

# Lichtbogendetektor (LBD) zur Ferndetektion von gefährlichen Lichtbögen auf der DC-Seite von PV-Anlagen

Heinrich Häberlin

Berner Fachhochschule (BFH), Technik und Informatik, Labor für Photovoltaik

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)

Markus Real, Alpha Real AG

Feldeggstr. 89, CH-8008 Zürich / SCHWEIZ

Tel. +41 44 383 02 08, e-Mail: [alphareal@smile.ch](mailto:alphareal@smile.ch)

## Einführung

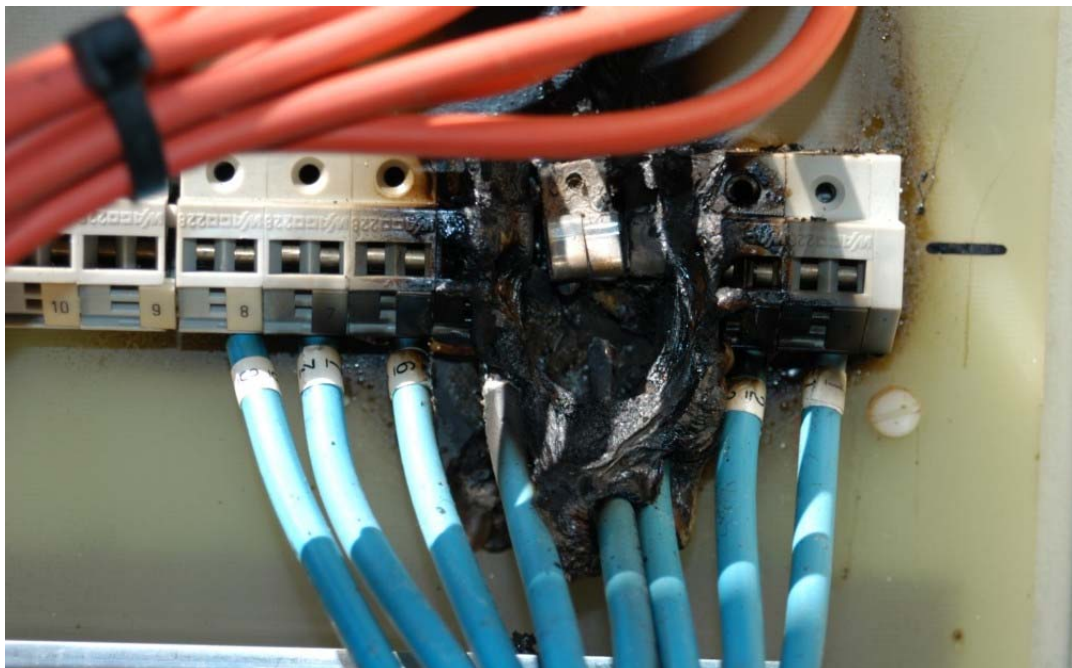
Gleichstrom-Lichtbögen in PV-Anlagen mit hoher Betriebsspannung sind wegen des fehlenden Stromnulldurchgangs wesentlich gefährlicher als Wechselstromlichtbögen. Trotz der noch relativ geringen Anzahl von PV Anlagen haben derartige Lichtbögen weltweit eine Reihe von zum Teil teuren Bränden verursacht. Mit zunehmender Verbreitung und insbesondere mit zunehmenden Betriebsjahren der Anlagen dürfte das Risiko von lichtbogeninduzierten Bränden nach Meinung der Autoren in den nächsten Jahren noch drastisch anwachsen.

Auch in der Schweiz ereigneten sich schon Anfang der 90-er Jahre derartige, durch Fehler in der PV-Anlage ausgelöste Brände im Schaltschrank der 560 kW-Anlage auf dem Mont Soleil und auf einem mit einer PV-Anlage ausgerüsteten Bauernhaus, die von der PV-Anlage ausgingen [1]. Weitere Brände sind in [3] dokumentiert. In letzter Zeit ist das Thema wieder aktuell geworden, denn sowohl in Deutschland als auch in der Schweiz traten sowohl an einzelnen Solarmodulen (Photon 8/2006, [4]) als auch an einer über 11 Jahre im Betrieb stehenden PV-Anlage in Burgdorf (Bild 1 und 2) Schwelbrände auf, die glücklicherweise noch entdeckt wurden, bevor grössere Schäden auftraten.

Die erwähnten Schadenfälle sollten die PV-Branche nun eigentlich dazu veranlassen, diesem Problem die gebührende Beachtung zu schenken und adäquate Gegenmassnahmen einzuleiten. Leider besteht die Tendenz, dieses Problem als Einzelfall, d.h. blosses Qualitätsproblem eines Herstellers herunterzuspielen und nicht als inhärentes Langzeitproblem von Photovoltaikanlagen zu betrachten. Angesichts der rasant wachsenden Nachfrage nach Solarstrom liegt die Versuchung nahe, einfach zur Tagesordnung überzugehen.



**Bild 1:** Schäden infolge eines durch einen Lichtbogen im Generator-Anschlusskasten ausgelösten Schwelbrandes.



**Bild 2:** Detailaufnahme des Brandherdes. Eine Lötstelle oder eine Kontaktstelle hat sich zunächst erwärmt und ist dann unter Lichtbogenbildung durchgeschmolzen.

Wegen den immer höheren Spannungen und Strömen in den Strängen von Photovoltaikanlagen, der rasant wachsenden Zahl der Anlagen und dem zunehmenden Alter vieler Anlagen dürfte der Bedarf nach einer *zusätzlichen Sicherheitseinrichtung zunehmen* (analog den Fehlerstromautomaten in der Wechselstromtechnik), die gefährliche Brände auf der DC-Seite von PV-Anlagen verhindert.

### **Idee zum Bau eines Lichtbogendetektors**

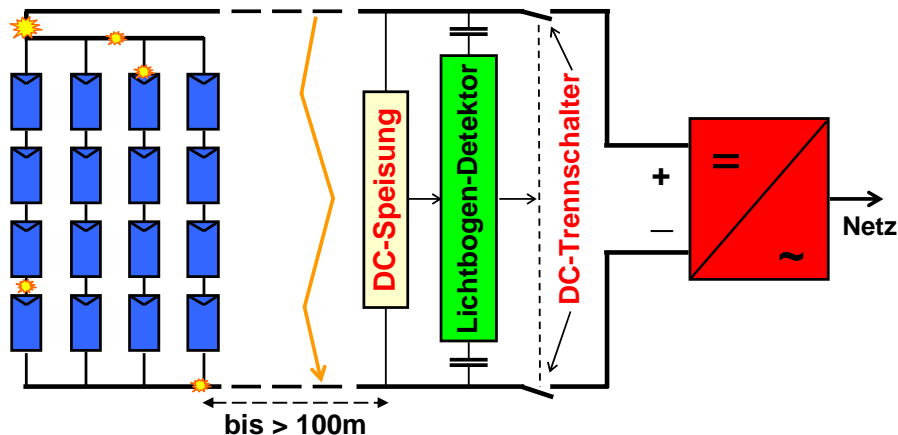
Bereits 1992 hatte die Alpha Real AG die Idee, einen Lichtbogendetektor (LBD) zu entwickeln, der auf die von einem Lichtbogen erzeugten elektromagnetischen Störungen reagiert, und baute auch einen ganz einfachen Prototyp in Form eines umgebauten AM-Radios. Allerdings war dieses Gerät nicht für den praktischen Einsatz in einer PV-Anlage geeignet. Sie gelangte daraufhin an das Photovoltaiklabor der damaligen Ingenieurschule Burgdorf (heute Teil der BFH), das in den Jahren 1993 und 1994 zunächst im Rahmen einer Semester- und Diplomarbeit erste Entwicklungsarbeiten zum Bau eines auf Distanz wirksamen Lichtbogendetektors durchführte.

Da die ersten Ergebnisse zwar Erfolg versprechend waren, der erforderliche technische Aufwand aber doch grösser war als zunächst angenommen, wurde im Rahmen eines ersten, von Alpha Real AG beim NEFF (nationaler Energieforschungsfonds) beantragten und von diesem finanzierten Projektes vom PV-Labor ein Prototyp eines LBDs entwickelt. Das verwendete Detektionsprinzip eignet sich grundsätzlich auch für AC-Lichtbögen. Diese Entwicklung wurde 1995 mit dem Preis Technologiestandort Schweiz ausgezeichnet.

In den Jahren 1996 bis 1998 wurden im Rahmen eines zweiten Projektes (EU-Projekt im Rahmen des Forschungsprogramms JOULE) wiederum in Zusammenarbeit mit der Alpha Real AG am PV-Labor der BFH in Burgdorf je sechs verbesserte Lichtbogendetektoren (LBDs) für niedrige (55 V bis 140 V) und hohe (400 V bis 600 V) Betriebsspannungen entwickelt. Diese wurden zusammen mit den ausländischen Projektpartnern (FhG/ISE, ANIT, ENEL) unter anderem auch an grossen PV-Anlagen in der Schweiz, Deutschland, Italien und den USA erfolgreich getestet. Zudem wurde ein Vorschaltgerät für den Betrieb an DC-Spannungen bis 1000 V entwickelt. Die Lichtbogendetektoren benötigten dabei keine zusätzliche Speisung, sondern sie waren dadurch autonom und versorgten sich selbst ab dem PV-Generator. Man konnte so bei Bedarf bei schlecht entstörten Wechselrichtern zwar Zusatzfilter zwischen Wechselrichter und LBD einbauen, aber es war ein sehr teurerer gleichstromtauglicher elektromechanischer Schalter erforderlich.

Für den entwickelten Lichtbogendetektor wurde 1994 auch eine Patentanmeldung eingereicht. Das Patent wurde aber wegen dem damals noch fehlenden Interesse aus der noch jungen PV-Industrie nicht mehr weiter verfolgt.

### Aufbau und Eigenschaften der in den 90-er Jahren entwickelten Lichtbogendetektoren und Ergebnisse der damaligen Feldtests



**Bild 3: Prinzip des Lichtbogendetektors (LBD).**

Beim Auftreten eines Serie-Lichtbogens entsteht im LBD in einer Kombination von zwei Resonanzkreisen ein HF-Signal, das nach gewissen Kontrollen zur Vermeidung von Fehlauflösungen die DC-Seite des Wechselrichters freischaltet. Bei einem autonomen LBD muss sich dieser selbst von der PV-Anlage speisen und einen teuren, elektrisch auslösbaren DC-Schalter enthalten. Beim Einbau in einen Wechselrichter entfallen die rot beschrifteten Elemente. Der LBD kann in der Regel auch die (viel selteneren) Parallel-Lichtbögen zwischen + und – erkennen.

Bild 3 zeigt das Prinzip und die Art des Einbaus des Lichtbogendetektors in eine Photovoltaikanlage. Es konnte nachgewiesen werden, dass LBDs *Lichtbögen über Distanzen von 100 m bis 200 m* detektieren können, wenn die übrigen angeschlossenen Geräte (z.B. Wechselrichter) nicht allzu starke hochfrequente Störspannungen an den Anschlussleitungen aufweisen, wie dies heute von Normen vorgeschrieben wird. Viele der damals verwendeten Wechselrichter hatten jedoch auf der DC-Seite noch zu grosse HF-Störspannungen, was beim Einsatz des LBDs Eingriffe in die Anlage und den Einbau zusätzlicher Filter am DC-Eingang des Wechselrichters erforderte. Bei einigen Wechselrichtern traten auch beim Aufstarten gelegentliche Fehldetektionen auf.

Das teuerste Element in einem autonomen LBD ist der notwendige DC-taugliche Schalter, der im Störfall den PV-Kreis auf Grund eines Steuersignals der Elektronik unterbrechen muss (siehe Bild 3).

### **Ideen zur Verbesserung und Weiterentwicklung**

Bei den ausgedehnten Feldtests mit autonomen LBDs traten gelegentlich auch Fehldetektionen beim Ein- und Ausschalten der Wechselrichter auf, die gelegentlich zu unerwünschten Abschaltungen führten, was natürlich nicht akzeptabel ist. Deshalb wurde zusätzlich eine intelligente Detektionseinheit (IDE) entwickelt, die das vom LBD stammende Signal vor der Auslösung eines Abschaltbefehls genauer analysiert und auch zwischen Serie- und Parallellichtbögen unterscheidet, die unterschiedliche Gegenmassnahmen erfordern (siehe Bild 4).

Eine wichtige Konsequenz war auch die Erkenntnis, dass es zweckmässig wäre, einen solchen LBD nicht als separates Gerät, sondern als *Teil des Wechselrichters* einzusetzen, der sich bei Bedarf einfach abschalten kann. Im Wechselrichter ist auch bekannt, wann das Gerät aufstartet, so dass während dieser Phase Signale von vermeintlich detektierten Lichtbögen ignoriert werden können. Im Wechselrichter ist auch bereits eine Speisung für die Elektronik vorhanden, was weitere Kosten spart. Allerdings fehlte damals mangels entsprechender Schadenfälle der Markt für ein solches Zusatzgerät oder eine entsprechende Wechselrichter-Option. Ohne einschlägige zwingende Vorschrift baut eben kaum jemand ein Element in einen Wechselrichter oder eine PV-Anlage ein, das in einem selten vorkommenden Störfall nützlich sein mag, aber zunächst nur zusätzliche Kosten verursacht (aktuelles Beispiel: DC-Trennschalter auf der DC-Seite von netzgekoppelten PV-Anlagen!).

### **Möglicher Einsatz von Lichtbogendetektoren heute**

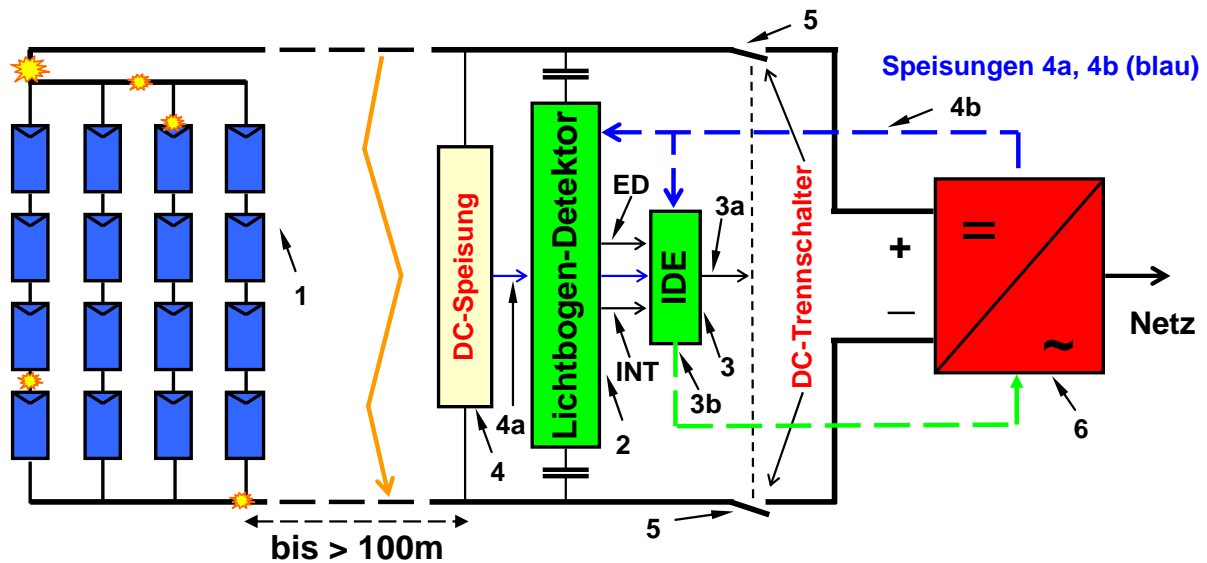
Bei den im Photon 8/2006 beschriebenen Schadenfällen (Schwelbrände in Anschlussdosen von BP-Modulen) [4] dürften diese Brände ziemlich sicher von einem Lichtbogen verursacht worden sein. Derartige Lichtbögen wären von einem LBD mit grosser Wahrscheinlichkeit entdeckt und die Anlage durch DC-seitige Abschaltung in einen sicheren Zustand übergeführt worden. Das Problem dürfte sich längerfristig aber nicht nur auf die ins Schlaglicht geratenen BP-Module beschränken. Bereits heute sind in PV Anlagen weltweit rund 5 Milliarden DC Kontakte in Betrieb, die täglich mit DC Strom belastet sind. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein kleiner Prozentsatz dieser Kontakte seinen Widerstandswert im Laufe der erwarteten 30 bis 40 Jahren Lebensdauer so weit erhöht, dass sich der Kontakt bei der täglichen Strombelastung

erwärmt, steigt linear mit der Anzahl installierten Anlagen und wahrscheinlich überproportional mit dem Alter der installierten Anlagen. Dabei ist der Schadensverlauf fast vorprogrammiert: der Widerstand im Kontakt erhöht sich, worauf sich der Kontakt bei Belastung erwärmt. Was wiederum zu einer Erhöhung des Widerstandes führt, die eine weitere Erwärmung des Kontaktes bewirkt. Bis der Kontakt sich so stark erhitzt hat, dass der Kontakt sich löst, was fast immer unter einer mehr oder weniger starken Lichtbogenbildung erfolgt. Wegen des involvierten Gleichstroms ist dieser Lichtbogen auch bei kleinen Leistungen sehr intensiv und oft in der Lage, umgebendes Material zu entzünden. In der Regel sind diese kleinen Fehler mit keinem grösseren Brand verbunden, aber jeder solcher Fehler kann potenziell zu einem folgenschweren Brand führen.

Ähnliche Vorfälle in anderen Produkten und Anlagen wurden weltweit registriert. So z.B. auch im April 2006 in einer 11 Jahre alten PV-Anlage von ca. 15 kW, die vom PV-Labor der BFH überwacht wird (siehe Bilder 1 und 2). Den Spuren nach dürfte der Schwelbrand durch eine nicht ganz perfekte Lötstelle auf dem Print des Anschlusskastens ausgelöst worden sein, die zunächst im Laufe der Jahre allmählich ihren Widerstand erhöht hat und schliesslich in einem Lichtbogen durchgeschmolzen ist. Auch hier hätte ein LBD die Anlage sicher freigeschaltet. Auch in zwei weiteren älteren Anlagen in Burgdorf mit Betriebsspannungen um 100 V sind bereits kleinere Schäden (verschmorte Klemmen) aufgetreten.

Erfreulicherweise hat sich inzwischen bezüglich EMV-Normen einiges getan. Auch für die DC-Seite von PV-Wechselrichtern sind nun Grenzwerte für die HF-Störspannungen vorhanden (z.B. EN61000-6-3), so dass bei gut entstörten Geräten keine zusätzlichen Filter mehr nötig sind. Zudem verfügen nun praktisch alle Wechselrichter über eine Steuerung durch einen Mikroprozessor oder Mikro-Kontroller, die meist nicht voll ausgelastet sind und somit durch eine entsprechende Softwareerweiterung gewisse zusätzliche Aufgaben für die sichere Detektion eines Lichtbogens übernehmen können, so dass unter Umständen ein mehr oder weniger grosser Teil der Detektionshardware eingespart werden kann und gleichzeitig verfeinerte Detektionsmethoden möglich sind. Die Wechselrichtersteuerung weiss zudem genau, wann das Gerät ein- oder ausschaltet und kann somit in dieser Phase irrtümlich generierte Lichtbogensignale einfach ignorieren.

## Aufbau und Funktionsprinzip eines verbesserten Lichtbogen-Detektors



**Bild 4:** Blockschema eines verbesserten Lichtbogendetektors (LBD) zur sicheren Fern-detektion und Abschaltung gefährlicher Lichtbögen auf der DC-Seite von PV-Anlagen. Bei in Wechselrichtern integrierten LBDs entfallen (4) und (5).

Der Lichtbogendetektor dient primär zum Schutz des Solargenerators und der DC-Verkabelung einer PV-Anlage (1) vor gefährlichen Seriellichtbögen in Modulen und Verkabelung und vor dadurch ausgelösten Bränden von benachbarten Objekten (z.B. Gebäudedach). Einige mögliche Orte für derartige Lichtbögen sind im obigen Blockschema Bild 4 eingezeichnet. Ein LBD kann nicht nur Lichtbögen in der DC-Hauptleitung, sondern auch in einzelnen Strängen erkennen. Der eigentliche Lichtbogendetektor (2) detektiert mit Resonanzkreisen die vom Lichtbogen erzeugten hochfrequenten Schwingungen in der Anlage. Gegenüber Bild 3 ist die intelligente Detektionseinheit IDE (3) neu. Sie analysiert die vom Lichtbogendetektor erzeugten Signale weiter und erzeugt nur dann ein Ausgangssignal, wenn auf der DC-Seite wirklich ein gefährlicher Lichtbogen vorhanden ist und kann zwischen Serie- und Parallellichtbögen unterscheiden. Nur bei einem autonomen LBD sind zusätzlich eine DC-Speisung (4) und zur Löschung eines Seriellichtbogens ein Schalter (5) erforderlich. Von den in Bild 4 gezeigten Elementen sind bei Integration des LBD in einen Wechselrichter (6) nur die grünen Elemente (2) und (3) erforderlich, die Elemente (4) und (5) entfallen. Auch die Detektion von Parallellichtbögen zwischen + und - (langer Blitz) ist möglich. Um ihn zu löschen wäre zusätzlich ein (in Bild 4 nicht gezeigter) Kurzschlusschalter erforderlich.

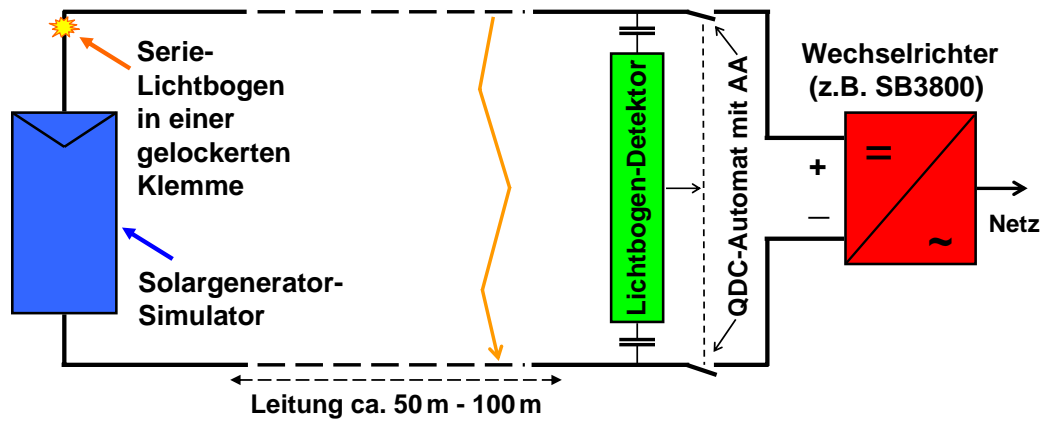
Die intelligente Dektektionseinheit IDE (3) kann sowohl hardwaremässig als auch softwaremässig durch häufiges Abtasten der Ausgangssignale von (2) durch die Wechselrichtersteuerung realisiert werden. Ferner sind auch Mischformen möglich, bei denen ein mehr oder weniger grosser Teil der IDE hardwaremässig realisiert wird, dafür aber die erforderliche Abtastrate der Wechselrichtersteuerung wesentlich kleiner wird, so dass der Prozessor entlastet wird. Neben der Einsparung der teuersten Komponenten (4) und (5) ermöglicht eine Integration des LBD in den Wechselrichter auch wesentlich raffiniertere und sicherere Detektionsverfahren. Auch ein Kurzschluss des Eingangskreises zur Löschung eines Parallellichtbogens wäre durch eine entsprechende Ansteuerung der Leistungselektronik des Wechselrichters wahrscheinlich in vielen Fällen ohne Mehrkosten realisierbar.

Obwohl die weitere Entwicklung des Lichtbogendetektors mangels Geld und Interesse von Seiten der Industrie Ende 1998 im Wesentlichen eingestellt wurde, konnten einige noch vorhandene LBDs mit der neuen IDE ausgerüstet und im Herbst 2006 mit modernen Wechselrichtern führender Hersteller erfolgreich getestet werden.

Für diese neuen Ideen und die IDE wurde im Herbst 2006 ein neuer Patentantrag eingereicht, primär um zu verhindern, dass eine Firma diese Idee für sich allein patentiert und damit die Integration in Wechselrichtern anderer Hersteller behindert. Die Realisierung eines in Wechselrichter eingebauten und dadurch sehr kostengünstigen Lichtbogendetektors kann jedoch nur in Zusammenarbeit mit Wechselrichterherstellern realisiert werden. Das technische Know-How und ausführliche Berichte über alle früheren Tests und Entwicklungen sind am PV-Labor der BFH vorhanden, wo auch funktionierende LBDs demonstriert werden können.

Der Lichtbogendetektor funktioniert nicht nur bei Speisung ab echten Solargeneratoren, sondern für Tests im Labor auch bei Speisung ab einem genügend entstörten Solargenerator-Simulator. Bild 5 zeigt den Versuchsaufbau für derartige Labortests. Er stellt ein Modell einer PV-Anlage mit einem unmittelbar beim Wechselrichter angeordneten LBD dar, allerdings noch mit einem autonomen LBD mit einem separaten DC-Sicherungsautomaten (QDC) mit Arbeitsstromauslöser als Schalter. Die DC-Anspeisung beim Solargenerator-Simulator erfolgt über eine Klemme (Bild 6), die zur Erzeugung eines Lichtbogens gelockert werden kann (Bild 7).

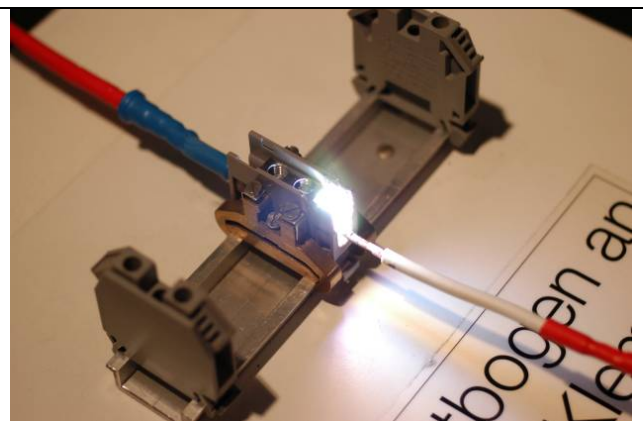




**Bild 5:** Versuchsaufbau zum Test der verbesserten Lichtbogendetektoren (LBD) im Labor. Nach der Erkennung eines Serie-Lichtbogens in der gelockerten Klemme wird dieser mit einem mehrpoligen QDC-Sicherungsautomaten mit Arbeitsstromauslöser ausgeschaltet.



**Bild 6:** Der Plus-Anschluss der ca. 50 m langen Leitung zum LBD und Wechselrichter wird unmittelbar beim Solargenerator-Simulator über eine Klemme geführt. Bei gelockerten Klemmen und fehlendem LBD können gefährliche Lichtbögen (Bild 7) entstehen.



**Bild 7:** Bei gelockelter Klemme entsteht ein Lichtbogen, der vom Lichtbogendetektor sofort detektiert und abgeschaltet wird. **Hinweis:** Um für dieses Bild einen schönen langen Lichtbogen zeigen zu können, wurde der LBD temporär deaktiviert!

Der LBD, der für diese im Herbst 2006 durchgeführten Versuche verwendet wurde, ist aus noch vorhandenen Teilen früherer Projekte aufgebaut (siehe Bild 8).

Es wurden Tests mit einigen Wechselrichtern verschiedener Hersteller, unter anderem von SMA, Fronius, Sputnik, KACO und ASP durchgeführt. Da alle diese Geräte auf der DC-Seite genügend entstört sind, funktionierte der LBD mit ihnen einwandfrei. Eine Integration in diese Geräte wäre somit ohne weiteres möglich.

**Bild 8:**

Der LBD mit IDE, der für diese im Herbst 2006 durchgeführten Versuche verwendet wurde, ist zur Verringerung des Aufwandes aus noch vorhandenen Teilen früherer Projekte aufgebaut. Es sind darin viele Teile enthalten, die für einen im Wechselrichter integrierten LBD nicht nötig wären. Die Auslösung des QDC-Automaten erfolgt hier über einen Hilfsstromkreis über das unten eingefügte Relais.

## Mehr Sicherheit in PV-Anlagen dank Lichtbogen-Detektoren

Der beschriebene, im Prinzip bereits entwickelte und im Feld getestete Lichtbogen-detektor könnte als zusätzliches Sicherheitselement dazu dienen, künftige Photovoltaikanlagen noch sicherer zu machen. Er ist imstande, Lichtbögen bereits in der Entstehungsphase zu detektieren und die Anlage freizuschalten. Ein solcher im Wechselrichter integrierter LBD kann relativ einfach realisiert werden, denn moderne Wechselrichter sind auch auf der DC-Seite bereits genügend entstört, eine Elektronikspeisung ist ohnehin vorhanden und ein in das Gerät integrierter LBD merkt leicht, wann der Wechselrichter aufstartet, was eine zusätzliche Sicherheit gegen allfällige Fehldetektionen darstellt. Bei genügender Stückzahl könnte ein in einen Wechselrichter integrierter Lichtbogendetektor vermutlich für etwa 10 Euro realisiert werden. Allerdings wäre jeweils noch ein gewisser Entwicklungs- und Integrationsaufwand notwendig, bis das Gerät in einem bestimmten Wechselrichter zuverlässig laufen würde.

In den kommenden Jahren werden allein in Deutschland hunderttausende von PV-Anlagen mit vielen 10 Millionen externen und Milliarden modulinternen Kontakten im Betrieb sein, von denen auch bei höchster Fertigungs- und Installationsqualität im Laufe der Jahre sicher ab und zu einige Verbindungen unter Bildung (brand-) gefährlicher Lichtbögen defekt gehen werden. Ein in jeden Wechselrichter eingebauter LBD wäre eine zusätzliche Sicherheit gegen dadurch bedingte Schäden. Wenn in Zukunft wegen solcher Lichtbögen ab und zu Brände in mit PV-Anlagen ausgerüsteten Gebäuden entstehen sollten und dies in der Stromwirtschaft, der Politik und den Medien bekannt wird, könnte dies nicht nur die betroffene Firma oder den Installateur, sondern der ganzen PV-Branche schaden. Jedenfalls zeigt die einfache Abschätzung, dass der Nutzen für diese Zusatzsicherung die geringen Produktionskosten bei weitem übertreffen werden. Die Autoren sind der Auffassung, dass aus heutiger Sicht keine andere Massnahme so einfach die Entstehung von

lichtbogeninduzierten Bränden verhindern kann wie der vorgestellte Lichtbogen-detektor. In der Tat ist gar keine andere Lösung in Sicht, ausser dem Prinzip Hoffnung, dass all die installierten Milliarden Kontakte im Felde über die volle Lebensdauer (30 - 40 Jahre!) hinaus nie ihren Widerstandswert so weit ändern, dass sie sich übermässig erwärmen könnten. Weil in diesem Falle nämlich die Gefahr eines Lichtbogens akut wird, und damit die mögliche Ursache für einen Brand.

*Mindestens für dachintegrierte PV-Anlagen auf Holzbalken* wären im Wechselrichter eingebaute *Lichtbogendetektoren als zusätzliches Sicherheitselement* (z.B. analog zum Fehlerstromautomaten bei gewissen elektrischen Installationen) eine wesentliche Verbesserung der langfristigen Sicherheit solcher Anlagen.

Es wurden im Herbst 2006 bereits verschiedene erste Gespräche mit Wechselrichterherstellern geführt. Das Gerät wurde in unserem PV-Labor auch bereits einigen Vertretern von Wechselrichterherstellern vorgeführt. Dabei wurden vereinzelt gewisse Bedenken nichttechnischer Art gegen den Einbau von LBD geäussert:

1. Wie ist ein LBD im Markt zu bewerben, ohne unnötig Angst vor PV zu vermitteln?
2. Haftet ein Wechselrichter beim Nichtfunktionieren eines LBD für Schäden?
3. Warum soll sich ein Wechselrichterhersteller überhaupt bemühen, Probleme an andern Teilen der PV-Anlage zu lösen?

Zu Punkt 1 ist zu bemerken, dass ein Lichtbogendetektor primär als zusätzliches Sicherheitselement zu bewerben und zu vermarkten ist. Auf Grund von normativen Vorgaben wird ja bei traflosen Wechselrichtern auf der DC-Seite bereits eine im Gerät integrierte adaptive Fehlerstromüberwachung und ein DC-Freischalter verlangt, die im Fehlerfall zusätzliche Sicherheit vermitteln und im Normalbetrieb nicht notwendig wären. Ein LBD könnte somit in diesem Rahmen gesehen werden und etwa als zusätzlicher Bestandteil einer "Integrierten PV-Generator-Sicherheitsüberwachung" beworben werden, ohne den Namen LBD explizit zu erwähnen.

Zu Punkt 2 ist zu bemerken, dass zusätzliche Sicherheitselemente Schäden, die nach langer Zeit durch eine andere, primäre Ursache entstehen, nicht immer verhindern, sondern die Wahrscheinlichkeit ihres Eintritts und ggf. ihre Schwere reduzieren können. Beispielsweise haftet der Hersteller eines Fehlerstromautomaten nicht für die Folgen eines trotzdem entstehenden Elektrounfalls.

Zu Punkt 3 muss nochmals betont werden, dass bei in Zukunft häufiger auftretenden Lichtbögen in PV-Anlagen längerfristig die ganze PV-Branche in Schwierigkeiten kommen könnte. Im Wechselrichter ist das Problem durch Einbau eines LBDs am

einfachsten und sichersten lösbar. Heute werden ja zum Teil bereits Erdschlussüberwachungen in Wechselrichtern eingebaut, auch wenn diese Erdschlüsse meist in der Anlage und nicht im WR auftreten.

Zur Nachrüstung bestehender Anlagen mit genügend entstörten Wechselrichtern könnten bei Bedarf auch autonome Lichtbogendetektoren gebaut werden, die allerdings deutlich teurer als in Wechselrichter integrierte LBDs wären.

Nach Auskunft des Instituts für geistiges Eigentum (IGE) in der Schweiz ist die im ursprünglichen Patentantrag aus den Jahren 1994/1995 enthaltene Information inzwischen frei verfügbar. Allerdings enthält der Antrag viele der erst in den späteren Feldtests und in jüngster Zeit erworbenen Erkenntnisse noch nicht, die ebenfalls zum Patent angemeldet wurden. Dieses Verfahren läuft zurzeit. Interessierte Firmen könnten deshalb durch eine Zusammenarbeit mit dem PV-Labor der BFH wesentliche Entwicklungskosten sparen und schneller auf dem Markt auftreten. Bei genügendem Interesse wäre auch eine Tagung in Burgdorf für Ingenieure von interessierten Herstellern (am besten je ein Spezialist für die Hardware- und Software des Wechselrichters) denkbar, an der Aufbau und Funktionsprinzip des Lichtbogendetektors näher erläutert würden, so dass eine bessere Abschätzung des für die Integration eines LBD in die betreffenden Wechselrichter nötigen Aufwands möglich würde.

## Literatur

- [1] Eidg. Starkstrominspektorat: "Grossbrand durch Photovoltaikanlage". SEV/VSE-Bulletin 9/94, S. 79.
- [2] M. Real und H. Häberlin: "Improved Safety of PV against Fire using a novel Arc Detector". Proc. 13th EU PV Conf., Nice, France, 1995.
- [3] R. Schmid, M. Real, H. Häberlin, H. Laukamp, U. Moschella, F. Toninelli: "Improved PV System Safety using a Novel Arc Detector". Proc. 14th EU PV Conf., Barcelona, Spain, 1997.
- [4] A. Schlumberger, A. Kreuzmann: "Brennendes Problem – Schadhafte BP-Module können Feuer entfachen". Photon 8/2006, S.104 - 106.

Informationen über weitere Aktivitäten des Photovoltaik-Labors der BFH in Burgdorf und viele weitere Publikationen (teilweise online) sind unter <http://www.pvtest.ch> zu finden.