
LICHTBÖGEN UND ELEKTRISCHE SICHERHEIT IN PV-SPEICHERSYSTEMEN

Ergebnisse im Rahmen des Projekts SPEISI



Felix Eger, Hermann Laukamp,
Jérôme Tschupp

Fraunhofer-Institut für Solare
Energiesysteme ISE

4. Deutsche Photovoltaikbetriebs-
und Sicherheitstagung

Berlin, 20.10.2017

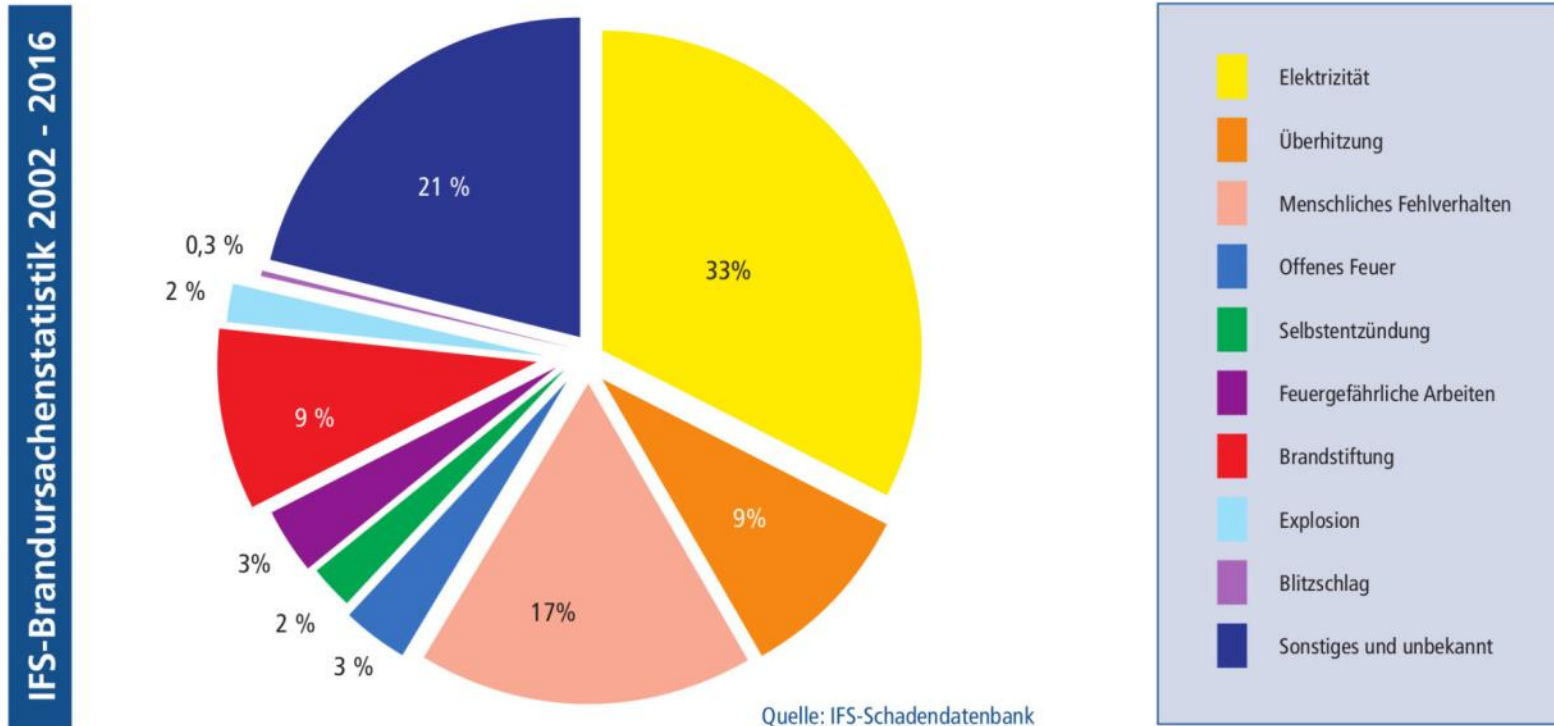
www.ise.fraunhofer.de

AGENDA

- Einleitung
- Schutzkonzepte in PV-Batteriesystemen
- Lichtbogenszenarien in PV-Batteriesystemen
- Fazit

Einleitung

Brandrisiko durch Elektrizität



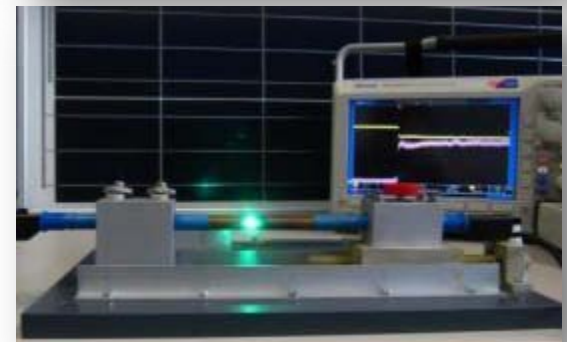
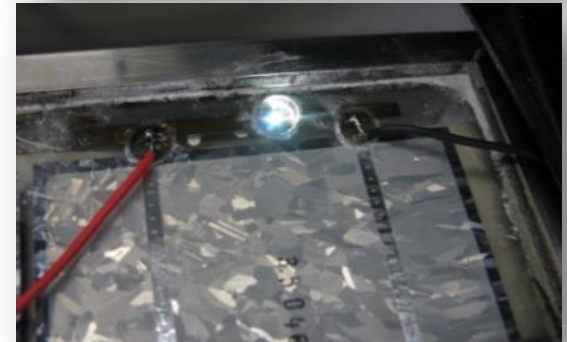
- Statistik des Instituts für Schadenverhütung und Schadenforschung der öffentlichen Versicherer, ca. 1500 aufgenommene Schäden in 2016
- Elektrizität mit Abstand häufigste Brandursache
- Brandauslösung meist durch erhöhte Kontaktwiderstände oder Lichtbögen

Einleitung

Brandrisiko im Fokus der Forschung

- 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 BMUB-gefördertem Projekt von 2011 – 2014
www.pv-brandsicherheit.de
- Beispiel Batteriespeicher: Stark steigende Nachfrage an Li-Ionen Systemen, hohe Energiedichte
 - Umfassende Untersuchung in BMWi-gefördertem Projekt SPEISI seit 2015
www.speichersicherheit.de

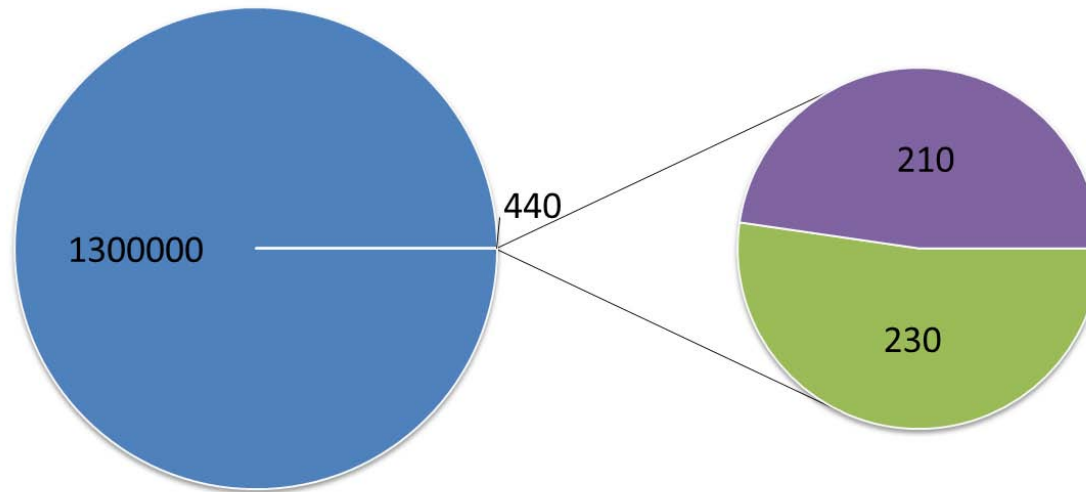
Projektpartner:



Fotos: © Fraunhofer ISE

Einleitung

Brandfälle PV-Systeme

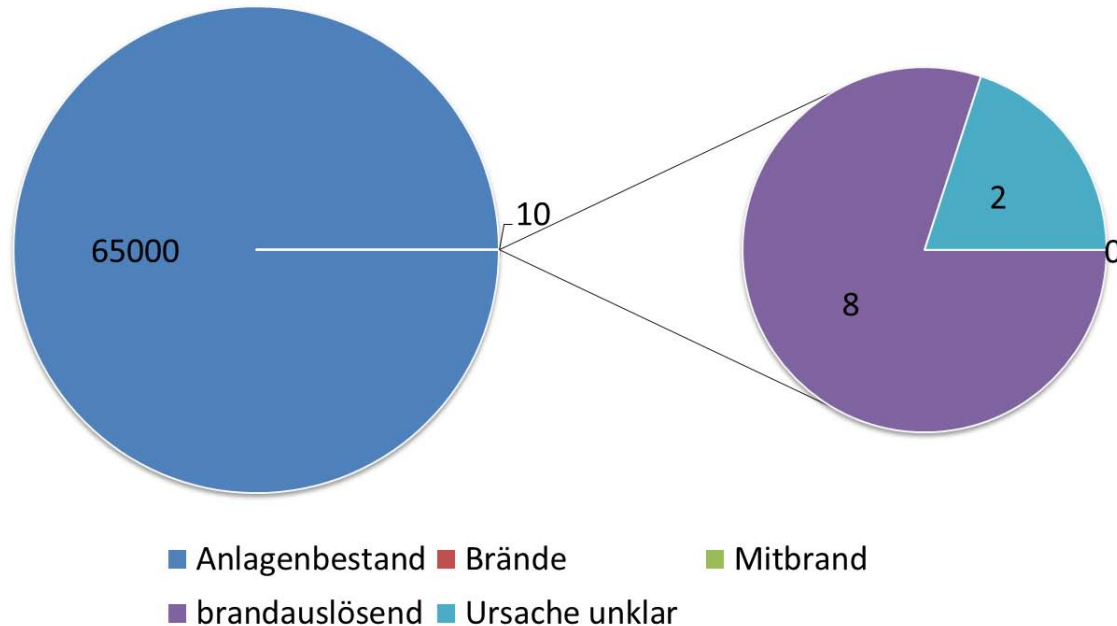


■ Anlagenbestand ■ Brände ■ Mitbrand ■ brandauslösend

- Datenbasis: Internetbasierte Umfrage, Medienrecherche, Info von Brandgutachtern, Feuerwehren und Versicherungen
- Anlagenbestand (D): 1.3 Mio oder 36 GWp (Stand: 2013)
 - Brandrisiko einer PV-Anlage: 0.016%

Einleitung

Brandfälle Batteriesysteme*



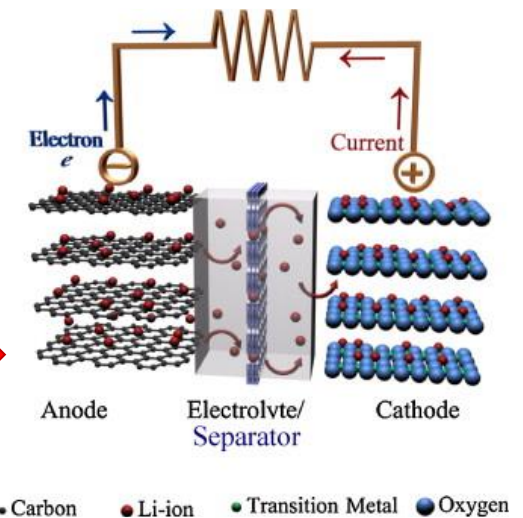
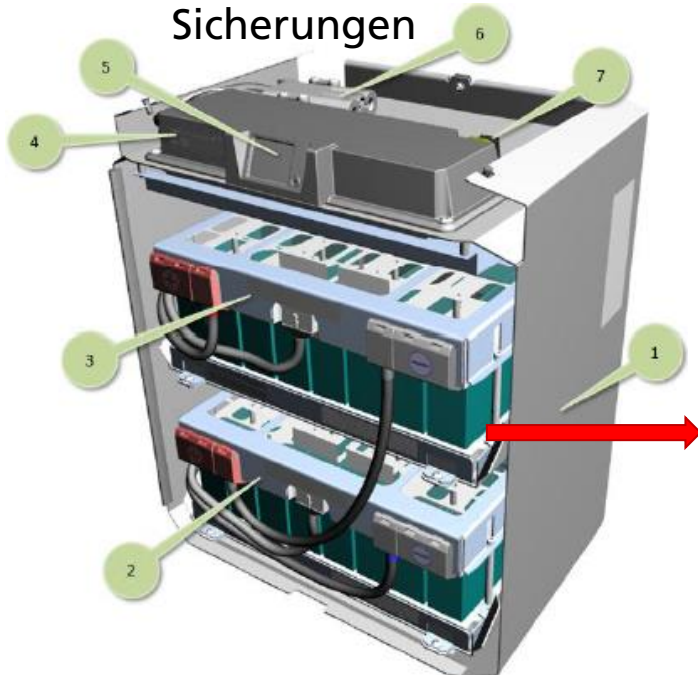
- Datenbasis: Medienrecherche, Berichte von Polizei und Feuerwehren, Info von Versicherungen
- Anlagenbestand (D): ca. 65.000 oder 160 MWh (Stand: 07 / 2017)
 - Brandrisiko eines Batteriesystems: 0.012%

* Berücksichtigt werden nur Brandfälle, die an Batteriespeichern im Verbund mit einer PV-Anlage auftraten

Schutzkonzepte in PV-Batteriesystemen

Überblick

- Ein Heimspeichersystem (1) enthält:
 - Mindestens ein Batteriemodul (2,3)
 - Ein Batteriemanagementsystem (BMS, 5)
 - DC-Trenneinrichtungen (Schalter, Sicherungen)
- Hauptfunktionen des BMS
 - Monitoring der Zellspannungen
 - Monitoring der Zelltemperaturen
 - Notabschaltung
 - Balancing



Schutzkonzepte in PV-Batteriesystemen

Komponententests

Halten Schutz- und Verbindungskomponenten den zyklischen Belastungen eines Batteriesystems stand?



- ISE testet ca. 90 verschiedene Komponenten über mindestens ein Jahr



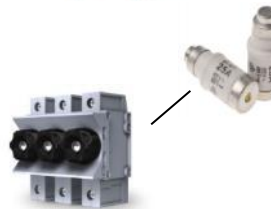
DC Hauptschalter



Leitungsschutzschalter



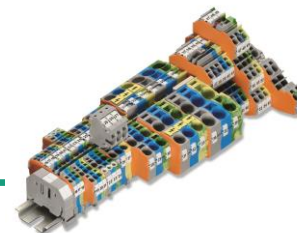
PV Sicherungen



Neozed Sicherungen



Diazed Sicherungen



Klemmen

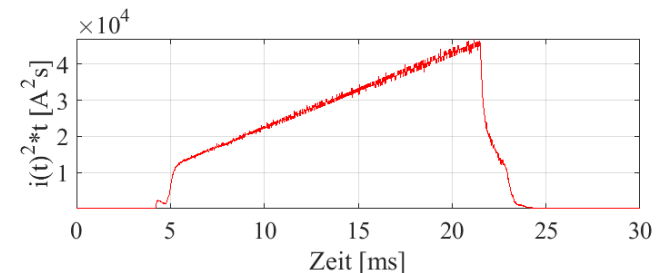
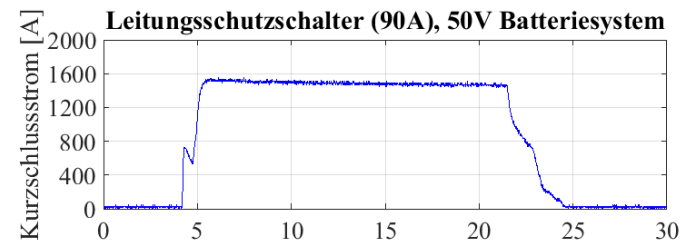
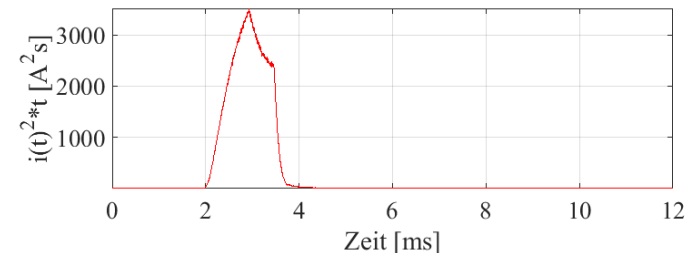
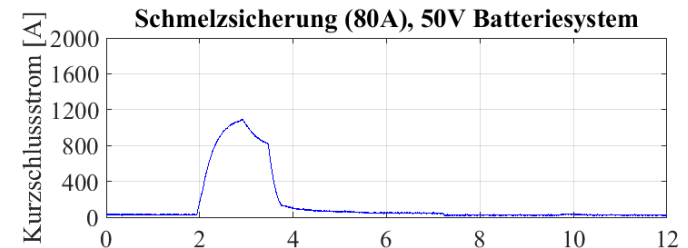
Schutzkonzepte in PV-Batteriesystemen

Kurzschluss tests

Halten Schutzkomponenten hohen Batterie-Kurzschlussströmen stand?



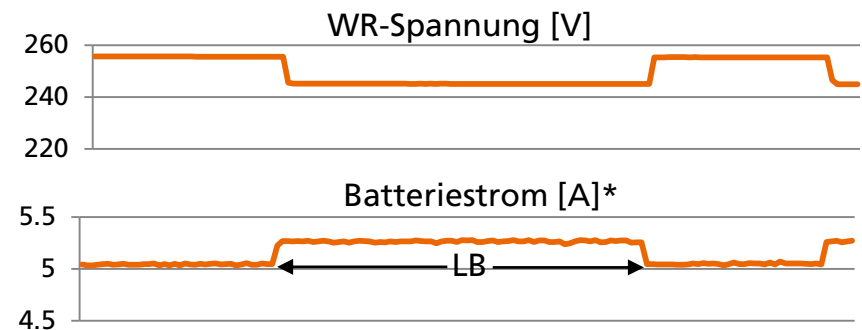
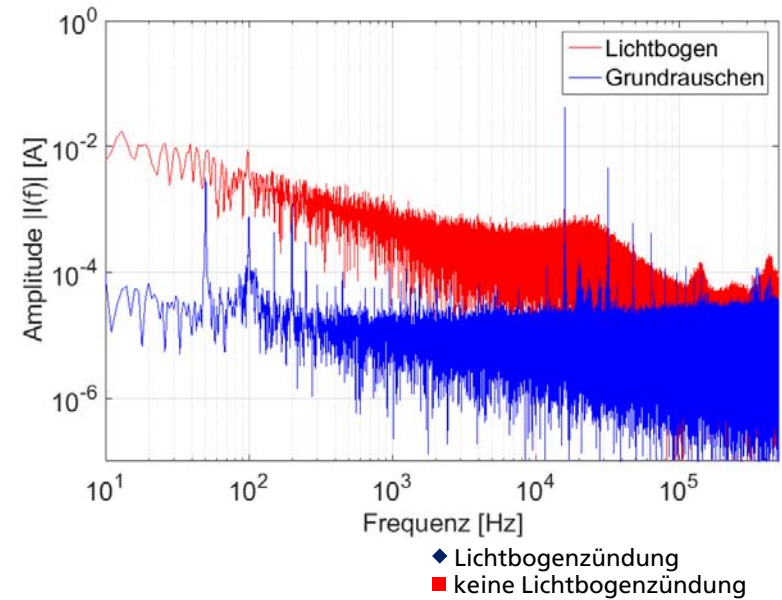
- Alle untersuchten Komponenten (n = 4) trennen in spezifizierter Zeit
- Durchlassenergien ($i^2 \cdot t$) nicht für alle Komponenten spezifiziert
- Kurzschlusszuschaltvermögen häufig kleiner als –abschaltvermögen



Lichtbogenszenarien in PV-Batteriesystemen

Grundlagen

- Gasentladung zwischen zwei elektrischen Kontakten
- Temperaturen bis zu 10.000 K, Brandgefahr
- Hochfrequente Spannungsänderung erzeugt 1/f-Rauschen (pink noise)
 - Messbar als impedanzabhängiges Stromrauschen
 - $I_{LB}(f) = \underline{U}_{LB}(f) / \underline{Z}(f)$
- Spannungsabfall über Lichtbogen erzeugt Arbeitspunktänderung im System*

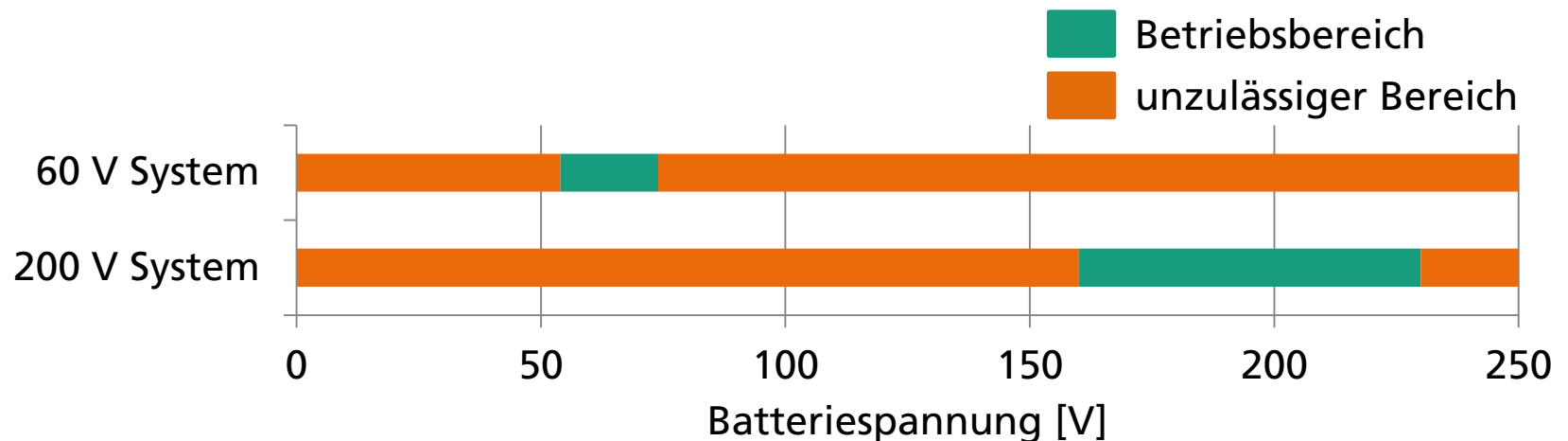
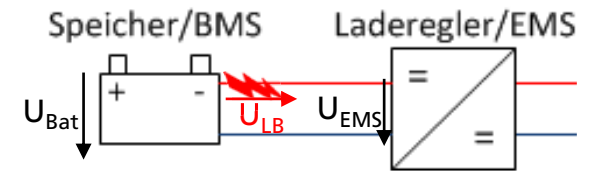


* abhängig von Wechselrichter-Regelung

Lichtbogenszenarien in PV-Batteriesystemen

Serielle Lichtbögen

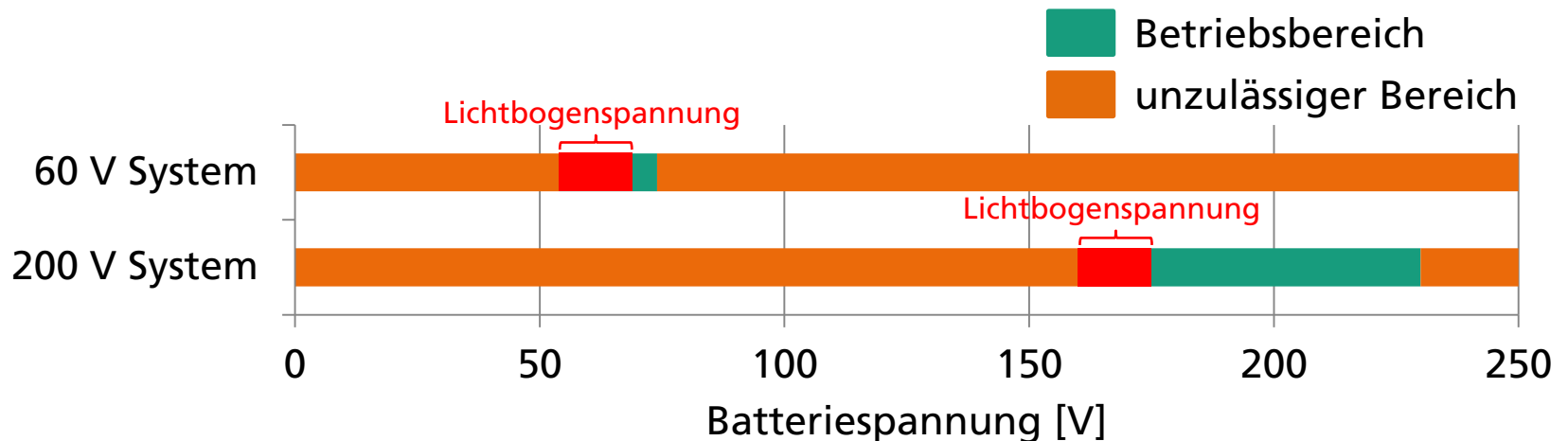
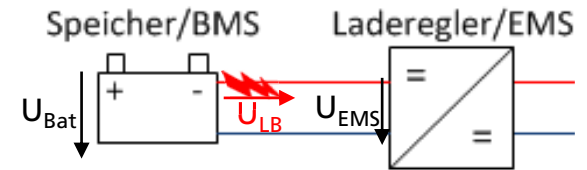
- Brennbedingungen für stabilen Lichtbogen:
 $U_{LB,min} \approx 15 \text{ V}$, $I_{Min} \approx 1 \text{ A}$
- Bedingung nicht erfüllt für Batteriesysteme $\leq 60 \text{ V}$
 - Arbeitsbereich der Batteriespannung zu klein
 - Außerhalb des Betriebsbereichs wird Strom durch EMS aktiv heruntergeregelt



Lichtbogenszenarien in PV-Batteriesystemen

Serielle Lichtbögen

- 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 zu klein
 - Außerhalb des Betriebsbereichs wird Strom durch EMS aktiv heruntergeregelt

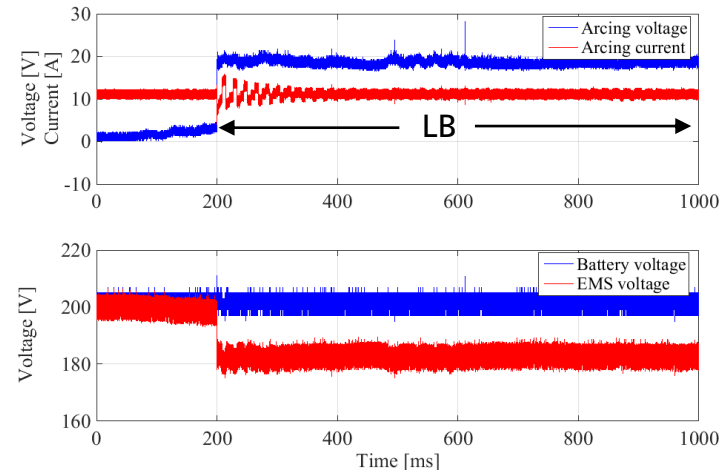
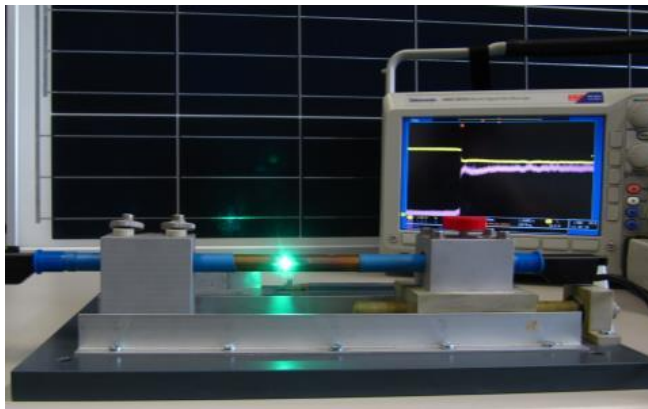
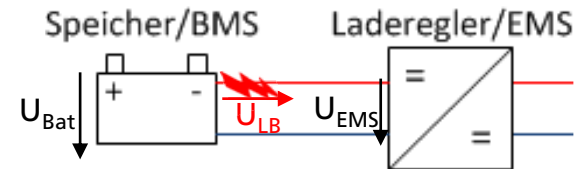


- Serienlichtbögen auf Batterieseite können bei Systemen $\leq 60 \text{ V}$ durch EMS-Regelung aktiv verhindert werden!*

Lichtbogenszenarien in PV-Batteriesystemen

Detektionsmöglichkeiten

- Lichtbogen im 200 V Batteriesystem, Entladen
 - Spannung am EMS innerhalb des Betriebsbereichs
 - Konstanter Strom, stabiler Lichtbogen



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

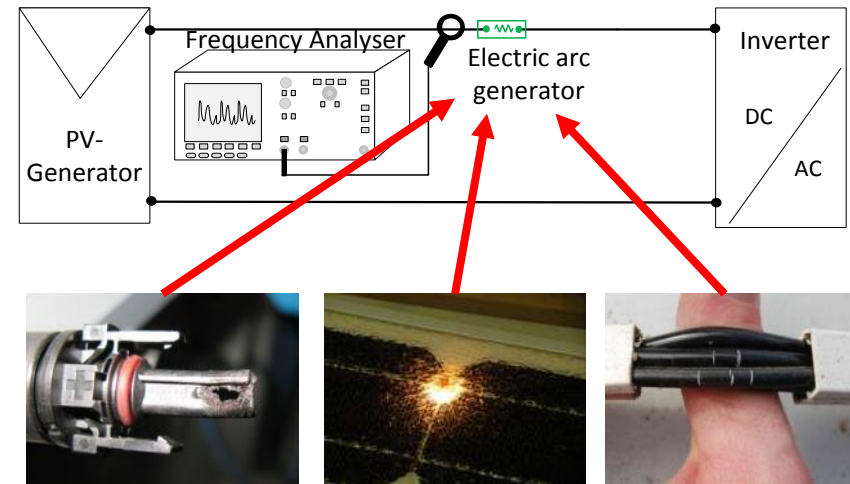
- $U_{Bat} \neq U_{EMS}$ kann als einfach umzusetzendes Detektionsmerkmal für serielle Lichtbögen in Batteriesystemen verwendet werden!

Lichtbogenszenarien in PV-Batteriesystemen

Nachstellung mittels Replay-Methode (1)

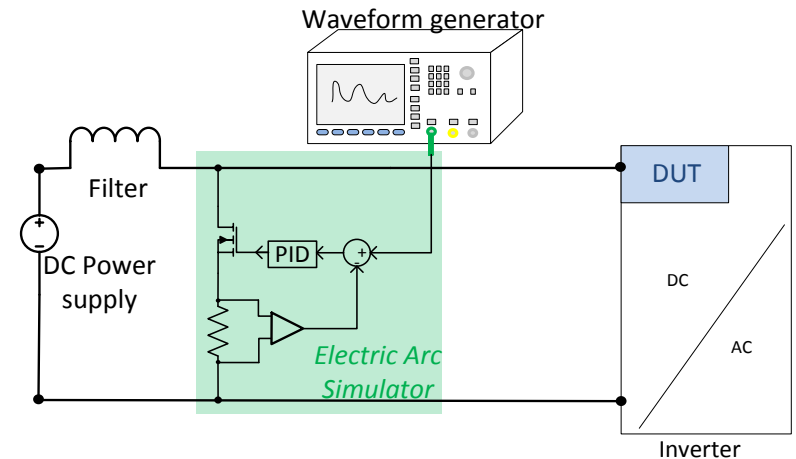
Schritt 1

- Aufzeichnen eines Lichtbogensignals im realen DC-System
- Erstellung einer Datenbank mit verschiedenen Fehlerstellen, Batteriesystemen, Wechselrichtern...



Schritt 2

- Aufprägen des aufgezeichneten Stromsignals auf Prüfling im DC-Kreis
- Regelkreis mit Halbleiter gibt hochfrequentes Rauschen wieder
- Reproduzierbar, teils automatisierbar

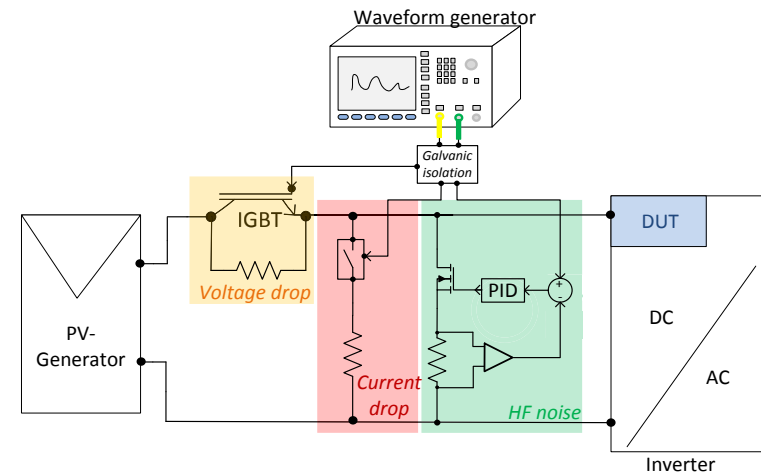
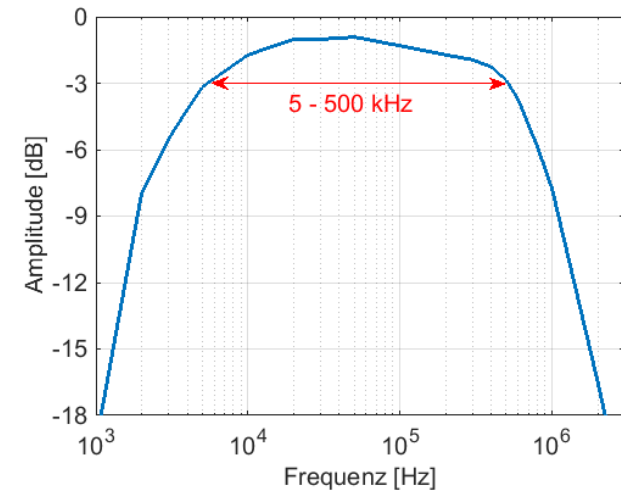


Lichtbogenszenarien in PV-Batteriesystemen

Nachstellung mittels Replay-Methode (2)

Spezifikation

- Geeignet für DC-Systeme bis 1000 V und 24 A
- Wiedergabe von Rauschsignalen von ca. 5 bis 500 kHz
- Galvanisch getrennte Eingangssignale
- Optional Arbeitspunktsprünge von bis zu 40 V oder 4 A nachstellbar



Fazit

- Forderung angemessener Schutzmechanismen nach Norm (z.B. VDE AR-E-2510-50, BATSO 01) wird das Brandrisiko von PV-Heimspeichersystemen stark senken
 - Besondere Anforderungen an Kurzschluss- und Zyklfestigkeit der DC-Komponenten
- Im Gegensatz zu Li-Ionen-Batterien in der Consumer-Elektronik sind bei PV-Heimspeichersystemen bisher kaum Brandfälle bekannt
- Möglichkeiten zur Lichtbogenprävention und –detektion zur Zeit nicht auf dem Markt, aber mit überschaubarem Aufwand realisierbar

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

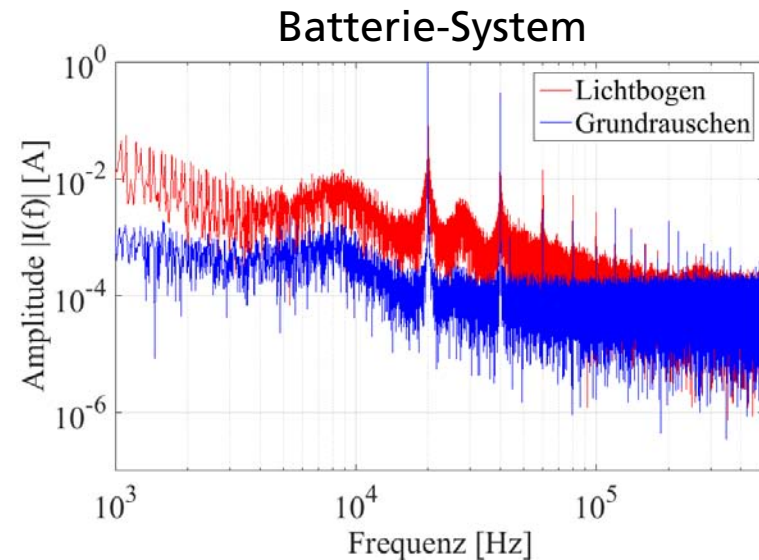
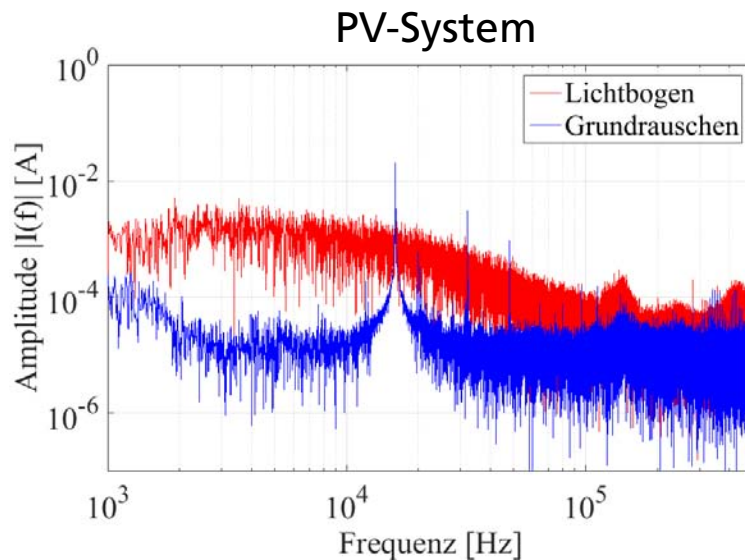
Quellen

- [1] M.-K. Song, S. Park, F. Alamgir, J. Cho, M. Liu, „Nanostructured Electrodes for Lithium-Ion and Lithium-Air Batteries: the Latest Developments, Challenges and Perspectives“, *Materials Science and Engineering: R: Reports*, Volume 72, Issue 11, pp. 203-252, 2011

Backup

Lichtbogendetektion in Batteriesystemen

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

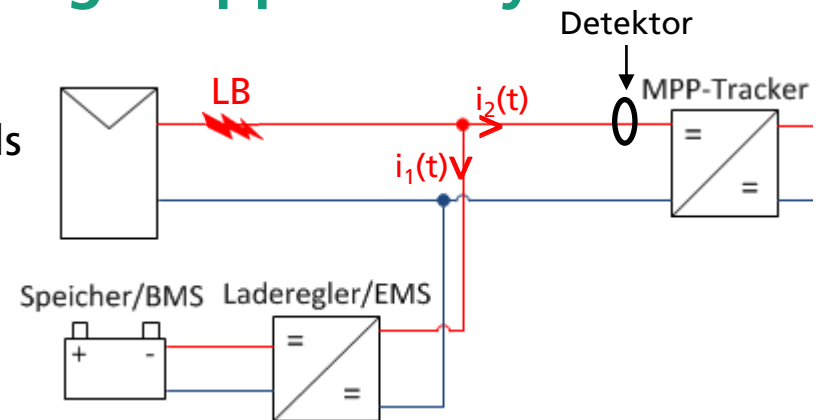


- Detektion aus Spannungsmessung einfacher realisierbar als aus Stromspektrum!

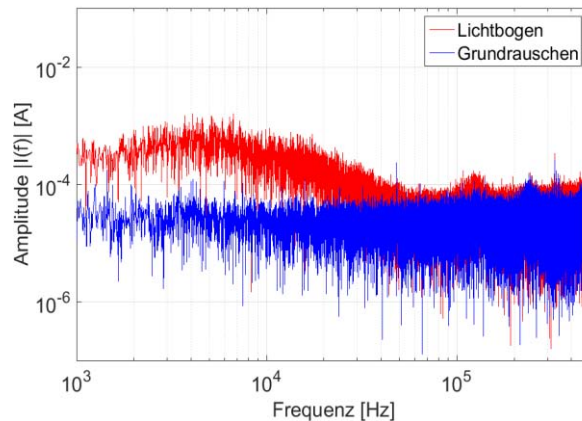
Backup

Serieller Lichtbogen im generatorgekoppelten System

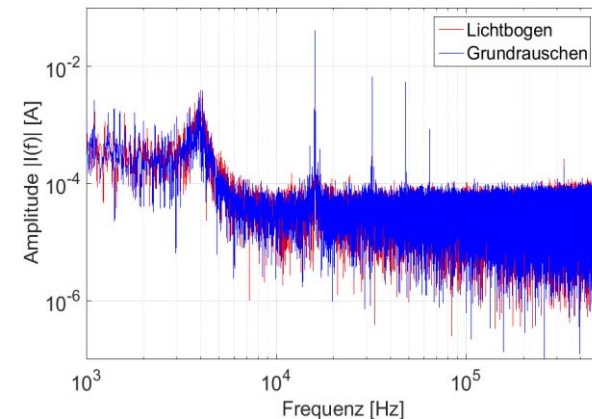
- Aufteilung des detektierbaren Rauschsignals auf Laderegler- und Wechselrichtereingang
- Bei ungünstiger Systemkonstellation kann Detektor keinen Fehler mehr erkennen
- Abhilfe: HF-Sperre an Laderegler-Eingang



Laderegler-Eingang



WR-Eingang



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