
FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME ISE

FMEA-Analyse netzgekoppelter Photovoltaikanlagen
im Rahmen des „PV-Brandschutz“-Projektes



Heribert Schmidt, Robin Grab,
Severin Philipp

Fraunhofer-Institut für Solare
Energiesysteme ISE

2. Brandschutz-Workshop

Freiburg

24.01.2013

www.ise.fraunhofer.de

AGENDA

- Motivation
- Was ist eine FMEA?
- Durchführung der FMEA
- Zusammenfassung der Ergebnisse

Motivation

- z. Zt. in D > 30 GW_p PV installiert
- das sind ca. 150 Mio. Module
- das sind ca. 300 Mio. Steckverbinder
- das sind ca. 450 Mio. Bypass-Dioden
- das sind ca. 10 Mrd. Solarzellen (3 W_p)
- das sind ca. 50 Mrd. Lötstellen
- hinzu kommen Leitungen, Verteiler, Strangdioden/- DC-Sicherungen, Schalter, Wechselrichter, AC-Sicherungen, IT-Schnittstellen etc. etc.



- Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit eines Brandes durch PV?
- Gibt es typische Fehlerquellen?
- Wie können diese beseitigt werden?

Was ist eine FMEA?

- **FMEA = Failure Mode and Effects Analysis**
- Dient hier als Ergänzung zu statistischen Auswertung von Brandfällen
- Etabliertes Verfahren zur Fehleranalyse und Produktverbesserung
- Bewertung von Fehlermechanismen und deren Auswirkungen durch Expertenkreis von ca. 10 Personen
- Drei Kriterien:
 - Auftrittswahrscheinlichkeit eines Fehlers
 - Auswirkung eines Fehlers
 - Wahrscheinlichkeit der vorzeitigen Entdeckung eines Fehlers
- Bewertung jeden Kriteriums zwischen 1 (unkritisch) und 10 (kritisch)
- Mischung aus eigenem Wissen / eigener Erfahrung und „Bauchgefühl“

Das FMEA-Team (Frankfurt/Main, 10. Dezember 2012)

- Thomas Kuchlmayr (PV-Sachverständiger)
- Werner Knaupp (PV-Sachverständiger)
- Heinrich Häberlin (Fachhochschule Bern)
- Adrian Häring (SMA)
- Hermann Laukamp (Fraunhofer ISE)
- Georg Bopp (Fraunhofer ISE)
- Lutz Erbe (VGH Versicherungen)
- Andreas Krutzke (Energiebau)
- Ralf Haselhuhn (DGS)
- Willi Vaaßen (TÜV Rhld.)
- Florian Reil (TÜV Rhld.)

- Heribert Schmidt (Moderation)
- Robin Grab (Protokoll)



Was ist eine FMEA?

- **FMEA = Failure Mode and Effects Analysis**
- Dient hier als Ergänzung zu statistischer Auswertung von Brandfällen
- Etabliertes Verfahren zur Fehleranalyse und Produktverbesserung
- Bewertung von Fehlermechanismen und deren Auswirkungen durch Expertenkreis von ca. 10 Personen
- **Drei Kriterien:**
 - **Auftrittswahrscheinlichkeit eines Fehlers**
 - **Auswirkung eines Fehlers**
 - **Wahrscheinlichkeit der vorzeitigen Entdeckung eines Fehlers**
- **Bewertung jeden Kriteriums zwischen 1 (unkritisch) und 10 (kritisch)**
- **Mischung aus eigenem Wissen / eigener Erfahrung und „Bauchgefühl“**

Bewertungstabelle (vergleiche „Beipackzettel“)

Auftrittswahrscheinlichkeit		Brandauslösewahrscheinlichkeit (der Komponente)		Entdeckungswahrscheinlichkeit	
1	Vernachlässigbar <i>theoretisch denkbar, praktisch nie</i>	1	Vernachlässigbar <i>theoretisch ist eine Brandentstehung möglich, praktisch nie beobachtet</i>	1	Sehr hoch <i>z.B. Ausfall des Systems, sehr zuverlässige Systemüberwachung etc.</i>
2		2		2	
3	Entfernt vorstellbar <i>wurde bereits beobachtet, gilt aber als äusserste Ausnahme</i>	3	Entfernt vorstellbar <i>Brandentstehung ist unter bestimmten Bedingungen theoretisch möglich</i>	3	Hoch <i>Fehlererkennung ist vorhanden, kann aber gelegentlich unter bestimmten Bedingungen versagen</i>
4		4		4	
5	Niedrig, selten <i>selten zu beobachten, tritt eher sporadisch auf</i>	5	Niedrig, selten <i>Brandentstehung ist möglich, tritt aber selten auf</i>	5	Gelegentlich <i>Fehlermerkmal ist leicht zu erkennen z.B. sichtbar, wird aber nicht systematisch erfasst.</i>
6	Gelegentlich <i>tritt in regelmäßigen Abständen auf</i>	6	Gelegentlich <i>Brandentstehung ist möglich, tritt gelegentlich auf</i>	6	Niedrig, selten <i>Fehler kann durch Kontrollmaßnahmen oder an seinen Auswirkung erkannt werden</i>
7		7		7	
8	Hoch <i>wurde bereits oft beobachtet,</i>	8	Hoch <i>Auftritt des Fehlers konnte bereits oft zu einer Brandauslösung führen</i>	8	Entfernt vorstellbar <i>Fehler kann durch genau definierte Prüfungen festgestellt werden</i>
9		9		9	
10	Sehr hoch <i>es ist nahezu sicher, dass der Fehler in absehbarer Zeit</i>	10	Sehr hoch <i>Auftritt des Fehlers verursacht sehr häufig eine Brandauslösung</i>	10	Vernachlässigbar <i>Versteckte Fehlfunktion, Merkmal kann nicht geprüft werden</i>

Welche Komponenten sollen betrachtet werden?

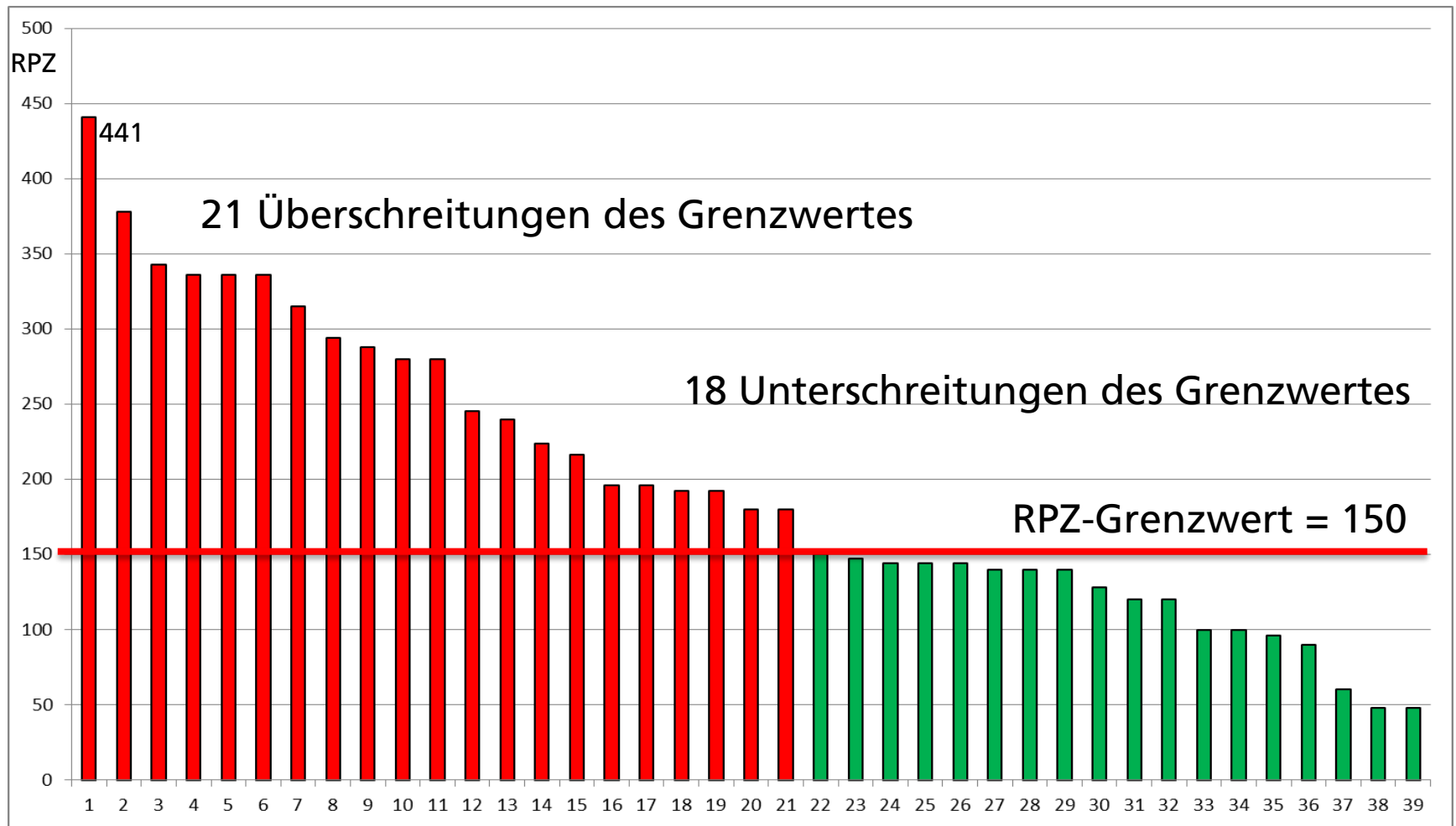
- Gruppierung nach Funktionalität:
- Steckverbinder (Modul, DC-Hauptleitung, Wechselrichter, AC-Seite)
- Klemmen (Feldverteiler, Wechselrichter DC- und AC-Seite)
- Lötverbindungen (Zellen/Strings, Junction Box, Wechselrichter, ...)
- Dioden (Bypass-Dioden, Stringdioden)
- Modul (Zellen, Glas, Rückseitenfolie, Anschlussdose, ...)
- Sicherungen (DC-Seite, AC-Seite)
- Kabel (DC-Seite, AC-Seite)
- Schalter (DC-Seite)
- Wechselrichter
- Planung- und Installation
- ca. 40 Fragestellungen, mit Iterationen ca. 140 Bewertungen

Risiko-Prioritäts-Zahl RPZ

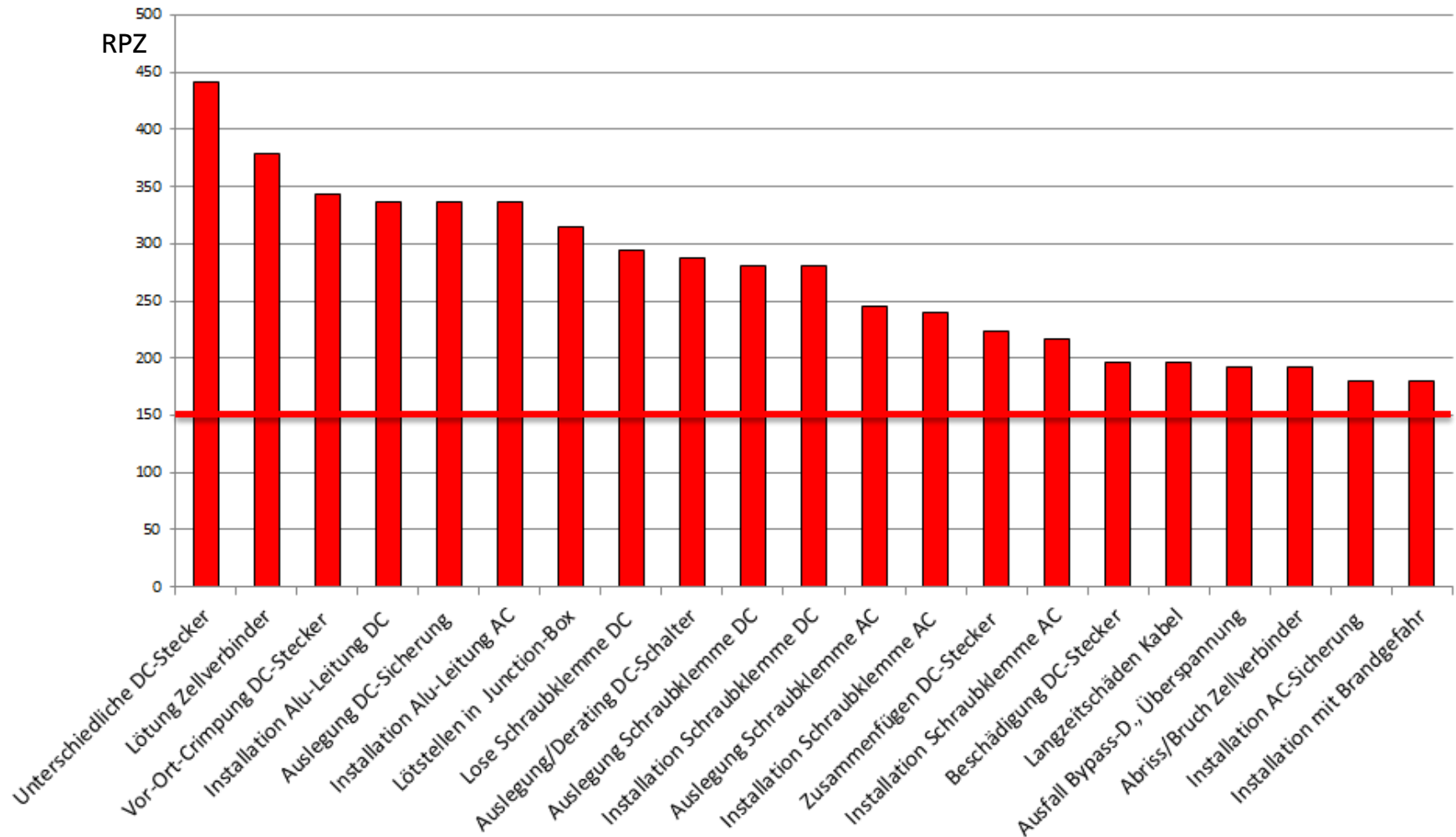
- Berechnung der **Risiko-Prioritäts-Zahl RPZ**
- Vergleich mit Grenzwert, hier $RPZ = 150$

			Ist-Zustand			
Beteiligte Komponente/ Ort	Potentielle Fehler	potentielle Ursachen	Auftrittswahrscheinlichkeit	Brandauslösungswahrscheinlichkeit	Entdeckungswahrscheinlichkeit	RPZ
DC-Stecker						
DC-Steckverbinder	Steckverbinder verschmort	Stecker nicht vollständig gesteckt	4	7	8	224

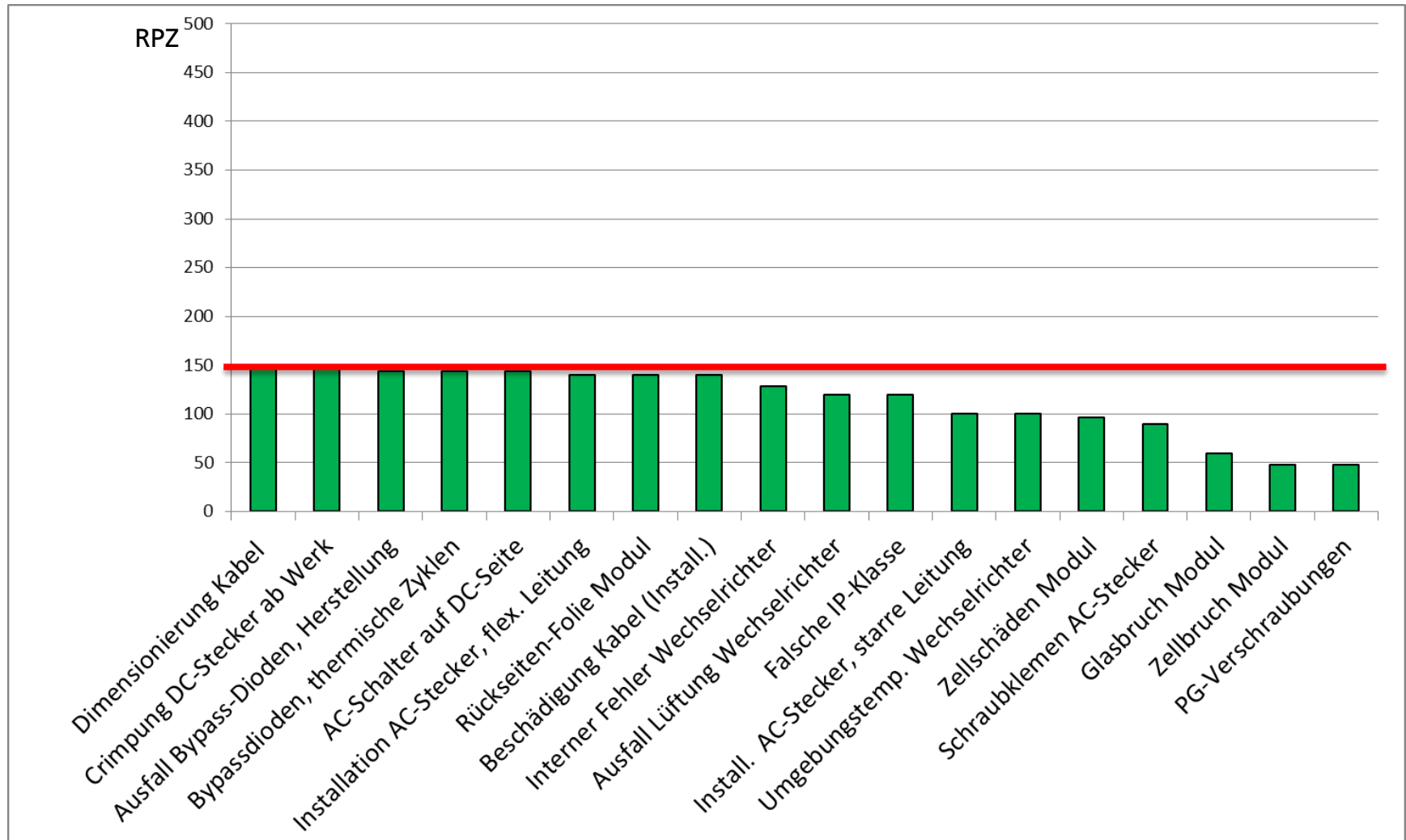
FMEA-Ergebnisse, Überblick (EXCEL-Sheet wird für Teilnehmer zugänglich gemacht!)



FMEA-Ergebnisse, RPZ größer als 150



FMEA-Ergebnisse, RPZ kleiner oder gleich 150

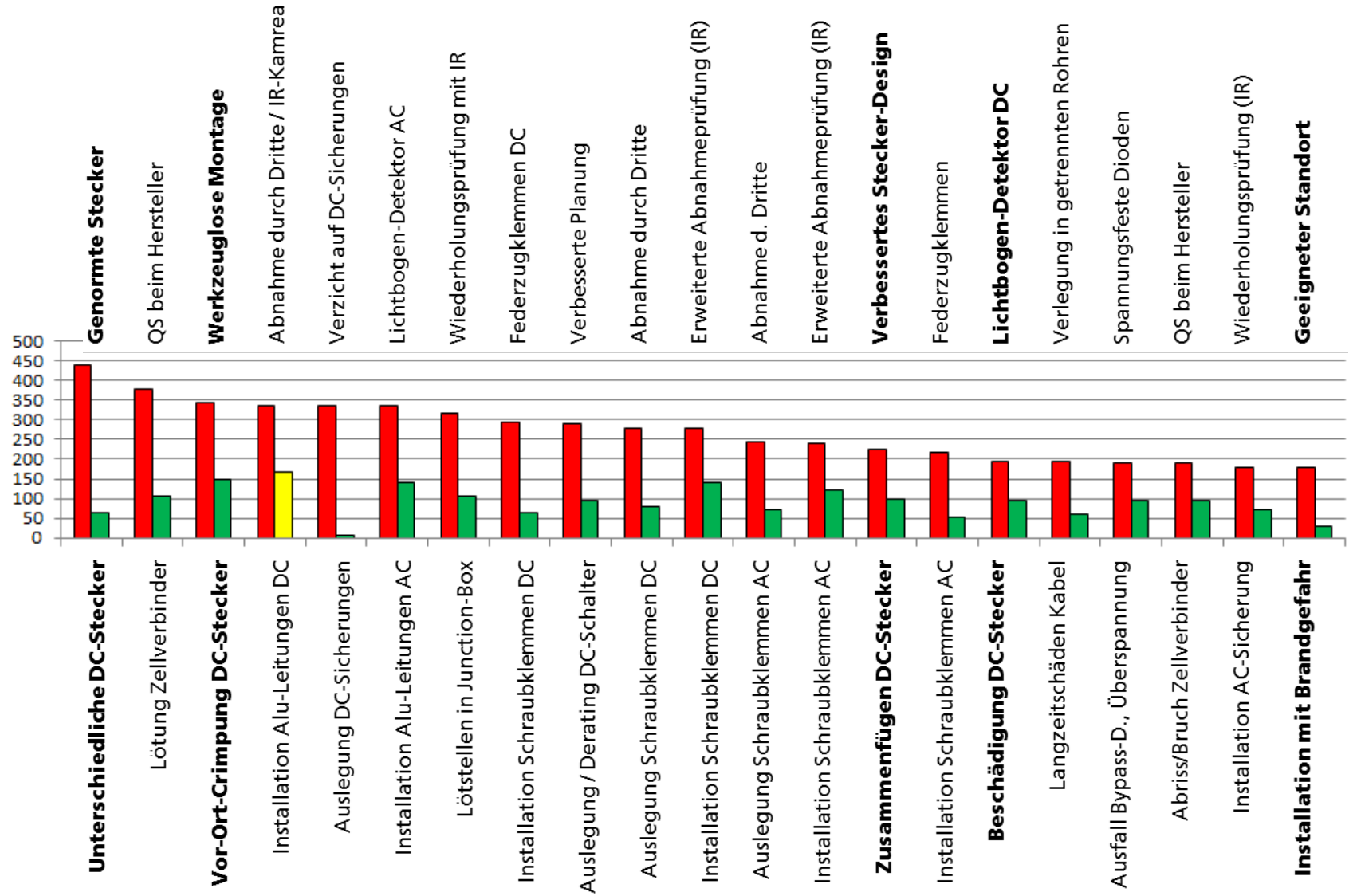


Verbesserung des Zustandes

- Erstellen von Verbesserungsvorschlägen
- Iterationen, bis RPZ kleiner als Grenzwert

Verbesserter Zustand					Anmerkungen:
<i>mögliche Abstellmaßnahmen</i> <small>Hinzufügen</small>	Auftritts- wahrscheinlichkeit	Brandauslösungs- wahrscheinlichkeit	Entdeckungs- wahrscheinlichkeit	RPZ	
<i>Ausgangszustand</i>	4	7	8	224	
<i>Schulung der Installateure</i>	3	7	8	168	Zeit- und Kostendruck
<i>Stecker-Design: Rastnasen, Haptik, Farbring etc.</i>	2	7	7	98	
<i>Abnahmeprüfung (DIN 0126-23)</i>	4	7	7	196	Reicht nicht aus!
<i>Abnahmeprüfung (erweiterte Methoden, z.B. IR)</i>	4	7	6	168	Ggf. neue Messmethoden
<i>Regelmäßige Wiederholungsprüfung (DIN 0126-23)</i>	4	7	7	196	Reicht nicht aus!
<i>Regelmäßige Wiederholungsprüfung (erweiterte Methode, z.B. IR)</i>	4	7	5	140	Ggf. neue Messmethoden
<i>Lichtbogen-Detektor</i>	4	4	7	112	Wenn zuverlässig!

Erbgebnisse (genannt ist nur Verbesserung mit kleinster RPZ)



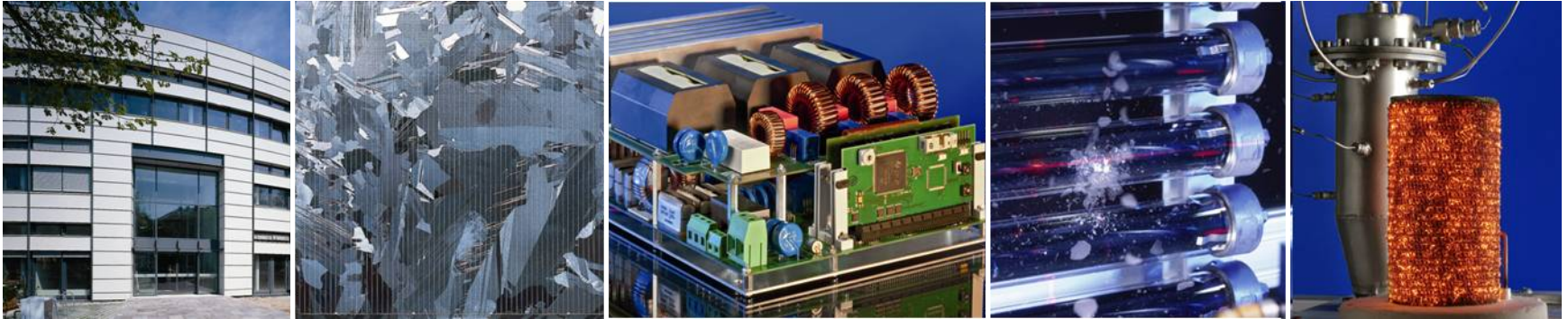
Welche Verbesserungsvorschläge wurden am häufigsten genannt?

- Einhaltung der bestehenden Vorschriften und Normen
- Abnahme- und Wiederholungsprüfung (durch Dritte!)
- Erweiterte A&W-Prüfungen (durch Dritte!) (IR-Kamera, neue Verfahren)
- Schulung von Planern und Installateuren
- Qualitätssicherung beim Hersteller von Komponenten
- Federzugklemmen anstelle von Schraubklemmen
- Weltweite Normierung von Komponenten (insb. Stecker)
- Lichtbogendetektor DC
- Konstruktive Verbesserungen von Komponenten (z.B. Stecker)
- „Schlankes“ Anlagendesign (Verzicht auf überflüssige Komponenten)
- Bauliche Maßnahmen (z.B. geschützte Verlegung von Kabeln)
- Viele weitere, größtenteils bereits bekannte Detaillösungen

Zusammenfassung und weiteres Vorgehen

- Diese FMEA fasst Einschätzung von PV-Experten erstmals zusammen
- Eine Reihe von Fehlermöglichkeiten wurde aufgezeigt
- Für alle Fehlermöglichkeiten konnten Lösungen vorgeschlagen werden!
- Die meisten davon sind „Stand der Technik“, müssen konsequent angewandt werden!
- Haupt-Fehlerquelle ist (leider) der Mensch
- Qualifizierung / Zertifizierung von Planern und Installateuren fordern
- Komponenten (noch) weiter optimieren
- Installation (noch) weiter vereinfachen
- Qualitätssicherung bei Herstellern (noch) weiter verbessern
- Abnahme- und Wiederholungsprüfung (durch Dritte, ggf. erweitert)
- Zusätzliche Sicherheitskomponenten (z.B. Lichtbogen-Detektor, Abschalter etc.) entwickeln, erproben und einsetzen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Heribert Schmidt

www.ise.fraunhofer.de

heribert.schmidt@ise.fraunhofer.de