

# Ergebnisse der FMEA-Analyse zum Thema Brandrisiko in PV-Anlagen, 10.12.2012, Frankfurt

Beteiligte Komponente/ Ort	Potentielle Fehler	potentielle Ursachen	Ist-Zustand				Verbesserter Zustand								
			Auftrittswahrscheinlichkeit	Brandauslösungswahrscheinlichkeit (Bedeutung)	Entdeckungswahrscheinlichkeit	RPZ	mögliche Abstellmaßnahmen	Auftrittswahrscheinlichkeit	Brandauslösungswahrscheinlichkeit (Bedeutung)	Entdeckungswahrscheinlichkeit	RPZ	Kommentar			
DC-Stecker															
DC-Steckverbinder	Steckverbinder verschmort	Stecker nicht vollständig gesteckt	4	7	8	224	Schulung der Installateure	3	7	8	168				
							Stecker-Design: Rastnasen, Haptik, Farbbring etc.	2	7	7	98				
							Abnahmeprüfung (DIN 0126-23)	4	7	7	196				
							Abnahmeprüfung (erneuerte Methoden, z.B. IR)	4	7	6	168	Neue Messmethoden entwickeln			
							Regelmäßige Wiederholungsprüfung (DIN 0126-23)	4	7	7	196				
							Regelmäßige Wiederholungsprüfung (erneuerte Methode, z.B. IR)	4	7	5	140				
		Lichtbogen-Detektor	4	4	7	112	Wenn zuverlässige Funktion								
		Stecker mechanisch beschädigt oder korrodiert durch unsachgemäße Installation, Bewitterung, Tierfraß, Produktionsfehler	4	7	7	196	Schulung der Installateure	3	7	7	147				
							Abnahmeprüfung (DIN 0126-23)	4	7	7	196				
							Regelmäßige Wiederholungsprüfung (DIN 0126-23)	4	7	5	140				
							Lichtbogen-Detektor	4	4	6	96				
							Isolationsmessung	4	7	5	140				
QS-Maßnahmen beim Hersteller															
Abnahmeprüfung (visuell, IR, neue Messverfahren)															
Stecker <b>werksseitig</b> schlecht gecrimpt (auch innerhalb von Verteilern, Wechselrichtern etc.)	3	7	7	147											

Beteiligte Komponente/ Ort	Potentielle Fehler	potentielle Ursachen	Ist-Zustand				Verbesserter Zustand						
			Auftrittswahrscheinlichkeit	Brandauslösungswahrscheinlichkeit (Bedeutung)	Entdeckungswahrscheinlichkeit	RPZ	mögliche Abstellmaßnahmen	Auftrittswahrscheinlichkeit	Brandauslösungswahrscheinlichkeit (Bedeutung)	Entdeckungswahrscheinlichkeit	RPZ	Kommentar	
		Stecker <b>werkseitig</b> schlecht gecrimpt (auch innerhalb von Verteilern, Wechselrichtern etc.)	3	7	7	147	Regelmäßige Wiederholungsprüfung (visuell, IR, neue Messverfahren)						
			Lichtbogen-Detektor										
		Stecker <b>vor Ort</b> schlecht gecrimpt	7	7	7	343	Schulung der Installateure	4	7	7	196		
		Stecker <b>unterschiedlicher Hersteller</b> (Plagiate) kombiniert	7	7	9	441	Stecker-Design: Kontaktierung ohne Sonderwerkzeug	3	7	7	147		
							Regelmäßige Wiederholungsprüfung (DIN 0126-23)	7	7	5	245		
							Lichtbogen-Detektor	7	4	6	168		
							Schulung der Planer / Installateure	4	7	9	252		
							Einigung auf genormte, kompatible Stecker	1	7	9	63		
							Normativer Ausschluss von inkompatiblen Verbindungen	2	7	9	126		
<b>AC-Stecker</b>													
AC-Stecker	Stecker verschmort	Schraubkontakte unzureichend angezogen	3	6	5	90	Schulung der Installateure						
		Unzulässigerweise starre Leitung an nicht dafür geeignetem Stecker	5	5	4	100	Abnahmeprüfung (visuell, IR, neue Messverfahren)						
		Unzulässigerweise flexible Leitung ohne geeignete Aderendhülsen	5	4	7	140	Regelmäßige Wiederholungsprüfung (visuell, IR, neue Messverfahren)						
							Schulung der Installateure						
						Abnahmeprüfung (visuell, IR, neue Messverfahren)							
						Schulung der Installateure							



Beteiligte Komponente/ Ort	Potentielle Fehler	potentielle Ursachen	Ist-Zustand			RPZ	Verbesserter Zustand					
			Auftritts- wahrscheinlichkeit	Brandauslösungs- wahrscheinlichkeit (Bedeutung)	Entdeckungs- wahrscheinlichkeit		mögliche Abstellmaßnahmen	Auftritts- wahrscheinlichkeit	Brandauslösungs- wahrscheinlichkeit (Bedeutung)	Entdeckungs- wahrscheinlichkeit	RPZ	Kommentar
		Kabel-Isolation mit eingeklemmt	5	7	8	280	Erweiterte Abnahmeprüfung (mit Thermokamera)	5	7	4	140	
		Unsachgemäße Verarbeitung von Alu-Leitungen	7	8	6	336	Konstruktive Änderung an der Klemmleiste (Ausrichtung)	4	7	6	168	
Schraub- klemmen (AC)		Schraubkontakte unzureichend angezogen, Leitungen ungeeignet eingeführt	6	6	6	216	Schulung der Installateure	5	8	6	240	
							Abnahmeprüfung (DIN 0126-23)	7	8	5	280	
							Erweiterte Abnahmeprüfung (mit Thermokamera)	7	8	3	168	
							Abnahme durch Dritten (PV-Sachverständiger mit Aluwissen)	7	8	3	168	
							Lichtbogendetektor	7	7	6	294	große Querschnitte --> große Leistungen --> Folge Parallellichtbogen
							Schulung der Installateure, Drehmoment-schlüssel	4	6	6	144	
							Abnahmeprüfung (DIN 0126-23)	6	6	5	180	
							Abnahmeprüfung (verbessert, z.B. mit IR oder Messung Kontaktwiderstand)	6	6	3	108	
							Regelmäßige Wiederholungsprüfung (DIN 0126-23)	6	6	4	144	
							Regelmäßige Wiederholungsprüfung (verbessert, z.B. mit IR)	6	6	3	108	
							Bevorzugter Einsatz von Federzug-klemmen (wo möglich)	3	6	3	54	
							Konstruktive Änderungen am Generatoranschluss-kasten	5	6	4	120	z.B. einfachere, gerade Einführung von Leitungen
							Lichtbogen-Detektor					Lichtbogen bei Kupfer erst bei sehr hoher Temperatur, Effekt unklar

Beteiligte Komponente/ Ort	Potentielle Fehler	potentielle Ursachen	Ist-Zustand				RPZ	Verbesserter Zustand					
			Auftrittswahrscheinlichkeit	Brandauslösungswahrscheinlichkeit (Bedeutung)	Entdeckungswahrscheinlichkeit			mögliche Abstellmaßnahmen	Auftrittswahrscheinlichkeit	Brandauslösungswahrscheinlichkeit (Bedeutung)	Entdeckungswahrscheinlichkeit	RPZ	Kommentar
Schraub-Klemmen in Feldverteilern, Wechselrichtern (AC-Seite)	Klemmen verschmort	Unterdimensioniert, zu dicht gereiht (Umgebungstemperatur, Derating), keine Potentialtrennplatten etc.	5	7	7	245	Planung verbessern	3	7	7	147		
		Kabel-Isolation mit eingeklemmt	5	6	8	240	Abnahmeprüfung (DIN 0100-600)	5	7	5	175		
		Verbesserte Abnahmeprüfung (z.B. Widerstands-messung, IR)	5	7	4	140	Abnahme durch Dritten (PV-Sachverständiger)	5	7	2	70		
		Unsachgemäße Verarbeitung von Alu-Leitungen	7	8	6	336	Schulung der Installateure	5	6	8	240	In diesem Fall nicht hilfreich	
							Abnahmeprüfung (DIN 0100-600)	5	6	8	240		
							Erweiterte Abnahmeprüfung (mit Thermokamera)	5	6	4	120		
							Konstruktive Änderung an der Klemmleiste (Ausrichtung)	4	6	6	144		
							Schulung der Installateure	5	8	6	240		
							Abnahmeprüfung (DIN 0100-600)	7	8	5	280		
							Erweiterte Abnahmeprüfung (mit Thermokamera)	7	8	3	168		
							Abnahme durch Dritten (PV-Sachverständiger mit Aluwissen)	7	8	3	168		
							Lichtbogendetektor	7	4	5	140	Lichtbogen bei Kupfer erst bei sehr hoher Temperatur, Effekt unklar	
Lötverbindungen													
Lötverbindungen innerhalb des Moduls (Zellverbinder, Querverbinder)	Lötstellen verschmort, ggf. Lichtbögen im Modul	Schlechte Lötung, Alterung durch mechanischen / thermischen Stress	7	6	9	378	QS-Verbesserung beim Hersteller (24h)	2	6	9	108		
							Regelmäßige Wiederholungsprüfung (DIN 0126-23)	7	6	8	336		

Beteiligte Komponente/ Ort	Potentielle Fehler	potentielle Ursachen	Ist-Zustand				Verbesserter Zustand					
			Auftrittswahrscheinlichkeit	Brandauslösungswahrscheinlichkeit (Bedeutung)	Entdeckungswahrscheinlichkeit	RPZ	mögliche Abstellmaßnahmen	Auftrittswahrscheinlichkeit	Brandauslösungswahrscheinlichkeit (Bedeutung)	Entdeckungswahrscheinlichkeit	RPZ	Kommentar
		Schlechte Lötung, Alterung durch mechanischen / thermischen Stress	7	6	9	378	Regelmäßige, verbesserte Wiederholungsprüfung (mit IR)	7	6	3	126	Wenn die Sonne scheint
							Lichtbogen-Detektor	7	4	7	196	
<b>Dioden</b>												
<b>Bypass- und Stringdioden</b>	Dioden kurzgeschlossen oder offen	Überspannung durch statische Entladung während Modulfertigung und Installation	4	4	9	144	QS-Maßnahmen, Schulung der Installateure					
		Überspannung durch Gewitter oder Schaltvorgänge im System	6	4	8	192	Überspannungsschutz an den Dioden					
		Langzeit-Ausfall durch thermische Überlastung und Temperaturwechsel bei wechselnder Abschattung	4	4	9	144	Regelkonformer Blitzschutz	4	4	8	128	
							Überspannungsschutz an den Dioden, spannungsfeste Dioden	3	4	8	96	
						Erweiterte Wiederholungsprüfung (IR, neue Messverfahren)	6	4	4	96		
						Einsatz "kühler" Techniken						
						Regelmäßige Wiederholungsprüfung (visuell, IR, neue Messverfahren)						
<b>Modul</b>												
<b>Modul</b>	Unterbrechungen, Isolationsfehler	Abgerissene Zellverbinder (Bändchen)	4	6	8	192	Designänderungen beim Hersteller, QS-Maßnahmen	2	6	8	96	
		Zellbruch	2	3	8	48	Regelmäßige Wiederholungsprüfung (IR, neue Messverfahren)	4	6	4	96	
		Glasbruch	6	5	2	60	Lichtbogen-Detektor	4	4	7	112	
							Verbesserte Montagetechnik					

Beteiligte Komponente/ Ort	Potentielle Fehler	potentielle Ursachen	Ist-Zustand				Verbesserter Zustand								
			Auftrittswahrscheinlichkeit	Brandauslösungswahrscheinlichkeit (Bedeutung)	Entdeckungswahrscheinlichkeit	RPZ	mögliche Abstellmaßnahmen	Auftrittswahrscheinlichkeit	Brandauslösungswahrscheinlichkeit (Bedeutung)	Entdeckungswahrscheinlichkeit	RPZ	Kommentar			
		Glasbruch	6	5	2	60	Wiederholungsprüfung (visuell, IR, neue Messverfahren)								
		Beschädigung der Rückseiten-Folie durch Montagefehler, Alterung (Delaminierung) oder Vandalismus	5	4	7	140	Lichtbogen-Detektor								
		Zellschäden wie Mikrorisse, Schnecken Spuren etc.	8	2	6	96	Schulung der Installateure								
						Isolationsüberwachung durch Wechselrichter									
						Abnahmeprüfung (visuell, IR, neue Messverfahren)									
						Regelmäßige Wiederholungsprüfung (visuell, IR, neue Messverfahren)									
						Vermeidung der Ursachen durch Design und QS-Maßnahmen									
						Regelmäßige Wiederholungsprüfung (visuell, IR, neue Messverfahren)									
DC-Sicherungen															
DC-Sicherungen	Überhitzung, mangelndes Schaltverhalten	Verwendung ungeeigneter Sicherungen, z. B. AC-Sicherungen oder unzureichender Spannungs- oder Stromparameter oder ungeeignete Installation	6	8	7	336	Verbesserte Planung, Auswahl geeigneter Komponenten	2	8	7	112				
							Verzicht auf DC-Sicherungen, wenn möglich	1	1	1	1	Achtung: Nur wenn möglich (2 oder 3 Strings)			
							Abnahmeprüfung (nach DIN 0126-23)	6	8	4	192				
							Abnahmeprüfung durch Dritte (PV-Sachverständige)	6	8	2	96				
AC-Sicherungen															
AC-Sicherungen	Überhitzung	Überhitzung durch starke Bündelung, hohe Umgebungstemperaturen ((Derating) etc.	6	6	5	180	Verbesserte Planung, Auswahl geeigneter Komponenten	3	6	5	90				
							Abnahmeprüfung (nach DIN 0100-600)	6	6	3	108				

Beteiligte Komponente/ Ort	Potentielle Fehler	potentielle Ursachen	Ist-Zustand				Verbesserter Zustand					
			Auftretts-wahrscheinlichkeit	Brandauslösungs-wahrscheinlichkeit (Bedeutung)	Entdeckungs-wahrscheinlichkeit	RPZ	mögliche Abstellmaßnahmen	Auftretts-wahrscheinlichkeit	Brandauslösungs-wahrscheinlichkeit (Bedeutung)	Entdeckungs-wahrscheinlichkeit	RPZ	Kommentar
		Überhitzung durch starke Bündelung, hohe Umgebungstemperaturen ((Derating) etc.	6	6	5	180	Regelmäßige Wiederholungsprüfung (nach DIN 0105-100)	6	6	2	72	Braunfärbungen zusätzlich erkennbar
<b>Kabel (DC und AC)</b>												
<b>Kabel (DC und AC)</b>	Mechanische Beschädigung, Isolationsfehler, Lichtbogen	Langzeitschäden durch Verwitterung (UV-Strahlung, Feuchtigkeit, Temperaturwechsel etc)	7	7	4	196	Auswahl geeigneter Komponenten	4	7	4	112	
		Beschädigung durch achtlose Installation	7	5	4	140	Geschützte Leitungsverlegung	3	7	4	84	
							Leitungsverlegung in getrennten Schutzrohren	3	5	4	60	
							Isolationsüberwachung durch Wechselrichter	7	7	2	98	Eigentlich bereits Stand der Technik
							Regelmäßige Wiederholungsprüfung (nach DIN 0126-23)	7	7	3	147	
		Elektrische Überlastung wg. Querschnitt oder gehäufte Verlegung	5	5	6	150	Lichtbogen-Detektor	7	7	4	196	Parallel- und Erdlichtbögen
							Schulung der Installateure					
		Abnahmeprüfung (visuell, Isolationsmessung)										
Verbesserte Planung, Auswahl geeigneter Komponenten												
Abnahmeprüfung (visuell, IR)												
<b>DC-Schalter</b>												
<b>DC-Schalter innerhalb oder außerhalb des Wechselrichters</b>	Schalter verschmort, kein Trennvermögen	Nicht DC-tauglich	3	8	6	144	Verbesserte Planung, Auswahl geeigneter Komponenten					
		Bemessungsspannung und Strom unzureichend	6	8	6	288	Abnahmeprüfung (visuell, IR, neue Messverfahren)					
							Verbesserte Planung, Auswahl geeigneter Komponenten	2	8	6	96	



Beteiligte Komponente/ Ort	Potentielle Fehler	potentielle Ursachen	Ist-Zustand				Verbesserter Zustand						
			Auftrittswahrscheinlichkeit	Brandauslösungswahrscheinlichkeit (Bedeutung)	Entdeckungswahrscheinlichkeit	RPZ	mögliche Abstellmaßnahmen	Auftrittswahrscheinlichkeit	Brandauslösungswahrscheinlichkeit (Bedeutung)	Entdeckungswahrscheinlichkeit	RPZ	Kommentar	
		Bemessungsspannung und Strom unzureichend	6	8	6	288	Abnahmeprüfung (nach DIN 0126-23)	6	8	3	144	Kontakalterung: Schalter müssen betätigt werden	
Wechselrichter													
Wechselrichter	Wechselrichter überhitzt, Wechselrichter elektrisch defekt	Lüftung verstopft / ausgefallen	6	4	5	120	Auswahl eines sauberen Standortes						
		Umgebungstemperatur zu hoch	5	4	5	100	Fall-Safe-Verhalten des Wechselrichters						
		Interner elektrischer Fehler	4	4	8	128	Regelmäßige Wartung / Reinigung						
						Regelmäßige Wiederholungsprüfung (visuell, IR, neue Messverfahren)							
						Verbesserte Planung, Auswahl geeigneter Komponenten							
						Belüftungsmaßnahmen							
						Gutes Design, hohe Fertigungsqualität							
						Überspannungsschutz							
						Metallgehäuse							
						Lichtbogen-Detektor/ Modulabschaltung							
Feuchtigkeit													
Allgemeine Installation	Korrosion durch Feuchtigkeitseintrag	Ungeeignete Schutzart (IP xx) / Mangelnder Luftaustausch	5	4	6	120	Verbesserte Planung, Auswahl geeigneter Komponenten					Für jeweiligen Installationsort passende Schutzart wählen!	
		Kabeleinführung in PG-Verschraubungen von oben	4	4	3	48	Abnahmeprüfung (visuell, IR, neue Messverfahren)						
						Schulung der Installateure							

Beteiligte Komponente/ Ort	Potentielle Fehler	potentielle Ursachen	Ist-Zustand				Verbesserter Zustand							
			Auftrittswahrscheinlichkeit	Brandauslösungswahrscheinlichkeit (Bedeutung)	Entdeckungswahrscheinlichkeit	RPZ	mögliche Abstellmaßnahmen	Auftrittswahrscheinlichkeit	Brandauslösungswahrscheinlichkeit (Bedeutung)	Entdeckungswahrscheinlichkeit	RPZ	Kommentar		
		Kabeleinführung in PG-Verschraubungen von oben	4	4	3	48	Abnahmeprüfung (visuell, IR, neue Messverfahren)							
<b>Brandgefahr</b>														
Allgemeine Installation	Erhöhte Brandgefahr	Montage auf brennbarem Untergrund (z. B. Holz- oder Spanplatte) oder in Umgebung mit leichtentzündlichen Gegenständen (z. B. Stroh, Heu, Treibstoffen etc.)	6	6	5	180	Auswahl eines geeigneten Standortes	1	6	5	30			
							Einhaltung der einschlägigen VDE- und Bauvorschriften	2	6	5	60			
							Einhaltung der Vorschriften des Herstellers	3	6	5	90	wenn sinnvoll		
							Abnahmeprüfung (nach DIN 0126-23)	6	6	3	108			
							Regelmäßige Wiederholungsprüfung (nach DIN 0126-23)	6	6	3	108	Änderung der Nutzung des Raums möglich		
<b>Lötverbindungen J-Box</b>														
Lötverbindungen innerhalb Junction-Box	Lötstellen verschmort, ggf. Lichtbögen im Modul oder in der Junction-Box	Schlechte Lötung, Alterung durch mechanischen / thermischen Stress	5	7	9	315	QS-Verbesserung beim Hersteller	2	7	9	126			
							Regelmäßige Wiederholungsprüfung (DIN 0126-23)	5	7	9	315			
							Erweiterte regelmäßige Wiederholungsprüfung (mit IR)	5	7	3	105			
							Lichtbogen-Detektor	5	4	8	160			