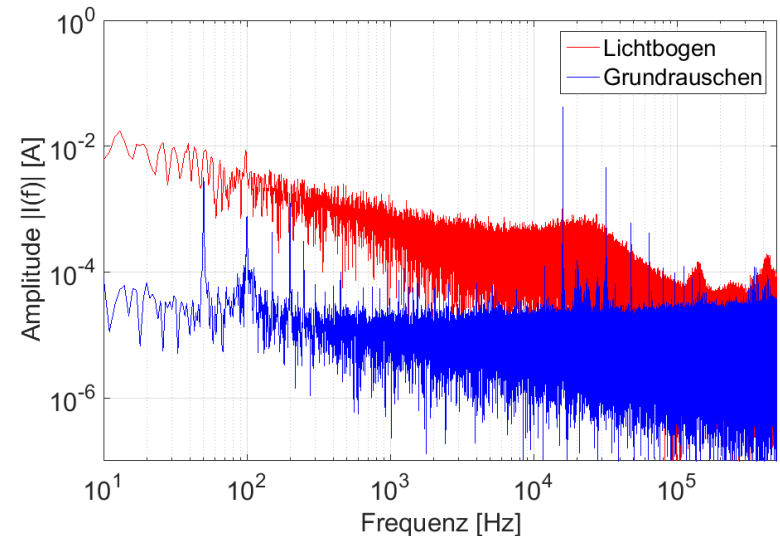


Quelle oben: TÜV Rheinland
Mitte/unten: Sachverständigen-
büro Kuchlmayr, München

Lichtbogendetektion in PV-Anlagen

Eigenschaften von Lichtbögen

- Gasentladung zwischen zwei elektrischen Kontakten
- Temperaturen bis zu 10.000 K, Brandgefahr
- Hochfrequente Spannungsänderung erzeugt 1/f-Rauschen (pink noise)
 - Messbar als impedanzabhängiges Stromrauschen
 - $I_{LB}(f) = \underline{U}_{LB}(f) / \underline{Z}(f)$
- Brennbedingungen für einen stabilen PV-Lichtbogen:
 - Mindestspannungabfall ca. 15 V
 - Mindeststrom ca. 1 A



Quelle unten: J. Zornikau, TÜV Rheinland [2]

Lichtbogendetektion in PV-Anlagen

Herausforderung

- Erkennung von Rauschsignalen in mA-Bereich auf hohen DC-Strömen bis 20 A
- Unterscheidung von externen Störern und Lichtbögen



Marktlage

- Detektoren seit 2011 in den USA per Norm gefordert
- Wechselrichter-integrierte oder Standalone-Lösungen auf dem Markt



Felderfahrung

- Probleme mit Fehlauslösungen und nicht erkannten Fehlern bei einigen Herstellern

Quellen: SMA, E-T-A, Santon

Fehlerszenarien in PV-Batteriesystemen

PV-Anlage versus Batteriesystem



Quelle: Fronius

DC-Größen

- Spannungen bis 1500 V, Stringströme bis 20 A
- Niedervolt-Systeme bis 60 V: Ströme > 100 A möglich, Risiko bei hohem Kontaktwiderstand
- Hochvoltsysteme > 60 bis aktuell 400 V: Ströme bis etwa 20 A

Potentielle Fehlerquellen

- Modul-Steckverbinder, modulinterne Lötverbindungen, Schraub- und Steckverbinder, meist exponiert
- Batterieinterne Lötverbindungen, Schraub- und Steckverbinder zwischen Systemkomponenten, meist indoor

Fehlerszenarien in PV-Batteriesystemen

AC-Kopplung

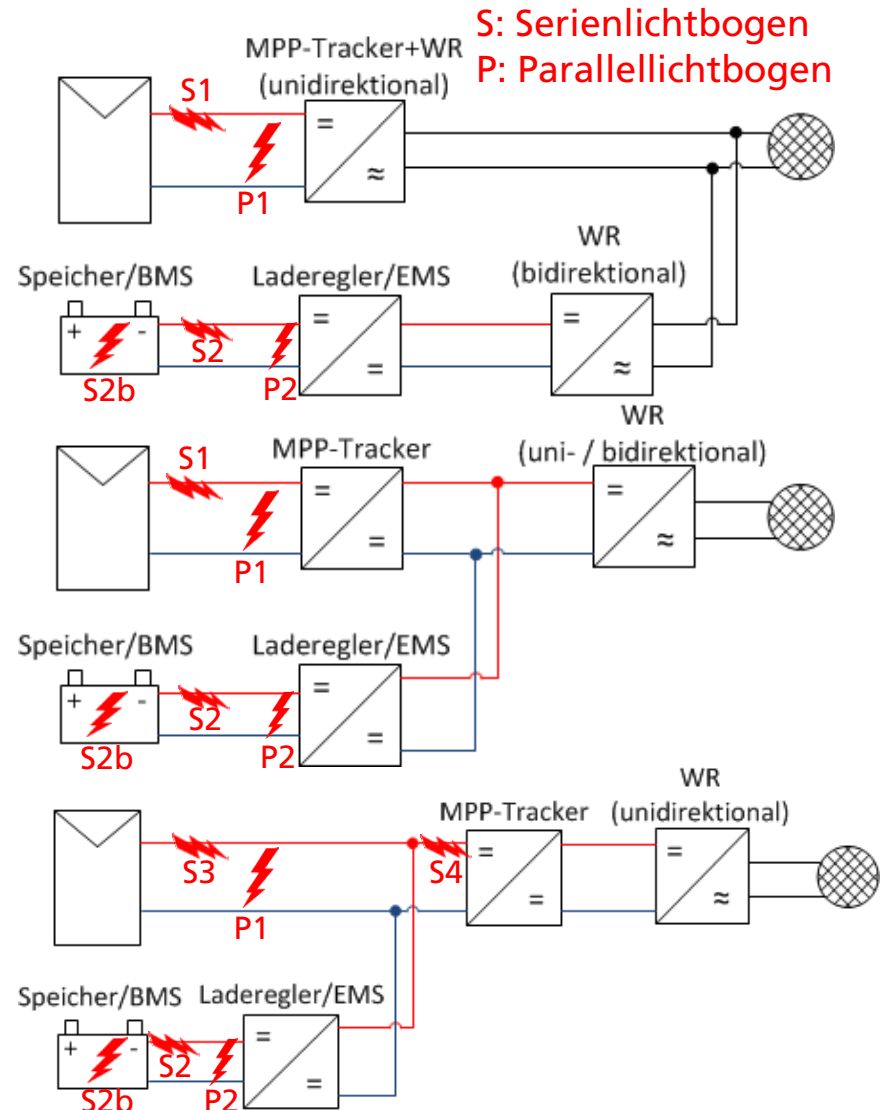
- Sonnenbatterie, SMA Sunny Boy Storage, Varta home, Kaco blueplanet gridsave

DC-Kopplung

- Fronius Symo Hybrid, ABB React, Kostal Piko, nedap PowerRouter

Generatorkopplung

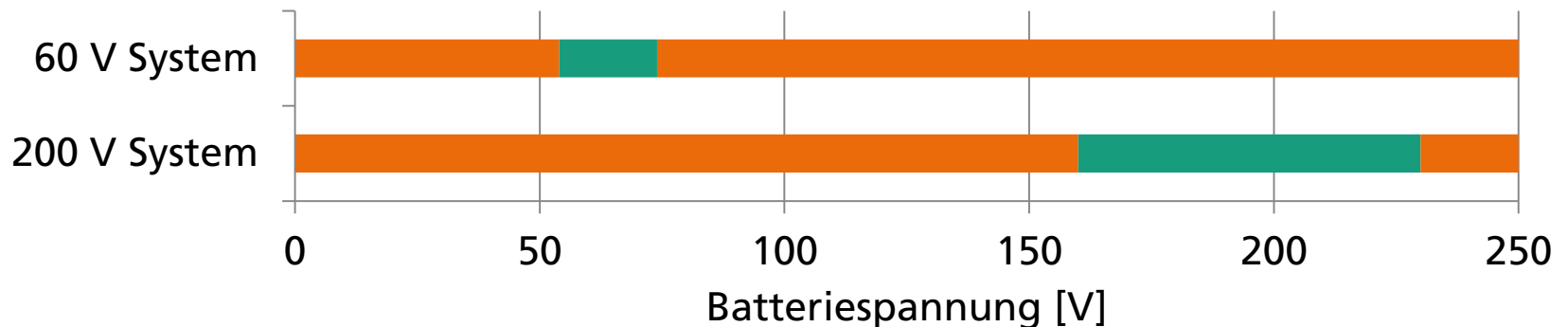
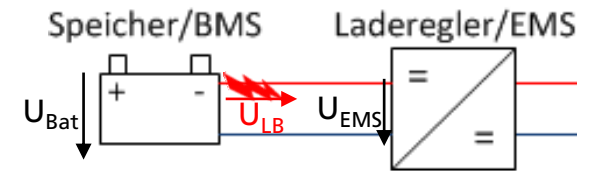
- Solarwatt MyReserve, sia energy Pro



Ergebnisse

S2 auf Batterieseite

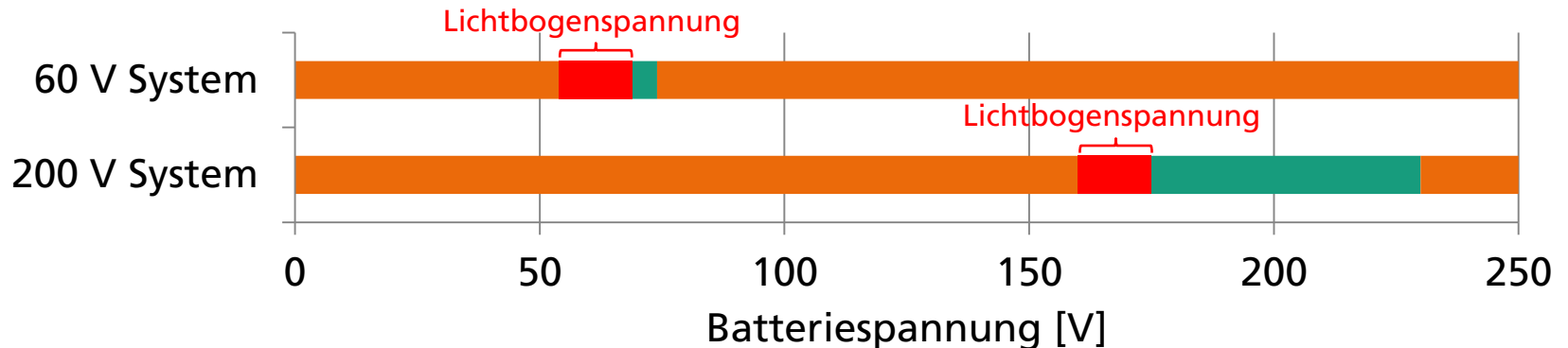
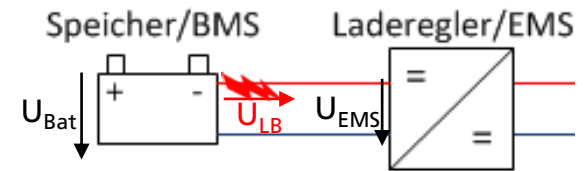
- Brennbedingungen für stabilen Lichtbogen:
 $U_{LB,min} \approx 15 \text{ V}$, $I_{Min} \approx 1 \text{ A}$
- Bedingung nicht erfüllt für Batteriesysteme $\leq 60 \text{ V}$
 - Arbeitsbereich der Batteriespannung oder resultierende Ströme zu klein
 - Hohe Maximalströme $> 100 \text{ A}$ möglich, daher Risiko bei erhöhten Kontaktwiderständen



Ergebnisse

S2 auf Batterieseite

- Brennbedingungen für stabilen Lichtbogen:
 $U_{LB,min} \approx 15 \text{ V}$, $I_{Min} \approx 1 \text{ A}$
- Bedingung nicht erfüllt für Batteriesysteme $\leq 60 \text{ V}$
 - Arbeitsbereich der Batteriespannung oder resultierende Ströme zu klein
 - Hohe Maximalströme $> 100 \text{ A}$ möglich, daher Risiko bei erhöhten Kontaktwiderständen

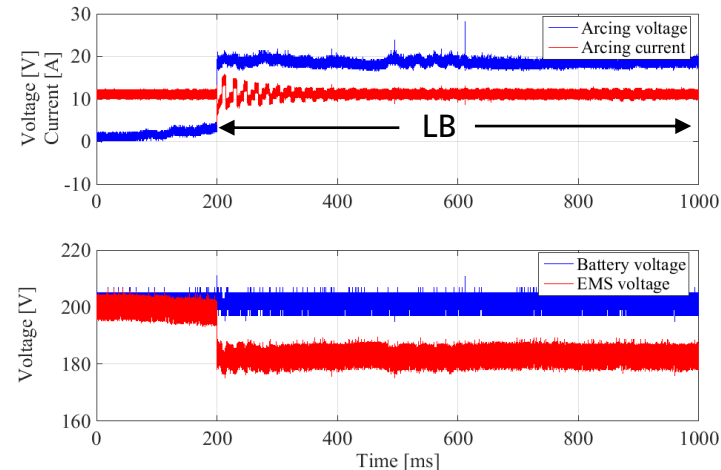
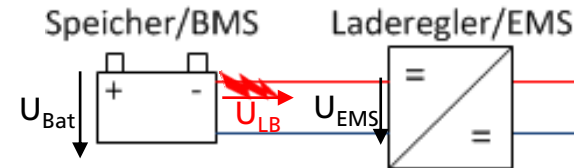
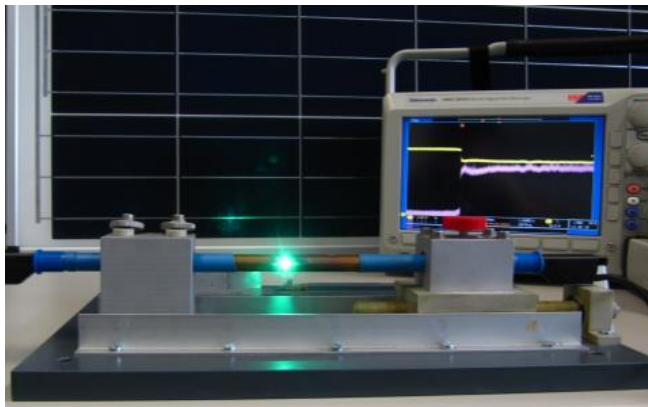


- Serienlichtbögen auf Batterieseite stellen erst bei Batteriesystemen $> 60 \text{ V}$ eine Brandgefahr dar!

Ergebnisse

S2 auf Batterieseite

- Lichtbogen im 200 V Batteriesystem, Entladen
 - Keine Spannungsgrenze am EMS gerissen
 - Konstanter Strom, stabiler Lichtbogen



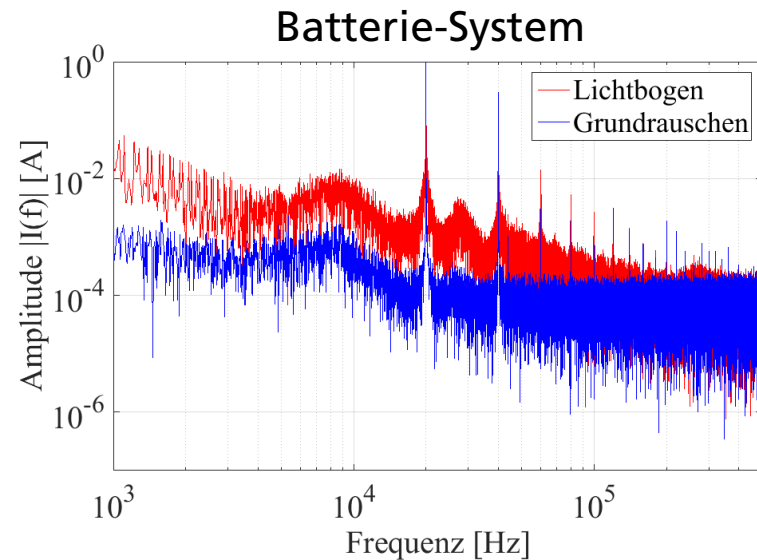
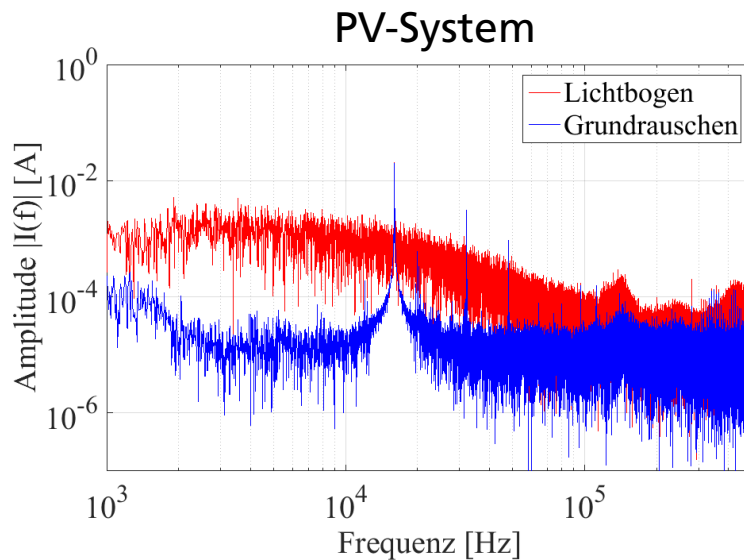
$U_{\text{Bat}} \neq U_{\text{EMS}}!$

- $U_{\text{Bat}} \neq U_{\text{EMS}}$ kann als einfach umzusetzendes Detektionsmerkmal für Lichtbögen S2 in Batteriesystemen verwendet werden!

Ergebnisse

Lichtbogendetektion in Batteriesystemen

- Detektion auch aus Stromspektrum möglich, ABER:
 - Niedrigere Systemimpedanzen
 - Höheres Grund- und LB-Rauschen
 - Sättigung / Clipping von PV LB-Detektoren möglich



- Detektion aus Spannungsmessung einfacher realisierbar als aus Stromspektrum!

Ergebnisse

Zusammenfassung

Lichtbögen in PV

- Detektionsmöglichkeiten vorhanden
- Brandlöschung bei Einhaltung der Sicherheitsabstände möglich

Lichtbögen in Batteriesystemen

- Einfache Detektion möglich, aber noch nicht in Anwendung
- Brandauslöser
 - Kontaktfehler bei Systemen $\leq 60\text{ V}$
 - Lichtbögen bei Systemen $> 60\text{ V}$
- Kurzschluss im System
 - Abschaltung durch Sicherung oder Lasttrennschalter
- Kurzschluss innerhalb des Batteriepacks
 - Keine Abschaltung möglich! Löschversuch unternehmen!

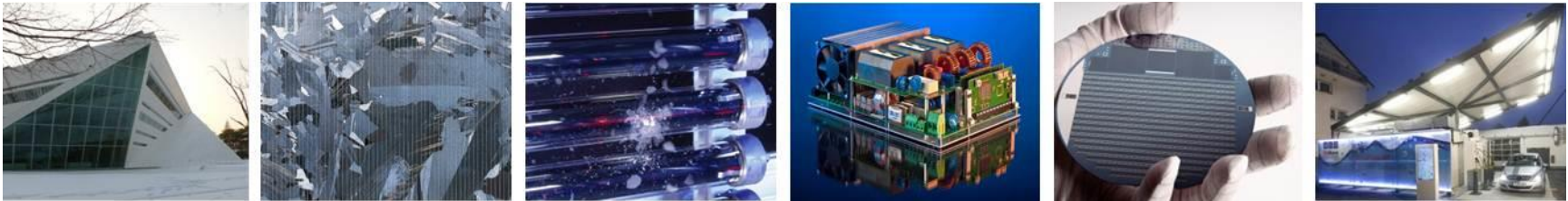
Vielen Dank!

- Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit
- dem BMWi für die Projektförderung

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Felix Eger

www.ise.fraunhofer.de

felix.eger@ise.fraunhofer.de

Quellen

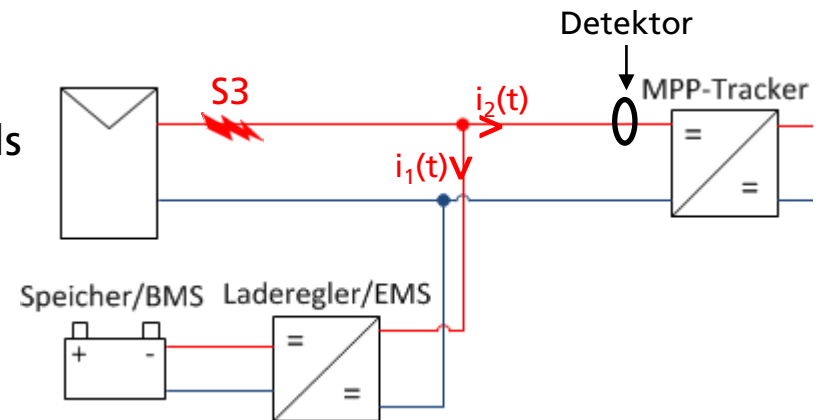
- [1] K.-P. Kairies et al., „Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher – Jahresbericht 2016“, RWTH Aachen, 2016
Informationen unter <http://www.speichermonitoring.de>

- [2] J. Zornikau, „Untersuchung der Entstehung von Lichtbögen in Photovoltaik- Modulen und Bewertung der Risiken“, Diplomarbeit, TÜV Rheinland, Köln, 2007

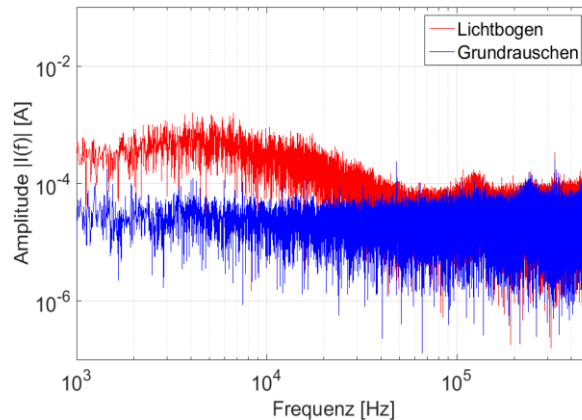
Backup

S3 im generatorgekoppelten System

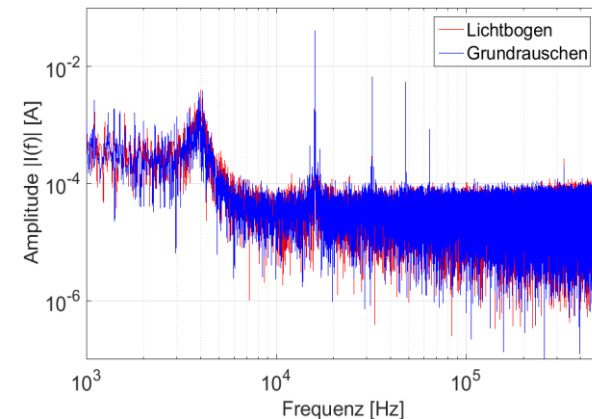
- Aufteilung des detektierbaren Rauschsignals auf Laderegler- und Wechselrichtereingang
- Bei ungünstiger Systemkonstellation kann Detektor keinen Fehler mehr erkennen
- Abhilfe: HF-Sperre an Laderegler-Eingang



Laderegler-Eingang



WR-Eingang



- Funktionalität eines konventionellen Lichtbogendetektors kann durch generatorgekoppeltes Speichersystem beeinträchtigt werden!