

Tests an Lichtbogendetektoren nach UL 1699B



Dipl. El.-Ing. HTL, Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Berner Fachhochschule, Technik und Informatik (BFH-TI)
Abteilung Elektrotechnik
Photovoltaiklabor
Jlcoweg 1
CH-3400 Burgdorf, SCHWEIZ
Tel: +41 34 426 6887, Fax: +41 34 426 6813,
e-Mail: luciano.borgna@bfh.ch
Internet: www.pvtest.ch

- Einige Bemerkungen über die Norm UL 1699B
- Vorgesehene Tests der Norm UL 1699B
- Durchgeführte Tests
- Einfluss des Messaufbaus auf den Lichtbogen
- Testvarianten
- Testparameter nach UL 1699B
- Geprüfte Geräte
- Messergebnisse

Einige Bemerkungen über die die Norm UL-1699B:

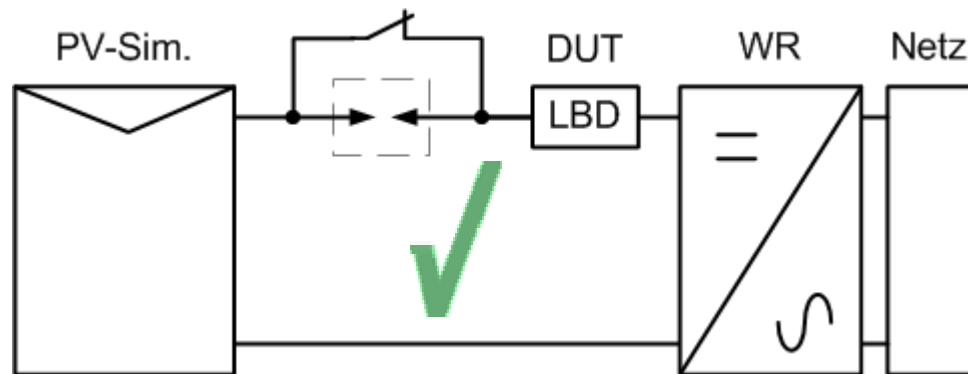
- Die Norm ist für einen anhaltenden Lichtbogen gedacht.
- Definiert die Eigenschaften von:
 - A.) Lichtbogen Unterbrecher (LBU)
 - B.) Lichtbogen Detektoren (LBD)
 - C.) Unterbrechungskomponenten (UK)
 - D.) Wechselrichter, Wandler und Laderegler mit integriertem LBD
- Ist nicht zur Detektion von überhitzten Kontaktstellen gedacht
- Behandelt serielle und parallele Lichtbögen:
 - Typ 1 Geräte zur Detektion serieller Lichtbögen
 - Typ 2 Geräte zur Detektion serieller und paralleler Lichtbögen

Vorgesehene Tests der Norm UL 1699B:

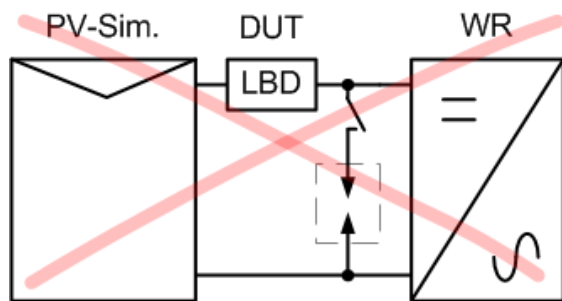
- Immunität gegen elektromagnetische Störungen (EMV)
- Überlast
- Dauerlast
- Kurzschluss
- Korrosion
- Isolationsfestigkeit
- Lichtbogendetektion: ✓
 - A.) Serie-Lichtbogen
 - Bei ohmscher Last
 - Belastung durch Wechselrichter
 - B.) Parallel-Lichtbogen während normalem Betrieb mit einem Wechselrichter

Durchgeführte Tests:

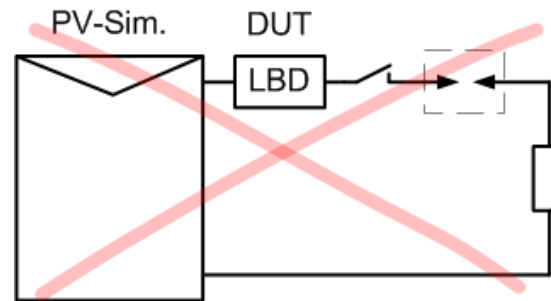
- Erkennung von Serie-Lichtbögen beim Betrieb der PV-Anlage an einem Wechselrichter



- ~~Parallel-Lichtbogen~~



- Serie-Lichtbogen bei ohmscher Last



T-Umgebung:

~~-35°C~~

25°C ✓

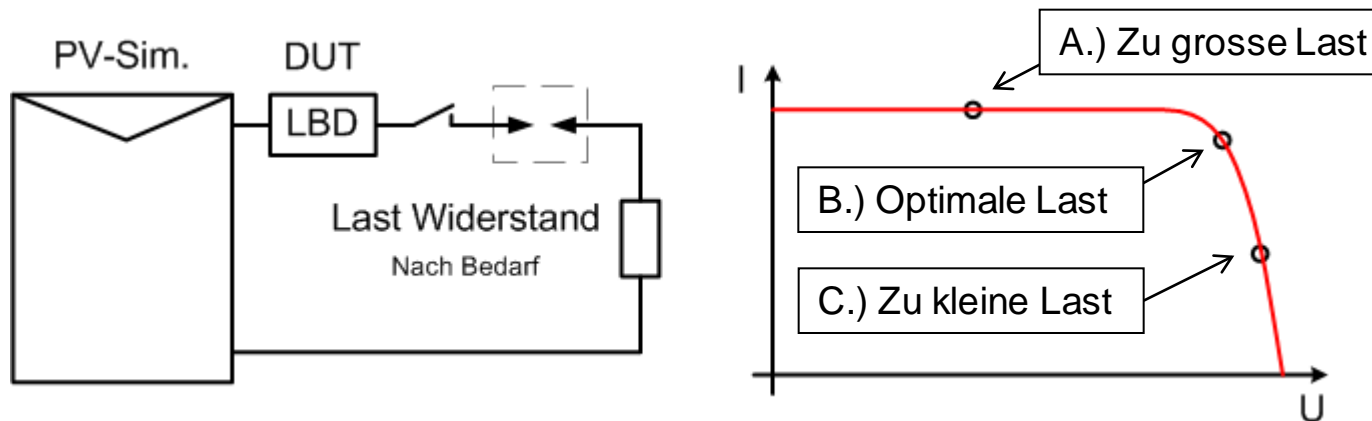
~~40°C~~

und

~~66°C~~

Einfluss des Messaufbaus auf den Lichtbogen:

Serie-Lichtbogen mit ohmscher Last



Fall A) Einfluss der Stromquellencharakteristik des Moduls

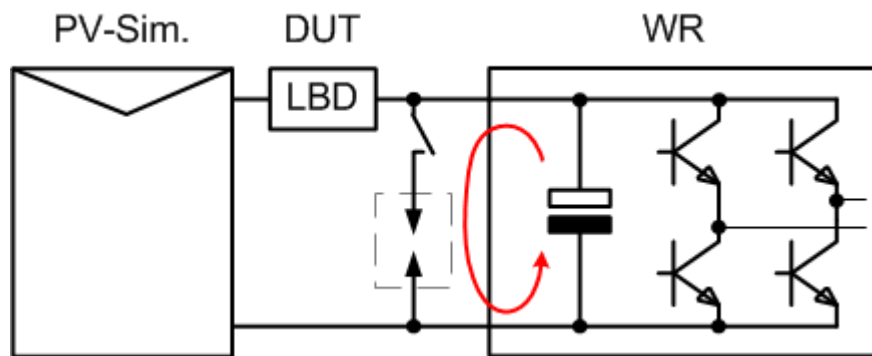
- Hohe modulseitige hochfrequente Spannungen
- Niedrige lastseitige hochfrequente Spannungen
- Niedrige Hochfrequente Ströme

Fälle B und C) Einfluss der Spannungsquellencharakteristik des Moduls

- Mittlere modulseitige hochfrequente Spannungen
- Hohe lastseitige hochfrequente Spannungen und Ströme

Einfluss des Messaufbaus auf den Lichtbogen:

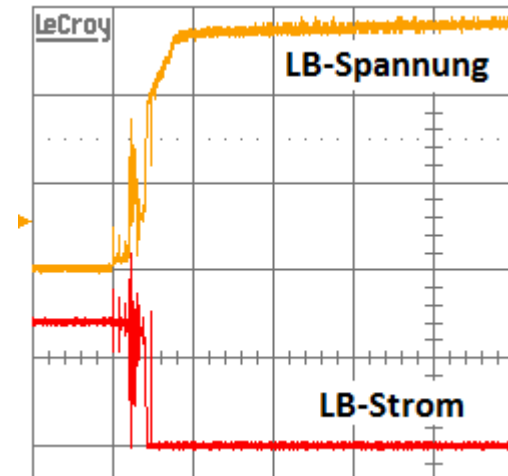
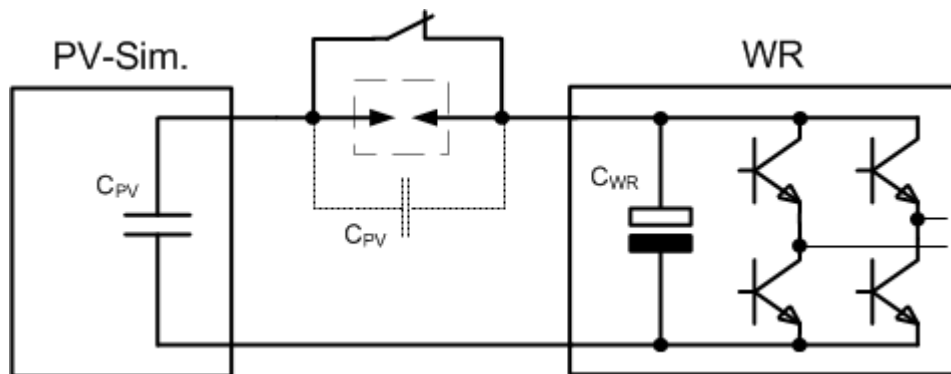
Parallel-Lichtbogen



- Beim Zünden des Lichtbogens werden die Kondensatoren im Wechselrichter schlagartig entladen. Dabei entsteht eine riesige Stromspitze, welche zur Beschädigung des Wechselrichters führen kann.
- Der Kondensator hemmt nach seiner Entladung das Weiterbrennen des Lichtbogens massiv, in der Regel verlöscht er nach einiger Zeit. Danach wird er vom PV-Generator wieder aufgeladen und zündet eventuell nochmals

Einfluss des Messaufbaus auf den Lichtbogen:

Solargenerator-Simulator ohne Serienwiderstand



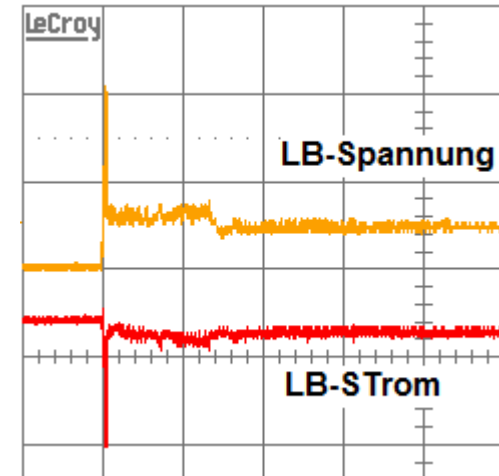
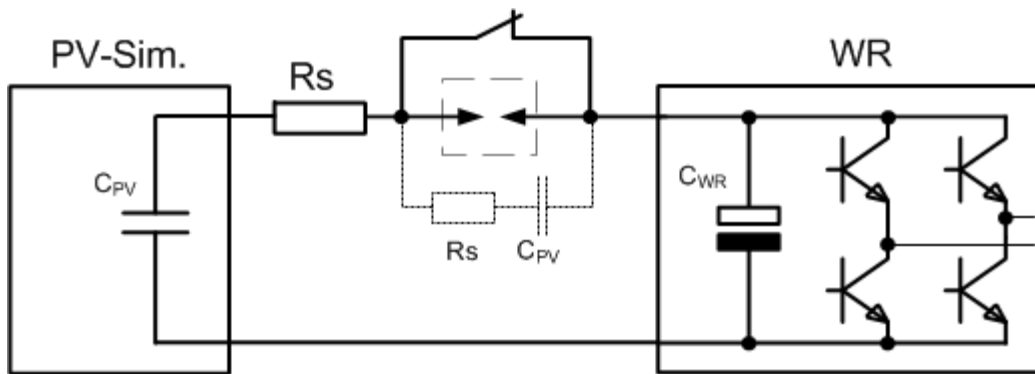
Die Ausgangskapazität des Simulators und die Eingangskapazität des Wechselrichters C_S bilden eine gesamte Kapazität von:

$$C_{tot} = \frac{C_{PV} * C_{WR}}{C_{PV} + C_{WR}} \cong C_{PV}$$

Diese wirkt wie eine, zur Lichtbogenstrecke, parallel geschaltete Kapazität und hemmt die Lichtbogenbildung

Einfluss des Messaufbaus auf den Lichtbogen:

Solargenerator-Simulator mit Serienwiderstand



Die Ausgangskapazität des Simulators, die Eingangskapazität des Wechselrichters und der Serienwiderstand R_S bilden eine Impedanz (Z_{Line})

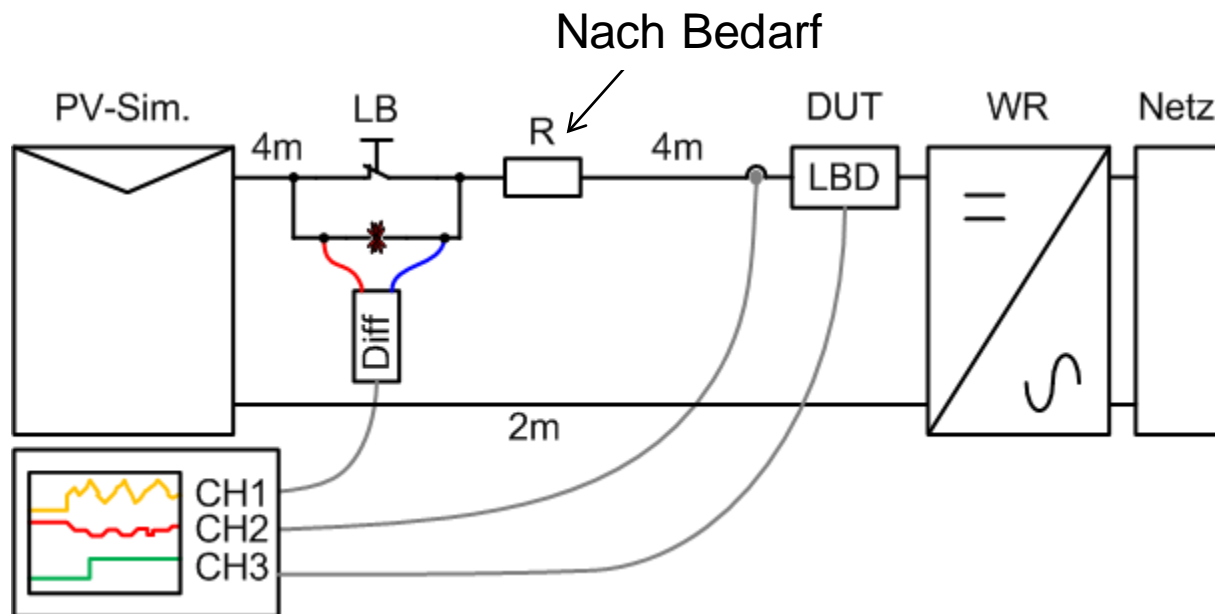
$$Z_{Line} = \frac{1}{j\omega * \frac{C_{PV} * C_{WR}}{C_{PV} + C_{WR}}} + R_S \cong \frac{1}{j\omega C_{PV}} + R_S$$

Der Serienwiderstand R_S ermöglicht eine schnelle Anpassung der Lichtbogen Spannung an die Schwankungen der Lichtbogenparameter und dient damit als Stabilisierungsglied.

In der Praxis tritt wegen der modulinternen Serieschaltung der Solarzellen und der Verkabelung der Module noch eine zusätzliche Serieinduktivität L_S von einigen $10\mu H$ auf.

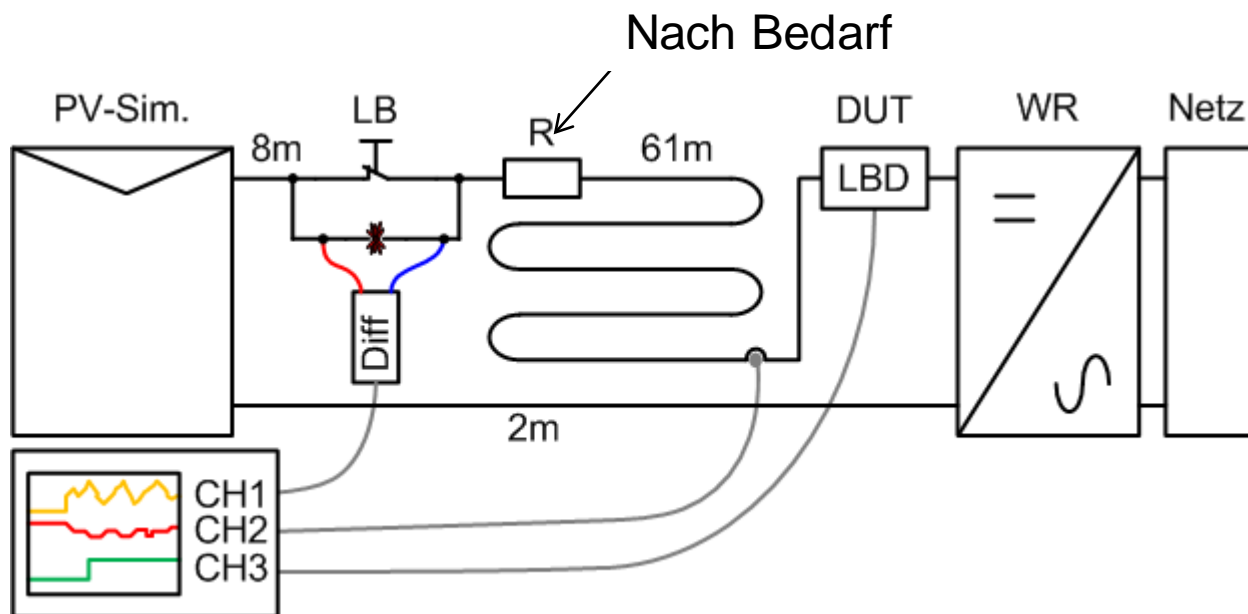
Testvarianten:

A) Test ohne Leitungsimpedanz (kurze Leitung)



Testvarianten:

B) Test mit Leitungsimpedanz (lange Leitung)



Testparameter nach UL 1699B:

- Von UL1699B vorgegebene Kenngrößen

LB-Strom [A] (+/- 20%)	LB-Spannung [V]	LB-Leistung Mittelwert [W] (+/- 10%)	Ungefährer Elektroden- abstand [mm]	Höchste Auslösezeit [s]
7	43	300	1.6	2
7	71	500	4.8	1.5
14	46	650	3.2	1.2
14	64	900	6.4	0.8

- Wechselrichter bedingte Kenngrößen (P_{max} berücksichtigt)

Mpp-Strom [A]	Mpp-Spannung [V]	Leerlauf Spannung [V]	Füllfaktor [%]	Serienwiderstand [Ohm]
7	395	490	75	4
7	395	490	75	4
14	280	355	75	2
14	280	355	75	2

Geprüfte Geräte:

Da wir nicht von allen Herstellern die Erlaubnis für die Publikation der Messergebnisse erhalten haben, werden hier sämtliche Geräte anonymisiert.

1. Prüfling 1
2. Prüfling 2
3. Prüfling 3
4. Prüfling 4

Geprüft wurden LBD sowie Umrichter mit integriertem LBD.

Messergebnisse: Prüfling 1

Kurze Leitung mit Widerstand

Impp [A]	Elektrodenabstand [mm]	Höchste zugelassene Reaktionszeit [s]	Auslösezeit Messung 1 [s]	Auslösezeit Messung 2 [s]	Auslösezeit Messung 3 [s]	Bestanden Ja - Nein
7	1.6	2	0.04	0.05		Ja
7	4.8	1.5	0.04	0.035		Ja
14	3.2	1.2	0.04	0.04		Ja
14	6.4	0.8	0.06	0.06		Ja

Lange Leitung mit Widerstand

Impp [A]	Elektrodenabstand [mm]	Höchste zugelassene Reaktionszeit [s]	Auslösezeit Messung 1 [s]	Auslösezeit Messung 2 [s]	Auslösezeit Messung 3 [s]	Bestanden Ja - Nein
7	1.6	2	0.06	0.09		Ja
7	4.8	1.5	0.04	0.02	0.06	Ja
14	3.2	1.2	0.08	0.09		Ja
14	6.4	0.8	0.09	0.1		Ja

Messergebnisse: Prüfling 1

Kurze Leitung ohne Widerstand

Impp [A]	Elektrodenabstand [mm]	Höchste zugelassene Reaktionszeit [s]	Auslösezeit Messung 1 [s]	Auslösezeit Messung 2 [s]	Auslösezeit Messung 3 [s]	Bestanden Ja - Nein
7	1.6	2	0.00	0.00	0.00	Nein
7	4.8	1.5	0.00	0.00	0.00	Nein
14	3.2	1.2	0.00	0.00	0.00	Nein
14	6.4	0.8	0.00	0.00	0.00	Nein

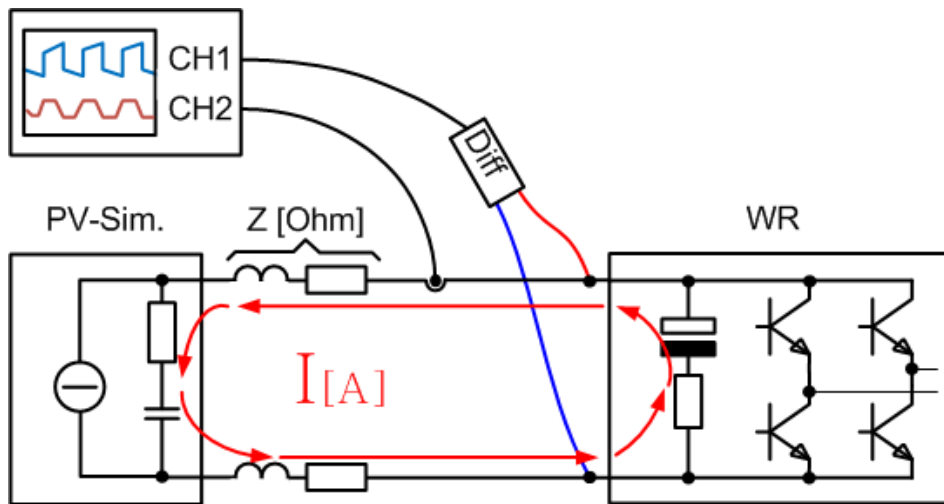
Permanenter Alarm!

Lange Leitung ohne Widerstand

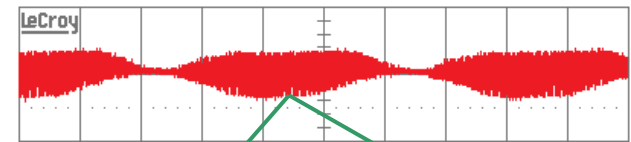
Impp [A]	Elektrodenabstand [mm]	Höchste zugelassene Reaktionszeit [s]	Auslösezeit Messung 1 [s]	Auslösezeit Messung 2 [s]	Auslösezeit Messung 3 [s]	Bestanden Ja - Nein
7	1.6	2	0.1	0.08		Ja
7	4.8	1.5	Nein	0.06		Nein
14	3.2	1.2	0.07	0.08		Ja
14	6.4	0.8	0.08	0.085		Ja

PWM Störungen vom Wechselrichter:

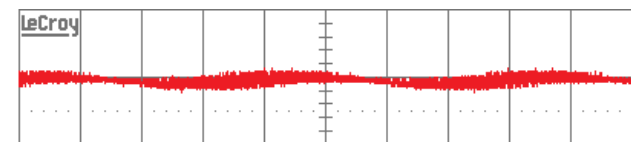
Hochfrequente Ersatzschaltung



10 Meter Leitung



60 Meter Leitung



Messergebnisse: Prüfling 2

Kurze Leitung mit Widerstand

Impp [A]	Elektrodenabstand [mm]	Höchste zugelassene Reaktionszeit [s]	Auslösezeit Messung 1 [s]	Auslösezeit Messung 2 [s]	Auslösezeit Messung 3 [s]	Bestanden Ja - Nein
7	1.6	2	0.14	0.09	0.07	Ja
7	4.8	1.5	1.64	Nein		Nein
14	3.2	1.2	0.08	0.2	0.07	Ja
14	6.4	0.8	0.08	0.08		Ja

Lange Leitung mit Widerstand

Impp [A]	Elektrodenabstand [mm]	Höchste zugelassene Reaktionszeit [s]	Auslösezeit Messung 1 [s]	Auslösezeit Messung 2 [s]	Auslösezeit Messung 3 [s]	Bestanden Ja - Nein
7	1.6	2	Nein	Nein	Nein, Nein	Nein
7	4.8	1.5	0.08	Nein, Nein	0.07, 0.08	Nein
14	3.2	1.2	0.07	0.08		Ja
14	6.4	0.8	0.08	0.075		Ja

Messergebnisse: Prüfling 2

Kurze Leitung ohne Widerstand

Impp [A]	Elektrodenabstand [mm]	Höchste zugelassene Reaktionszeit [s]	Auslösezeit Messung 1 [s]	Auslösezeit Messung 2 [s]	Auslösezeit Messung 3 [s]	Bestanden Ja - Nein
7	1.6	2	0.05	0.055		Ja
7	4.8	1.5				
14	3.2	1.2	0.04	0.08		Ja
14	6.4	0.8				

Lange Leitung ohne Widerstand

Impp [A]	Elektrodenabstand [mm]	Höchste zugelassene Reaktionszeit [s]	Auslösezeit Messung 1 [s]	Auslösezeit Messung 2 [s]	Auslösezeit Messung 3 [s]	Bestanden Ja - Nein
7	1.6	2	0.07			Ja
7	4.8	1.5	0.07	0.08		Ja
14	3.2	1.2				
14	6.4	0.8				

Messergebnisse: Prüfling 3

Da die Zündung von Lichtbögen ohne Widerstand sehr mühsam ist, konnten aus Zeitgründen keine solchen Messungen mehr durchgeführt werden.

Kurze Leitung mit Widerstand

Imp _p [A]	Elektrodenabstand [mm]	Höchste zugelassene Reaktionszeit [s]	Auslösezeit Messung 1 [s]	Auslösezeit Messung 2 [s]	Auslösezeit Messung 3 [s]	Bestanden Ja - Nein
7	1.6	2	0.56	0.59		Ja
7	4.8	1.5	0.5	0.59		Ja
14	3.2	1.2	0.58	0.43		Ja
14	6.4	0.8	0.51	0.57		Ja

Lange Leitung mit Widerstand

Imp _p [A]	Elektrodenabstand [mm]	Höchste zugelassene Reaktionszeit [s]	Auslösezeit Messung 1 [s]	Auslösezeit Messung 2 [s]	Auslösezeit Messung 3 [s]	Bestanden Ja - Nein
7	1.6	2	0.65	0.63	0.67	Ja
7	4.8	1.5	0.62	0.52		Ja
14	3.2	1.2	0.58	0.58		Ja
14	6.4	0.8	0.6	0.55		Ja

Messergebnisse: Prüfling 4

Da die Zündung von Lichtbögen ohne Widerstand sehr mühsam ist, konnten aus Zeitgründen keine solchen Messungen mehr durchgeführt werden.

Kurze Leitung mit Widerstand

Impp [A]	Elektrodenabstand [mm]	Höchste zugelassene Reaktionszeit [s]	Auslösezeit Messung 1 [s]	Auslösezeit Messung 2 [s]	Auslösezeit Messung 3 [s]	Bestanden Ja - Nein
7	1.6	2	> 2			Nein
7	4.8	1.5				Ja
14	3.2	1.2	0.28	0.4		Ja
14	6.4	0.8	0.25	0.25	0.30	Ja

Lange Leitung mit Widerstand

Impp [A]	Elektrodenabstand [mm]	Höchste zugelassene Reaktionszeit [s]	Auslösezeit Messung 1 [s]	Auslösezeit Messung 2 [s]	Auslösezeit Messung 3 [s]	Bestanden Ja - Nein
7	1.6	2	>2	>2	>2	Nein
7	4.8	1.5	0.4	>1.5	0.35	Nein
14	3.2	1.2	>1.2	>1.2		Nein
14	6.4	0.8	>0.8	>0.8		Nein

Messergebnisse:

Schlussergebnisse:

DUT	Ja	Nein
Prüfling 1	Ja (17/17)	
Prüfling 2		Nein (16/23)
Prüfling 3	Ja (17/17)	
Prüfling 4		Nein (7/16)

Nur 50% Erfolgsquote!

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit