



Lichtbogendetektoren in PV-Anlagen

Kurzbericht zur Zuverlässigkeitsstudie

David Joss, Peter Wüthrich, Sebastian Koch
Version 1.0, 14.09.2023

1 Einleitung

Wird ein stromführender Leiter unterbrochen, bildet sich ein Lichtbogen. Hierbei ist Gleichstrom bezüglich der Gefahr, die von Lichtbögen ausgeht, deutlich gefährlicher als Wechselstrom, da er keine Nulldurchgänge aufweist, die eine Selbstlöschung begünstigen würden. Lichtbogendetektoren in PV-Anlagen können solche Lichtbögen¹ erkennen und löschen. Während Lichtbogendetektoren in den USA für Neuanlagen bereits seit über zehn Jahren vorgeschrieben sind, blieb man in Europa bisher zurückhaltender, da man Mehrkosten und Fehldetektionen fürchtete. Inzwischen bieten jedoch immer mehr Hersteller von Wechselrichtern Lichtbogendetektoren auch in ihren europäischen Geräten an. Lichtbogendetektoren (LBD) werden im Englischen übrigens auch als «Arc Fault Protective Equipment» (AFPE), «Arc Fault Detection Device» (AFDD) oder «Arc Fault Circuit Interrupter» (AFCI) bezeichnet.

2 Vorgehen

Am PV-Labor der Berner Fachhochschule wurde im Auftrag der Gebäudeversicherung Bern untersucht, wie zuverlässig Lichtbogendetektoren für die Löschung von Serielichtbögen in modernen PV-Wechselrichtern funktionieren. Es wurde eine normative wie auch weitere normfremde Messreihe durchgeführt, u.a. mit längeren Kabeln und grösserer Induktivität. Mit der IEC 63027:2023: «Photovoltaic power systems - DC arc detection and interruption» existiert seit Mai 2023 eine internationale Norm, welche den Test von Lichtbogendetektoren beschreibt. Nach dieser Norm wurden die 3 Vergleichsgeräte getestet. In früheren Normen, wie der für die USA gültigen UL 1699B, erfolgte die Zündung eines Lichtbogens noch mit einer Stahlwolle, was zwar einfacher zu detektieren, aber nicht besonders praxisnah war. Heute wird der Lichtbogen sowohl in der UL-Norm als auch in der IEC 63027:2023 zwischen einem Wolframring und einer Wolframskugel gezündet². Bei diesem Verfahren ist der Lichtbogen schwerer zu detektieren und die Messung ist einfacher zu wiederholen.

Im Labor wurden zur Prüfung von Lichtbogendetektoren anstelle von PV-Modulen sogenannte Kennliniensimulatoren verwendet. Hierbei handelt es sich um DC-Quellen, welchen die Charakteristik eines PV-Moduls einprogrammiert wird. Da diese Simulatoren eine im Vergleich zu PV-Modulen hohe Kapazität gegenüber dem Erdpotential aufweisen, was zu Verfälschungen der Lichtbogendetektion führen kann, wurde ein sogenanntes «Decoupling Network» gemäss Norm zwischen DC-Quelle und Wechselrichter geschaltet. Die Tests der Lichtbogendetektoren erfolgten bei verschiedenen Strömen an unterschiedlichen Positionen im Strang. Dabei wurden die Energie und die Zeit bis zur Löschung respektive Meldung des Lichtbogens erfasst. Zu Beurteilung wurden folgende Kriterien berücksichtigt. Die Wechselrichter müssen Lichtbogen nach IEC 63027:2023 innerhalb von 2.5s oder bevor die Lichtbogenenergie 750 J erreicht, löschen - je nach dem, was früher eintritt. Das Gerät muss dabei immer eine entsprechende Fehlermeldung absetzen, ausser wenn der Lichtbogen rechtzeitig erlischt, bevor die Lichtbogenenergie 200 J überschreitet. In diesem Fall muss der Lichtbogen nicht gemeldet werden, wie es die Farbzonen in Abbildung 1 grafisch veranschaulichen.

¹ Es werden explizit nur Serielichtbögen betrachtet und getestet.

² Das Titelbild zeigt den Testaufbau mit den Wolframelektroden

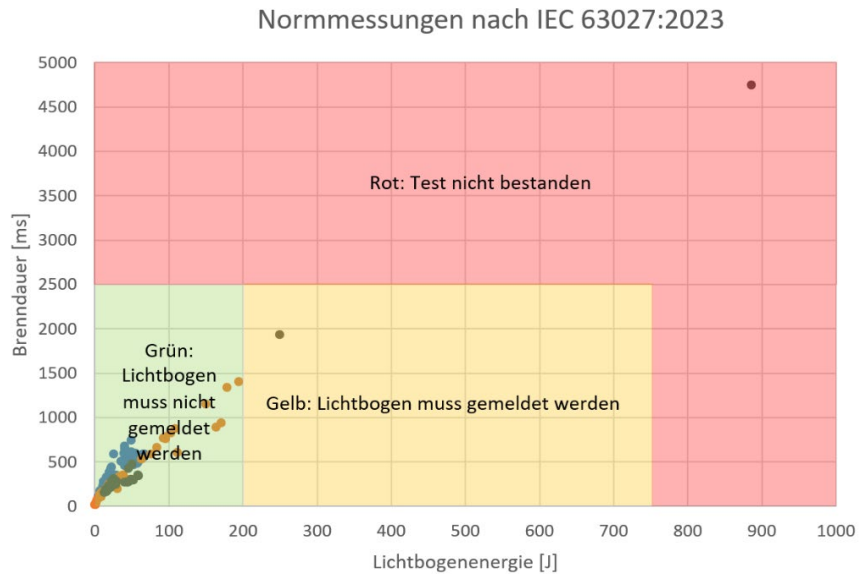


Abbildung 1: Zonen der Lichtbogendetektion nach IEC 63027:2023 inklusive Messergebnisse der drei geprüften Produkte (anonymisiert).

3 Ergebnisse

Das PV-Labor der BFH hat die Lichtbogendetektoren von je einem Wechselrichter der Haushaltsklasse der Hersteller Huawei, SMA und SolarEdge³ geprüft.

Bei den normativen Tests löschen alle drei Wechselrichter die grosse Mehrheit der Lichtbogen ohne Schwächen (Abbildung 2, linke Balkengruppe «mit LBD»). Als Vergleich sind die Messwerte der Energie bei ausgeschaltetem Lichtbogendetektor gezeigt – mit beachtlichem Unterschied (Abbildung 2, rechte Balkengruppe «ohne LBD»). Das bedeutet mit anderen Worten: Die Wechselrichter sind in der Lage, die Energie beim Auftreten eines Seriellichtbogens durch rechtzeitige Abschaltung des Lichtbogens massiv zu begrenzen und damit einen signifikanten Beitrag zur Erhöhung der Sicherheit von PV-Anlagen zu leisten.

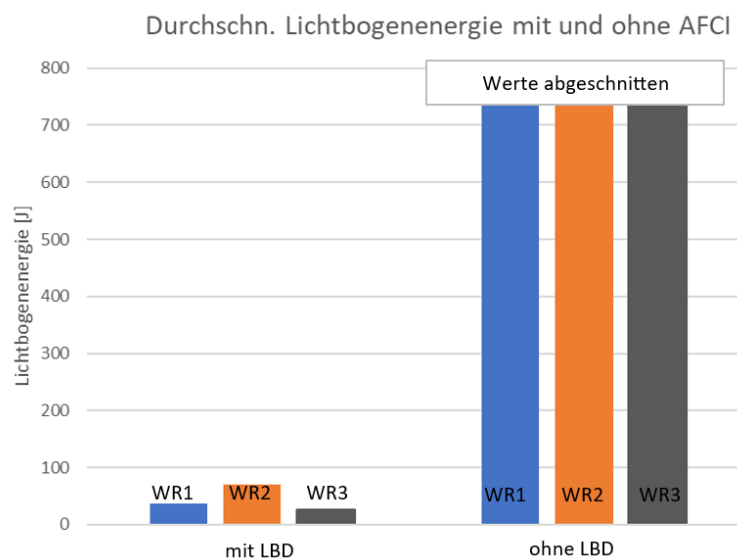


Abbildung 2: Messergebnisse der Lichtbogenenergie nach IEC 63027:2023 bei eingeschaltetem «mit LBD» und bei ausgeschaltetem Lichtbogendetektor «ohne LBD». (Werte abgeschnitten = Lichtbogen brennt ungelöscht weiter)

³ Reihenfolge zufällig gewählt

Etwas anders sehen die Testresultate aus, wenn lange Kabel in den Testaufbau integriert werden, wodurch er von den normativen Vorgaben abweicht und die Induktivität von deutlich längeren Leitungen nachbildet. Vom PV-Labor wurden arbiträr 20 m Kabellänge gewählt, die zur Erhöhung der Induktivität lose aufgerollt als grosse Luftspule seriell in den Strang geschaltet wurden. Die gemessenen Lichtbogenenergien bei unterschiedlichen Lichtbogenpositionen in Abbildung 3 zeigen nun, dass nur noch WR2 alle Lichtbögen erkannt respektive gelöscht hat, während sie bei den anderen Wechselrichtern je nach Lichtbogenposition nicht mehr detektiert werden konnten. In der Vergleichsstudie konnten somit auch die Grenzen heutiger Lichtbogendetektoren aufgezeigt werden.

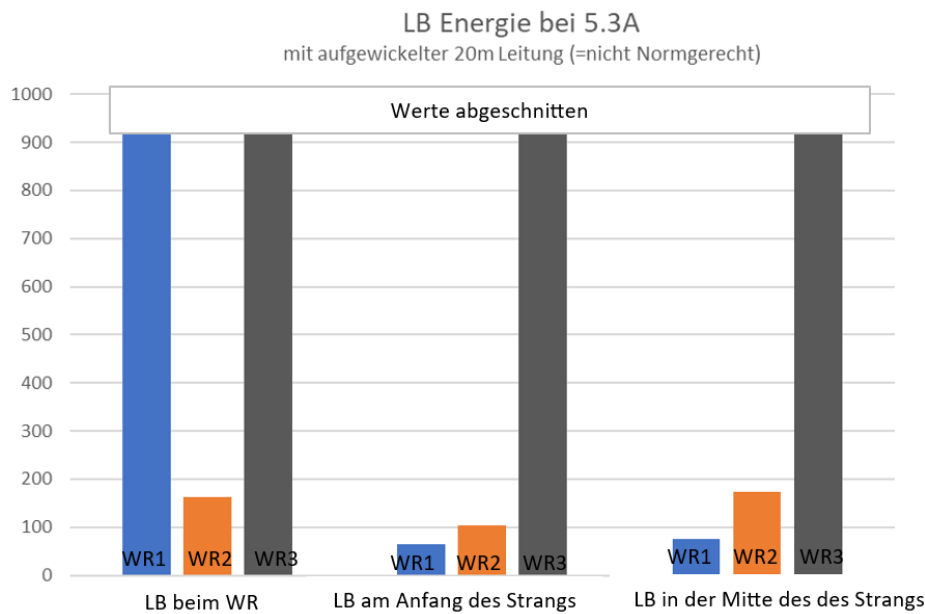


Abbildung 3 Messergebnisse der Lichtbogenenergie nach ergänzenden, nicht normativen Messungen mit einer Strangleitung mit hoher Impedanz. (Werte abgeschnitten = Lichtbogen brennt ungelöscht weiter)

4 Ausblick

Lichtbogendetektoren in PV-Wechselrichtern sind im Kommen, was spätestens der Blick in die Datenblätter von Geräten für den europäischen Markt verrät. Das frühe Obligatorium der Lichtbogendetektoren in den USA ermöglichte es den Herstellern von Wechselrichtern, wertvolle Praxiserfahrung zu sammeln, sodass sie heute meist gut funktionierende Produkte anbieten können, wie diese Zuverlässigkeitsstudie zeigt.

In modernen Wechselrichtern sind Lichtbogendetektoren bereits jetzt eine oft vorhandene Option, welche einfach aktiviert werden kann. So empfiehlt es sich beispielsweise bei einem nötigen Wechselrichtertausch auf das Vorhandensein des integrierten Lichtbogendetektors zu achten. Damit kann die Anlagensicherheit ohne hohe Kosten für eine externe Zusatzdetektionseinheit deutlich erhöht werden, was sich insbesondere bei älteren Anlagen empfiehlt. Praktische Einschränkungen wie zum Beispiel lange DC-Leitungen wurden in Labormessungen identifiziert und sollten weiter untersucht werden. Dank bedeutender Fortschritte im Bereich des maschinellen Lernens ist zu erwarten, dass die Lichtbogendetektoren kontinuierlich verbessert werden und das Schutzniveau noch angehoben werden kann.

Nach wie vor gilt es aber, die Qualität der Elektroinstallationen grundsätzlich, insbesondere jedoch im DC-Bereich, hochzuhalten. Nach Einschätzung des PV-Labors sollten Lichtbogendetektoren derzeit nicht als obligatorisch vorgeschrieben werden, sondern lediglich als zusätzliche, objektspezifische Massnahme für den Brandschutz in Betracht gezogen werden.