

# **Was tun bei Detektion? Sinnvolle Strategien zum Erreichen eines sicheren Anlagenzustands bei Auslösen des Lichtbogendetektors**

**Prof. Dr. (em.) Heinrich Häberlin**

**Berner Fachhochschule, Technik und Informatik (BFH-TI)  
Abteilung Elektrotechnik  
Photovoltaiklabor  
Jlcoweg 1**

**CH-3400 Burgdorf, SCHWEIZ**

**Tel: +41 34 426 6811, Fax: +41 34 426 6813,  
e-Mail: [heinrich.haeberlin@bfh.ch](mailto:heinrich.haeberlin@bfh.ch)**

**Internet: [www.pvtest.ch](http://www.pvtest.ch)**

# Inhaltsverzeichnis

- 1. Einführung**
- 2. Massnahmen zur Lichtbogenlöschung**
  - 2.1 Serielichtbögen**
  - 2.2 Massnahmen gegen Parallellichtbögen**
- 3. Bei Problemen Abschaltungen auf Modulebene ?**
- 4. LBD-Normen und mögliche Verbesserungen**
- 5. Beispiele von Tests nach UL1699B**
- 6. Ausblick**

# 1. Einführung

**Ende 2012 weltweit installierte PV-Anlagen:**

- ca. 100 GWp PV-Leistung bei STC
- ca. 500 Millionen PV Module (mittlere Leistung 200 Wp)
- ca. 1 Milliarde PV Modul-Steckkontakte und zusätzlich:
- ca. 120 Milliarden modulinterne Kontakte

***In diesen Kontakten: Bei Defekten Serielichtbögen möglich***

- bei 10 Modulen/Strang ca. 50 Millionen Strangleitungen

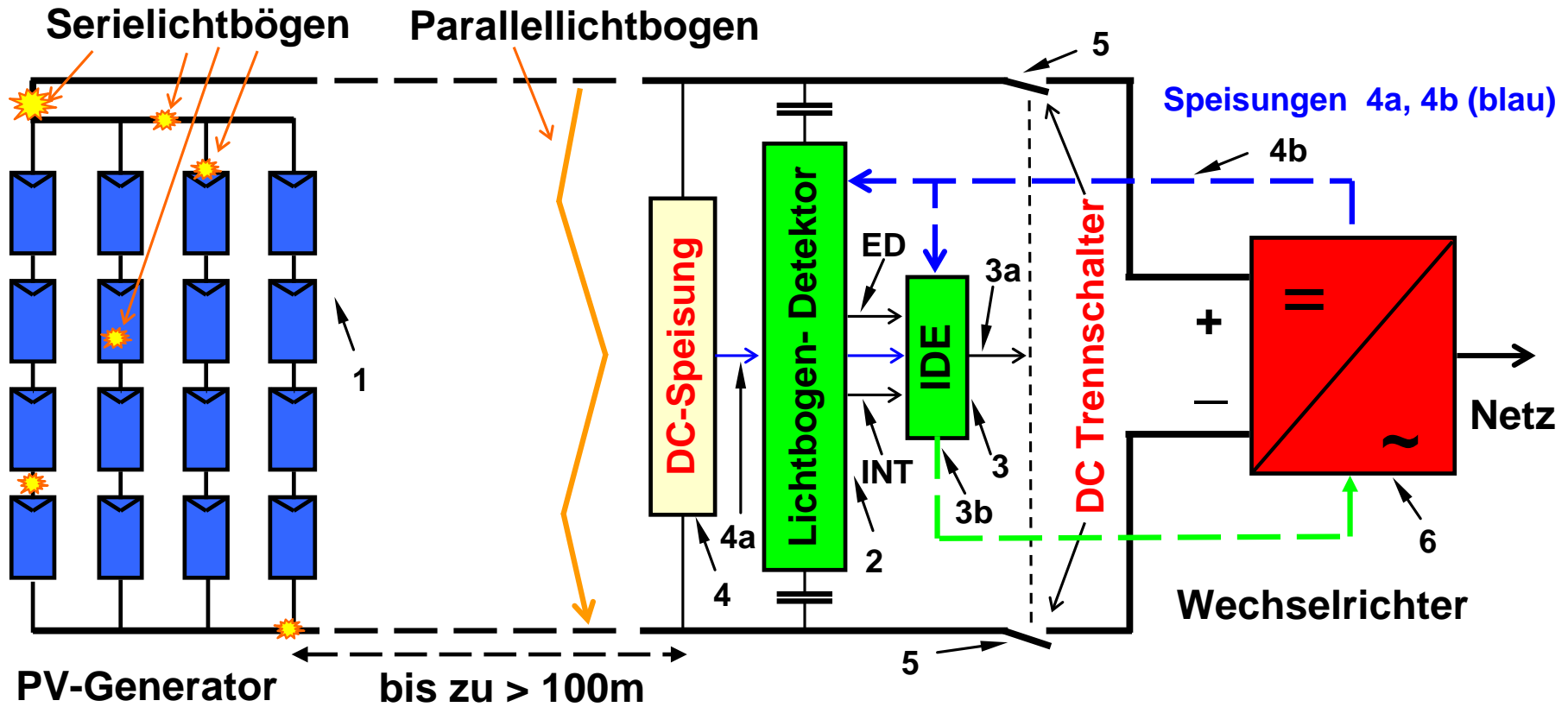
***Bei diesen Leitungen sind auch Parallellichtbögen möglich***

***Zahlenverhältnisse zeigen:***

***⇒ Serielichtbögen wahrscheinlicher als Parallellichtbögen!***

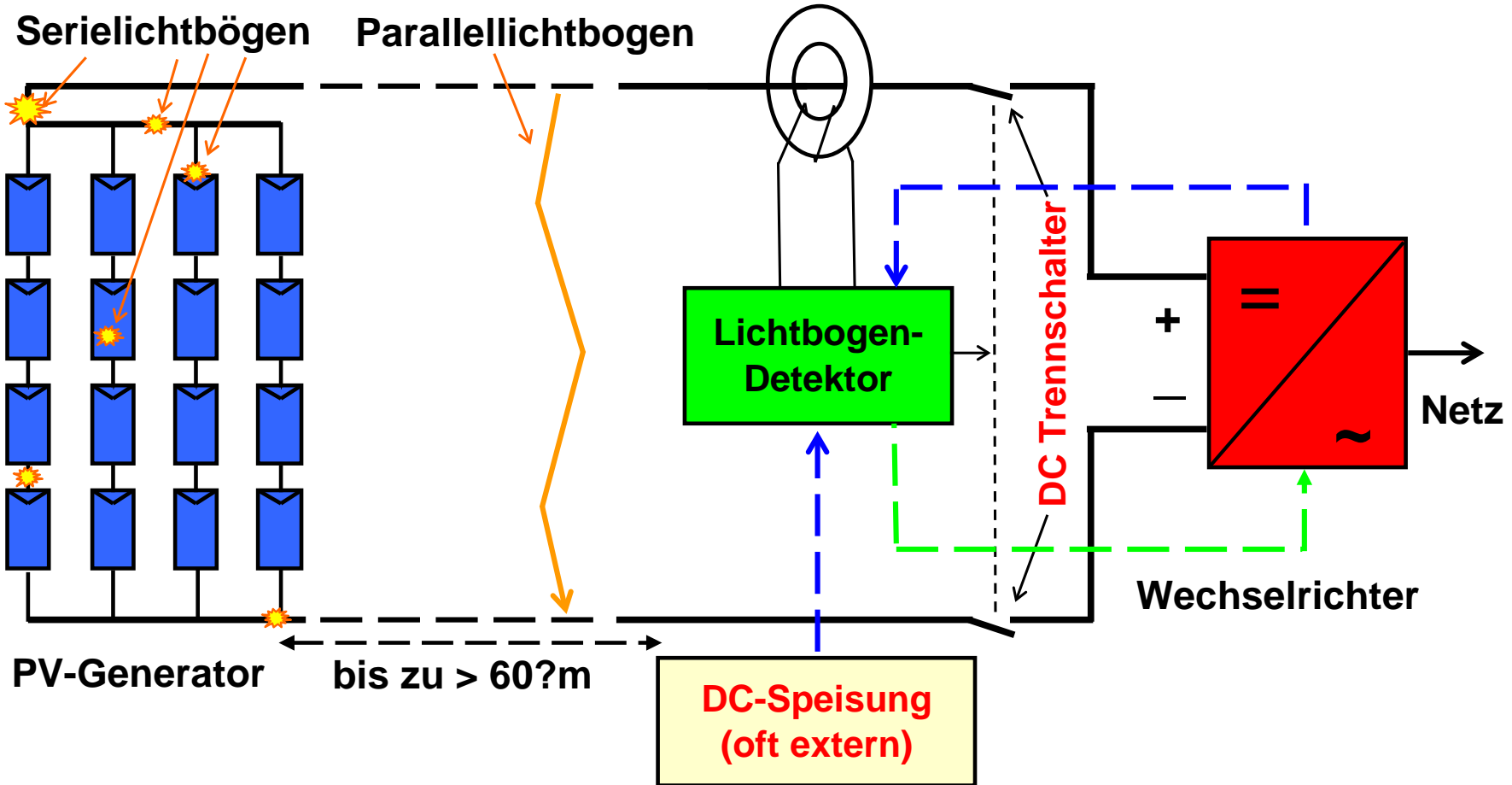
- **Von den vielen modulinternen und externen Kontakten werden auch bei höchster Fertigungs- und Installationsqualität im Laufe der Jahre sicher ab und zu einige Verbindungen unter Bildung (brand-)gefährlicher Lichtbögen defekt gehen.**
  - **Es wäre im Interesse der ganzen PV-Branche, wenn dieses Problem gelöst werden könnte (auch bei bereits bestehenden Anlagen), bevor noch schlimmere Brände an PV-Anlagen auftreten.**
- ⇒ Lösung: Lichtbogendetektor (LBD), primär für Serielichtbögen**

# Mögliche Orte von Serie- und Parallellichtbögen



In den Jahren 1994 – 2006 am PV-Labor der BFH-TI entwickelter LBD mit möglichen Orten von Serie- und Parallellichtbögen. Prinzip: Analyse der Störspannungen des Lichtbogens im Bereich 280-520 kHz


# Prinzipschaltung vieler aktueller LBD-Entwicklungen

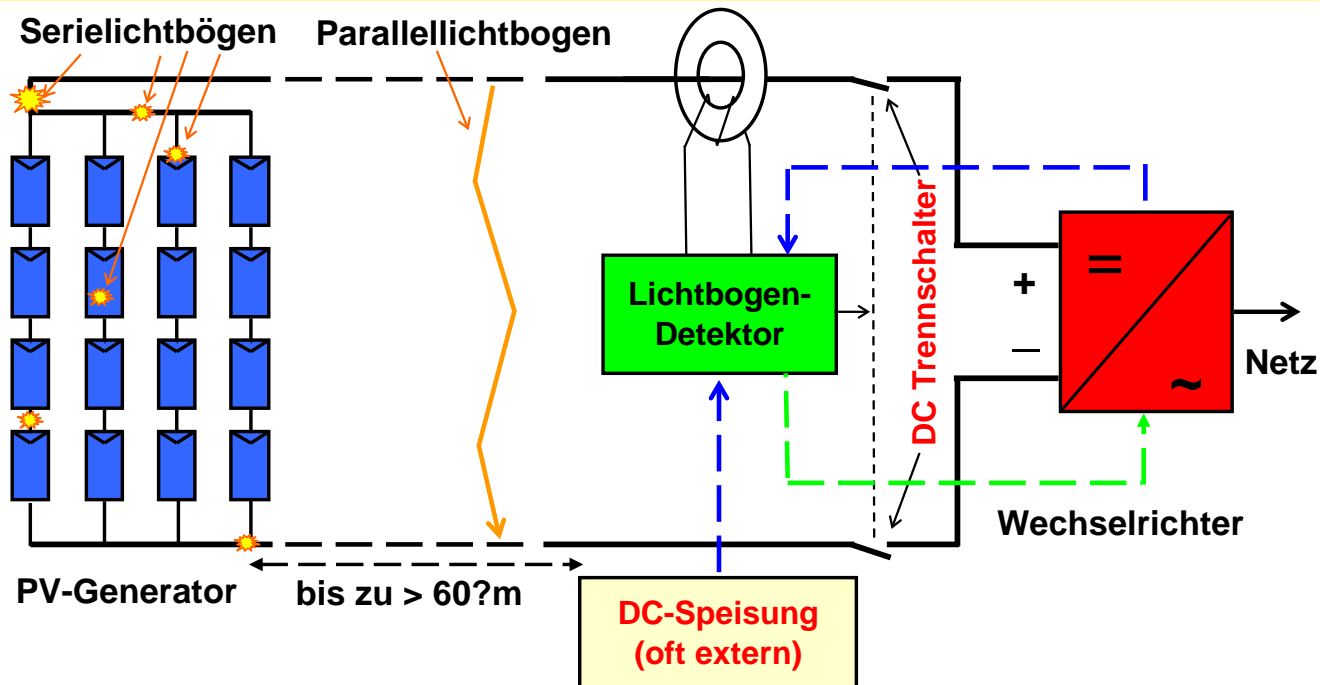


Prinzipschaltung vieler aktueller LBD-Entwicklungen. Speisung und Abschaltung durch WR (bei Integration) oder extern. Analyse der Störströme des Lichtbogens im Bereich 1 - 500 kHz (je nach Hersteller)

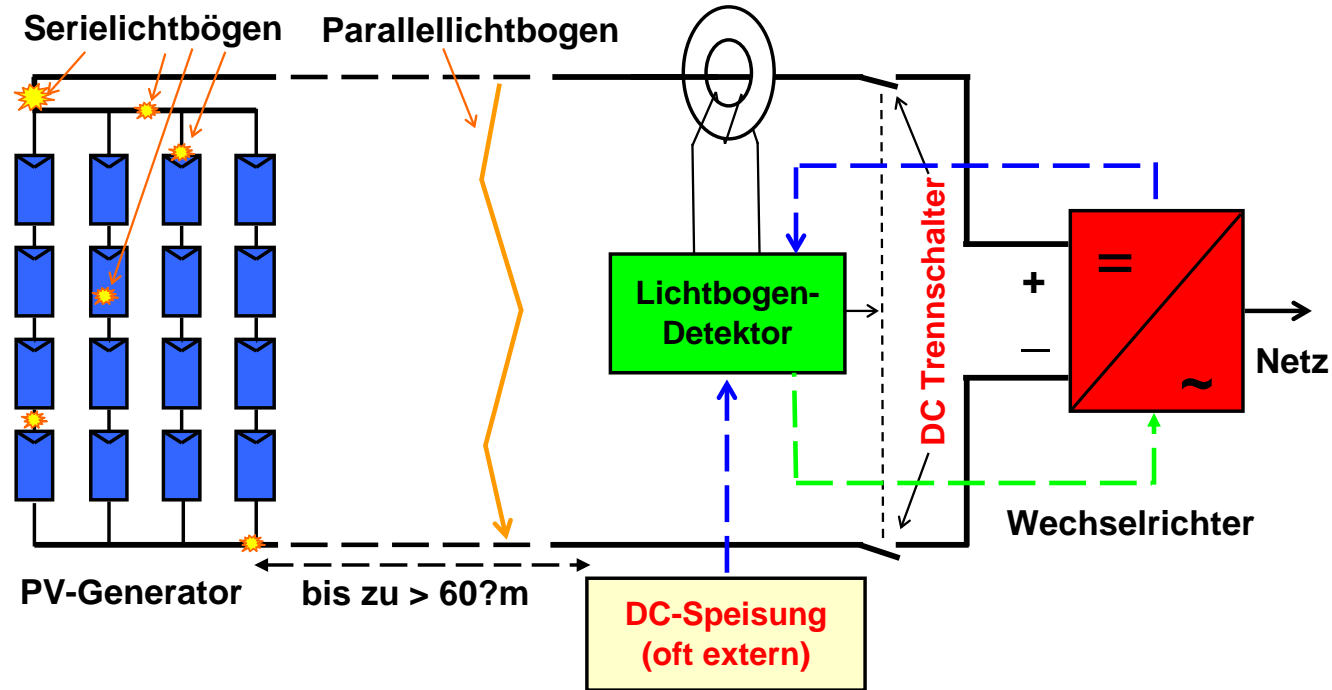
## 2. Massnahmen zur Lichtbogenlöschung

### 2.1 Serielichtbögen

- **Serielichtbögen** können durch Abschalten des Wechselrichters gelöscht werden. Dadurch werden alle Module und Leitungen auf der DC-Seite stromlos (aber nicht spannungslos)  $\Rightarrow$  alle Serielichtbögen (  ) verlöschen.
- Bei in den Wechselrichter eingebauten LBD sehr einfach.





## Serielichtbögen

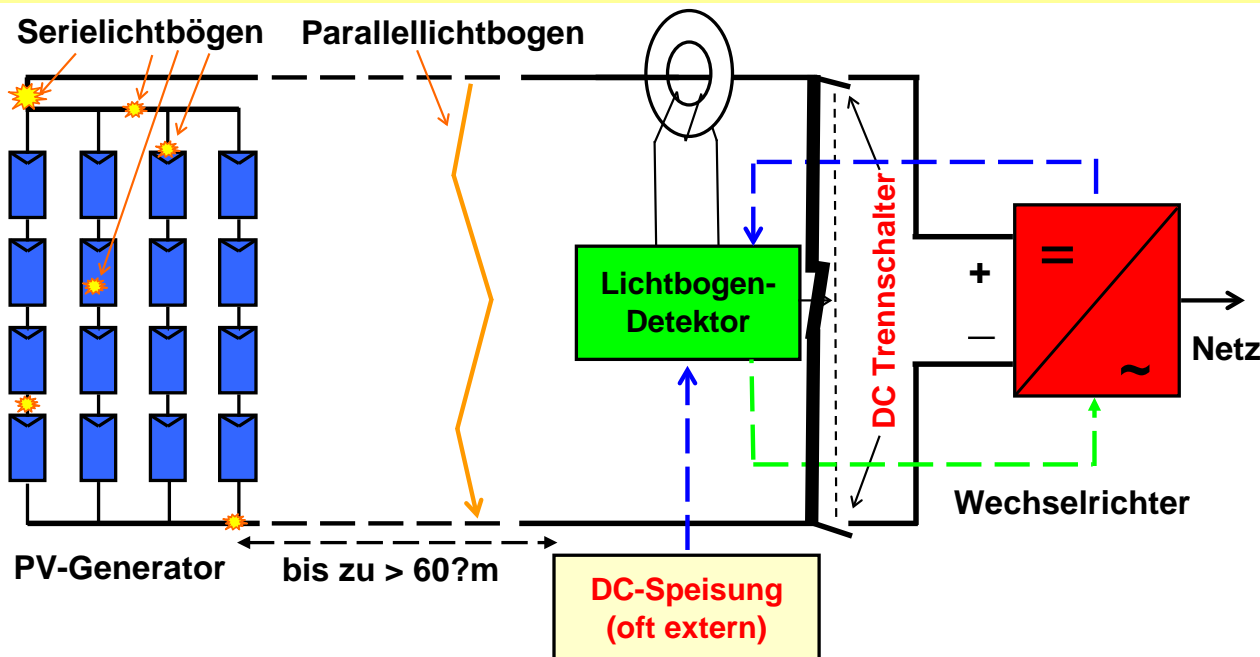


- Externe autonome LBD: Separate Speisung und DC-Trennschalter mit *Lastschaltvermögen* nötig.
- Statt DC-Trennschalter beim WR auch Feuerwehrscharter beim Gebäudeeintritt möglich.
- Externe LBD mit externen Trennschaltern sollen ohne vorhandene Lichtbögen nach Netzausfällen automatisch wieder den Normalbetrieb aufnehmen.



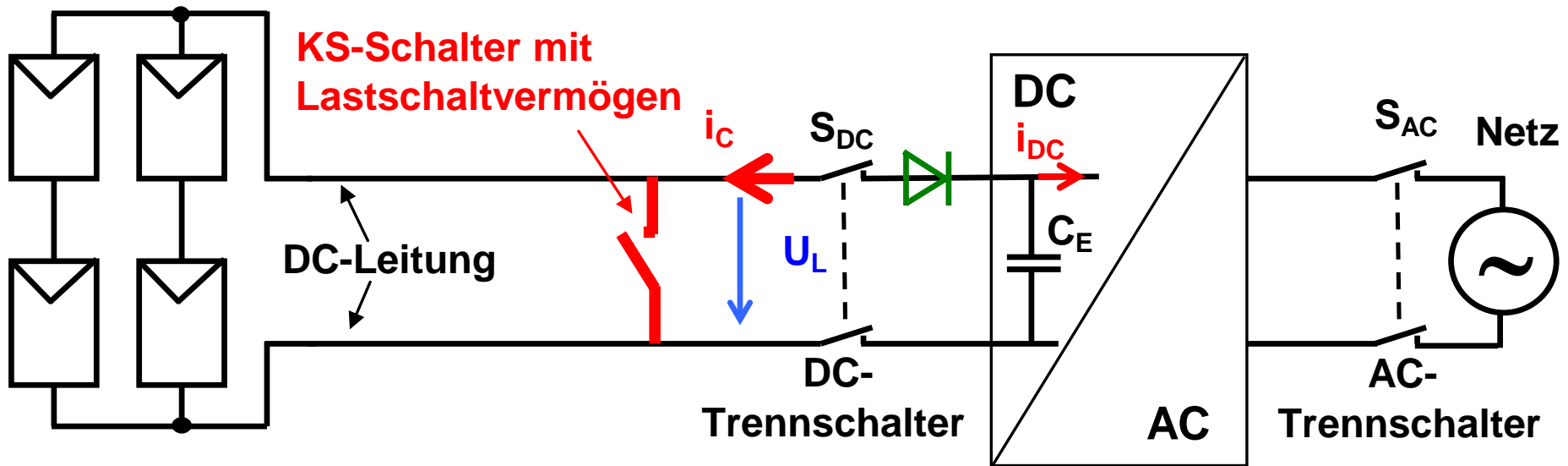
## 2.2 Massnahmen gegen Parallellichtbögen

- **Parallellichtbögen** auf der DC-Hauptleitung können durch einen *Kurzschluss* (KS) am DC-Eingang des Wechselrichters gelöscht werden. Dadurch bricht die Spannung auf der DC-Hauptleitung resp. den parallelen Strangleitungen zusammen und alle Parallellichtbögen (  ) verlöschen.
- **Kurzschluss** (  ) nur zulässig, wenn nicht zusätzlich **Serielichtbögen**, sonst wird Problem verschlimmert!



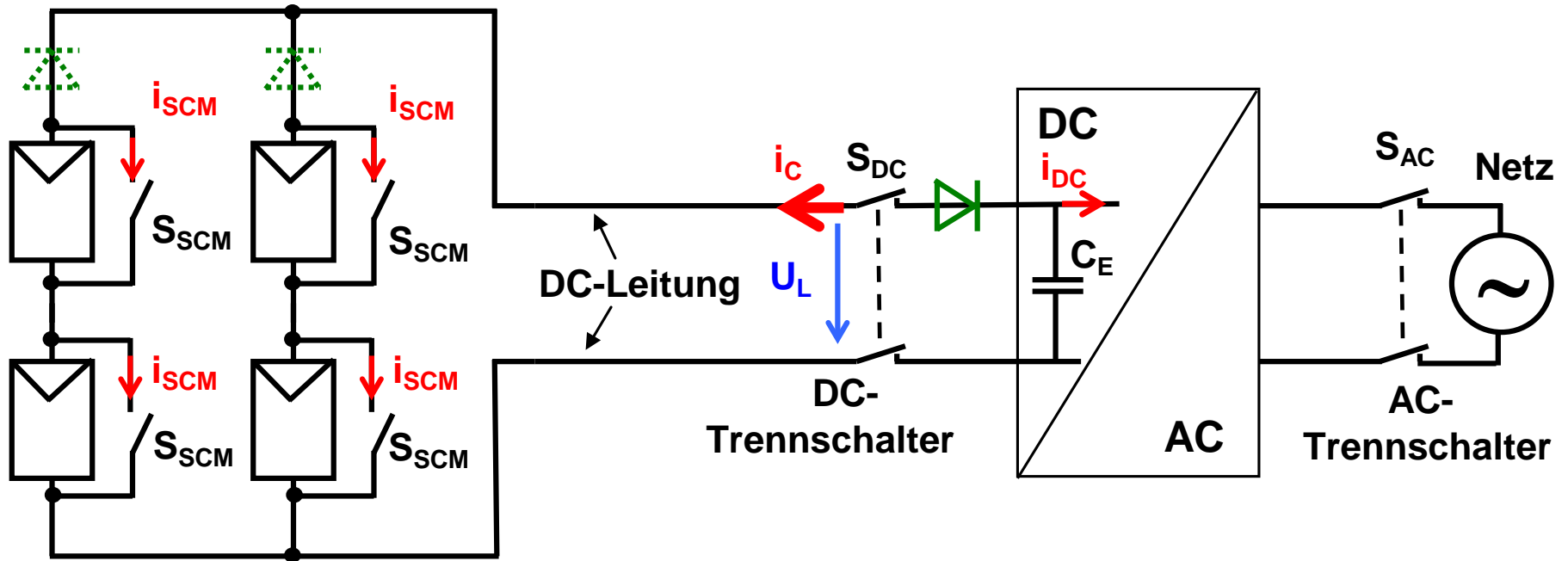
⇒ Zuerst  
Massnahmen  
gegen Serie-  
Lichtbögen,  
dann erst  
gegen Parallel-  
Lichtbögen!

## Parallellichtbögen



- Diode am WR-Eingang nötig zur Vermeidung eines Stromstosses aus dem Eingangskondensator beim KS.
- Externe LBD mit externen KS-Schaltern sollen ohne vorhandene Lichtbögen nach Netzausfällen automatisch wieder den Normalbetrieb aufnehmen.

### 3 Bei Problemen Abschaltungen auf Modulebene ?



Idee auf den ersten Blick einleuchtend, im Störfall nur noch ungefährliche Spannungen und Ströme im PV-Generator. Detaillierte Diskussion auf nächster Folie.

## Bei Problemen Abschaltungen auf Modulebene ?

Idee auf den ersten Blick einleuchtend, im Störfall nur noch ungefährliche Spannungen und Ströme im PV-Generator. Aber:

### *Bei solchen Lösungen:*

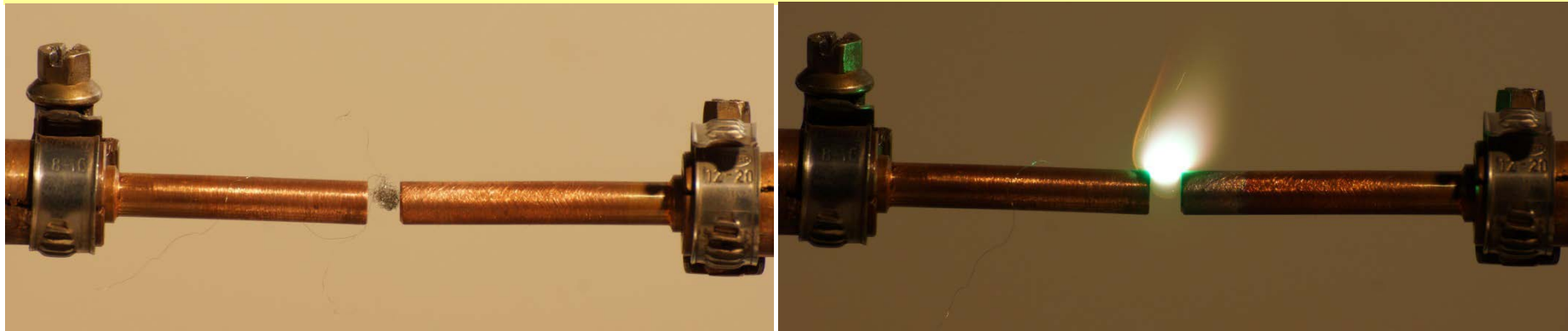
- Erhöhung der Komplexität
- Verringerung der Zuverlässigkeit
- Erschwerung der Test- und Wartbarkeit
- Je nach Ansteuerungskonzept auch Probleme mit Blitzschutz
- Fehlende Normierung  $\Rightarrow$  Abhängigkeit vom Systemhersteller
- Bei Kurzschliessern Schutz gegen Rückströme (Dioden) nötig
- Bei seriellen Schaltern: Für max. Strangspannung auslegen!
- Keine Nachrüstbarkeit bei bestehenden Anlagen

## 4 LBD-Normen und mögliche Verbesserungen

**Gegenwärtig nur die amerikanische Norm UL1699B vorhanden, Alle LBD werden trotz einigen Mängeln noch danach getestet.**

**Je nach Lichtbogenleistung (300W – 900W) muss LBD die DC-Seite in 2s (bei 300W) resp. 0,8s (bei 900W) definitiv abschalten (nur manuelle Rückstellung nach Anlagenkontrolle).**

**Lichtbogenerzeugung zwischen 2 dicken Cu-Elektroden (6,3mm), Lichtbogen-(LB)-Zündung zu Beginn mit etwas Stahlwolle (links):**



**Praxisgerechter wären Elektroden (rund oder streifenförmig) von einigen mm<sup>2</sup> !**

## Einige Mängel der UL1699B:

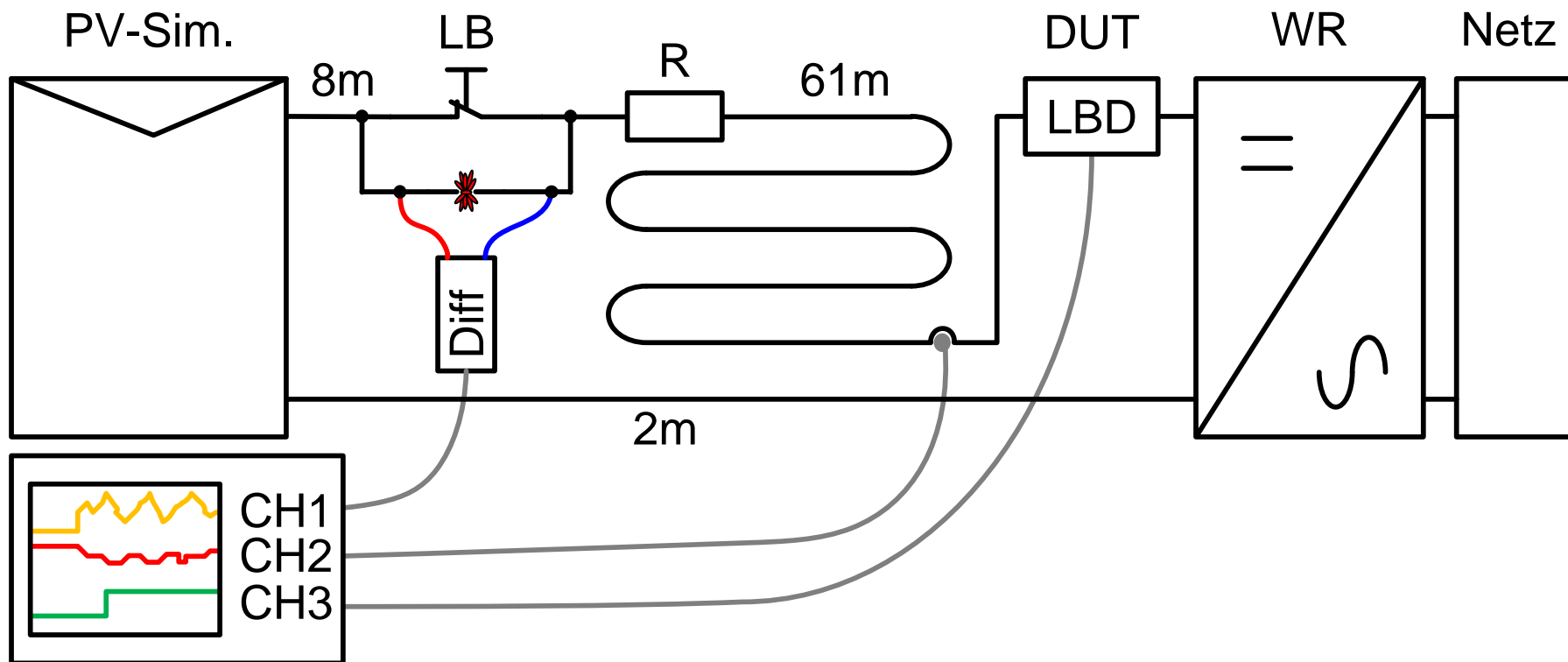
- LB-Zündung mit Stahlwolle über Spalt unzuverlässig
- Viele Tests mit Widerständen statt Wechselrichtern als Last (unrealistisch, leichtere LB-Zündung, aber andere elektrische Eigenschaften in LB-Schleife)
- Prüfaufbau (Leiterlängen, Abstände) und Stromquelle nicht vollständig definiert, Position von LB und unmittelbar daneben LBD beim Test wenig sinnvoll
- Zu genaue Anforderung an LB-Leistung ( $\pm 10\%$ ) erschwert Test
- Wenig verschiedene Konfigurationen und geringe Anzahl Tests
- Nur kurze Zeit für sichere Detektion (0,8 – 2s) eines LB zulässig, danach sofort permanente Betriebshemmung. Nur manuelle Rückstellung erlaubt!

## Weitere Mängel der UL1699B:

- Wegen dieser Forderung nach sofortiger Betriebssthemmung sind sporadisch auftretende Fehldetektionen durch von benachbarten Anlagen eingekoppelte Störungen unannehmbar, denn sie führen sofort zu sehr ärgerlichen Energieverlusten.
- Dies würde das Vertrauen in diese Technik untergraben und könnte letztlich zur Überbrückung solcher LBD führen.
- Echtes Dilemma für Hersteller:
  - a) nicht allzu empfindliche Detektoren  $\Rightarrow$  keine Fehldetektionen, aber solche LBD erkennen manchmal echte LB nicht mehr.
  - b) relativ empfindliche Detektoren  $\Rightarrow$  alle LB werden erkannt, dafür sporadische Fehldetektionen.

**Bisher durchgeführte Tests an drei LBD zeigen dies klar.**

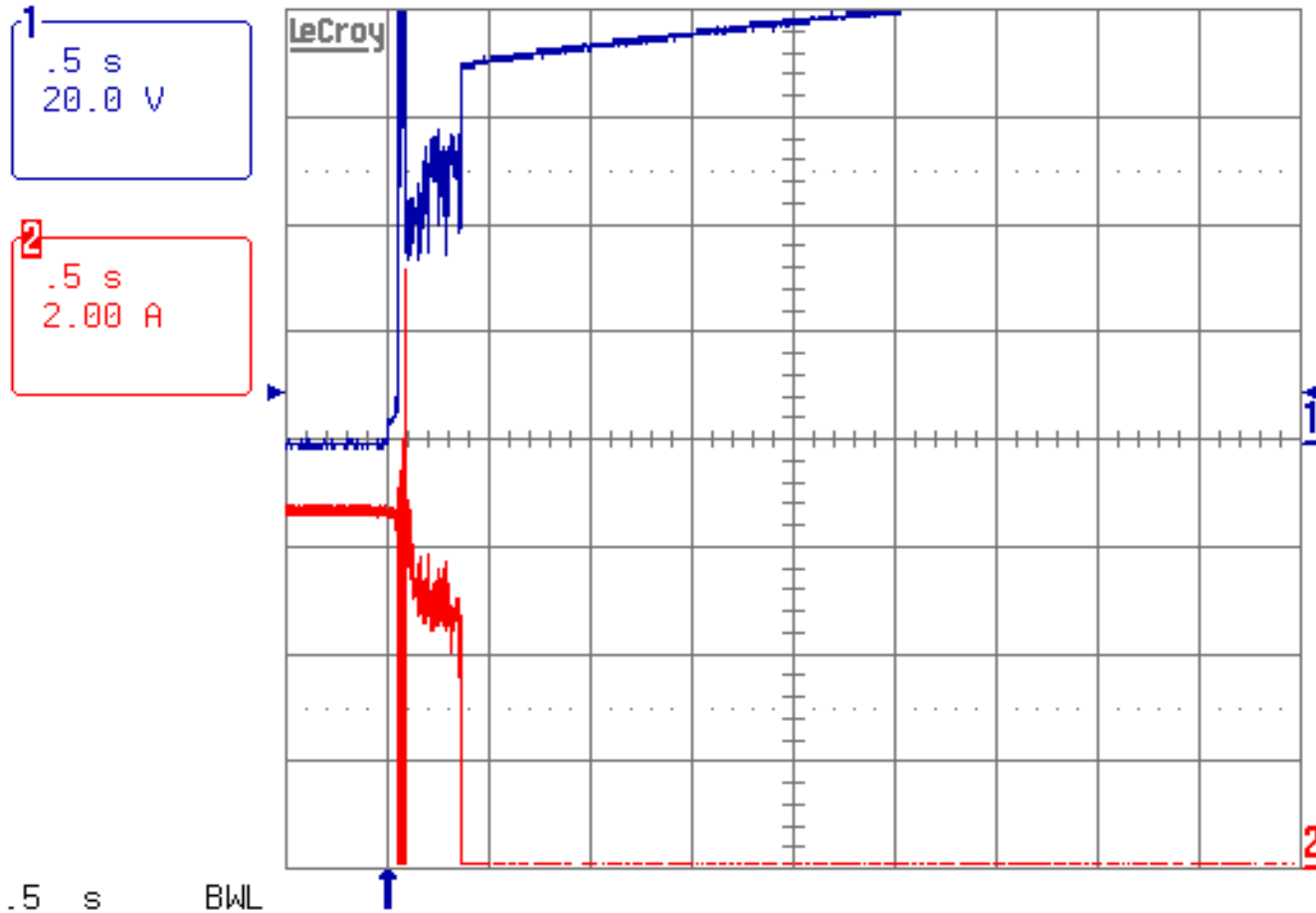
## 5 Beispiele von Tests nach UL1699B



**Eine der verwendeten Testschaltungen in Anlehnung an UL1699B:  
Praxisgerechte Tests primär sinnvoll mit Distanz zwischen LB  
und LBD. Der LBD ist bei kleinen und mittleren PV-Anlagen  
sinnvollerweise nahe beim Wechselrichter.**



18-Oct-12  
14:17:04



**LBD-Test mit  
WR bei  $I = 7 \text{ A}$   
( $R = 0 \Omega$ )**

**Blau:  
LB-Spannung  
20 V/Div.**

**Rot:  
DC-Strom  
2 A/Div.**

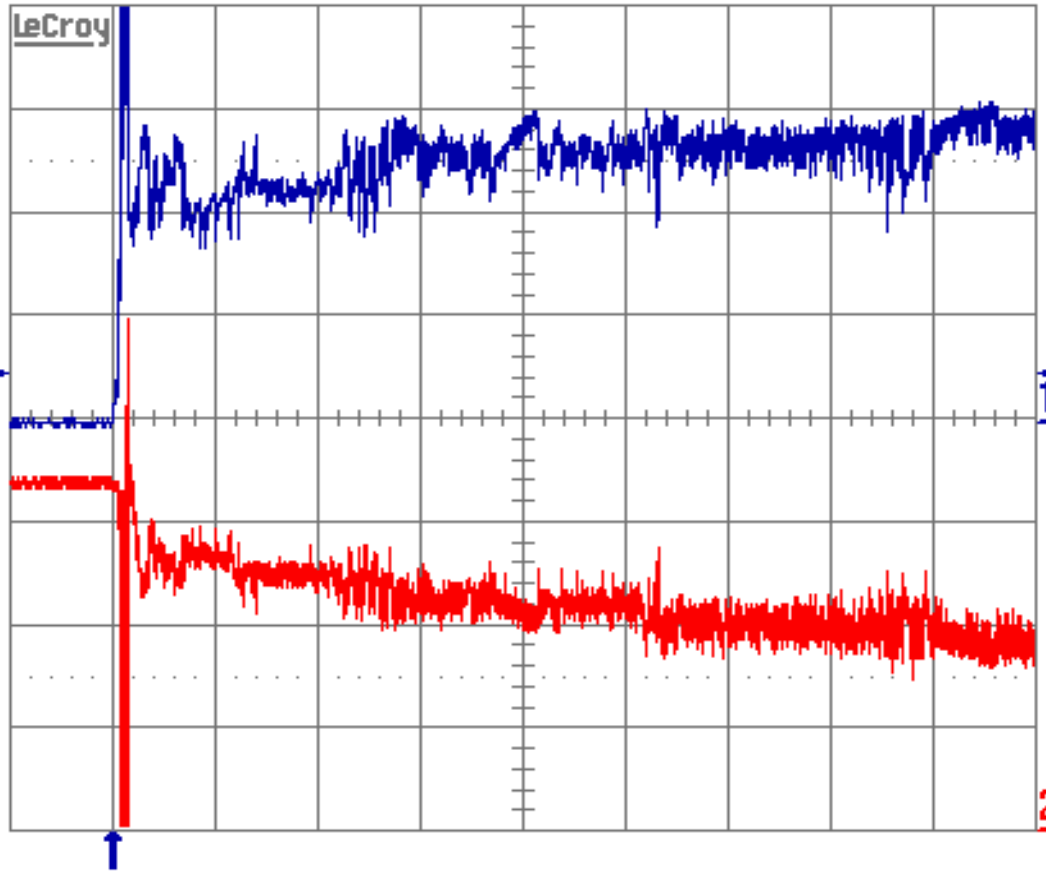
**Zeitmaßstab:  
0.5 s/Div.**

**Erfolgreicher Test eines LBD mit Wechselrichterlast bei  $I = 7 \text{ A}$ .  
Ein an den LBD angeschlossener Schalter unterbricht den LB.**

18-Oct-12  
14:28:57

1  
.5 s  
20.0 V

2  
.5 s  
2.00 A



**LBD-Test mit  
WR bei  $I = 7 \text{ A}$   
( $R = 0 \Omega$ )**

**Blau:**  
**LB-Spannung**  
**20 V/Div.**  
**Rot:**  
**DC-Strom**  
**2 A/Div.**  
**Zeitmaßstab:**  
**0.5 s/Div.**

**Nicht erfolgreicher Test eines LBD mit Wechselrichterlast bei  $I=7 \text{ A}$ . Der LBD erkennt den LB nicht, keine Abschaltung. Dieser relativ unempfindliche LBD hatte keine Fehldetektionen.**

## 6 Ausblick

Seit der Entwicklung der ersten LBD hat die Elektronik riesige Fortschritte gemacht. Die Forderung nach sofortiger permanenter Betriebshemmung in UL1699B verhindert aber, dass wesentliche technologische Fortschritte in der Praxis eingesetzt werden können.

Um LBD möglichst empfindlich einstellen zu können, ohne häufige Fehlauslösungen in Kauf nehmen zu müssen, wäre es sinnvoll, wenn LBD bei Detektion eines vermuteten LB rasch abschalten, aber nach einer kurzen Wartezeit die PV-Anlage automatisch wieder einschalten würden. *Erst wenn der LBD innerhalb einiger Stunden mehrmals ausgelöst hat, sollte eine permanente Betriebshemmung erfolgen.*

Auf internationaler Ebene wird im IEC TC 82 an einem Vorschlag für eine neue LBD-Norm gearbeitet und es ist zu hoffen, dass dort solche Überlegungen aufgenommen werden.

# ENDE

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.**

**[www.pvtest.ch](http://www.pvtest.ch)**