

# Schlussbericht

## SteckerSolar

### Verbundvorhaben: Entwicklung einer Produktnorm für Steckersolargeräte

Zuwendungsempfänger		Förderkennzeichen
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE Solar Info Zentrum GmbH (SIZ) indielux GmbH (indielux) Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie SolarInvert GmbH (SIG) DKE – Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informa- tionstechnik in DIN und VDE, Offenbach a.M.		03TN0001A 03TN0001B 03TN0001C 03TN0001D 03TN0001E 03TN0001F
Assoziierte Partner Kalthoff GmbH Ökostrom AG SMA Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen		
Projektleiter Fraunhofer ISE		
Laufzeit des Vorhabens von: 01.08.2020	bis: 31.07.2023	
Berichtszeitraum von: 01.08.2020	bis: 31.07.2023	Datum 30.01.2024

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) über den Projektträger Jülich (PtJ) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**Autoren**

Hermann Laukamp, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg

Wolfgang Müller, Solar Info Zentrum SIZ GmbH, Neustadt (Weinstraße)

Marcus Vietzke, indielux GmbH, Berlin

Ralf Haselhuhn, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, DGS

Tobias Schwartz, SolarInvert GmbH, SIG

Athina Savvidis, DKE – Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Frankfurt

Joseph Bergner, Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW, Berlin

**Koordinator:**

Dr.-Ing. Bernhard Wille-Hausmann

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, ISE

Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg

Telefon:+49 (0) 761 / 4588 5443

E-Mail: [bernhard.wille-hausmann@ise.fraunhofer.de](mailto:bernhard.wille-hausmann@ise.fraunhofer.de)

# Inhaltsverzeichnis

I.	Kurzdarstellung.....	4
I.1.	Aufgabenstellung.....	4
I.2.	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde .....	5
I.3.	Planung und Ablauf des Vorhabens .....	6
I.4.	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	8
I.5.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	9
II.	Eingehende Darstellung .....	9
II.1.	Verwendung der Zuwendung und (eingehende Darstellung) des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele .....	9
II.1.1.	AP 1 Projektkoordination und Projektmanagement .....	9
II.1.2.	AP 2 Normenrecherchen und -analysen für Komponenten und Steckersolargeräte .....	9
II.1.3.	AP 3 Belastbarkeitsreserven in Elektroinstallationen .....	11
II.1.4.	AP 4 Innovative Ansätze zur Ausnutzung von Belastbarkeitsreserven in Elektroinstallationen 26	
II.1.5.	AP 5 Erstellung Anforderungskatalog Steckersolargeräte .....	28
II.1.6.	AP 6 Prüfverfahren und Tests an Komponenten.....	29
II.1.7.	AP 7 Normentwicklung, Gremienarbeit Normung national/ international .....	36
II.1.8.	AP 8 Kommunikation .....	39
II.2.	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	42
II.3.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	42
II.4.	Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse .....	42
II.5.	Fortschritt bei anderen Stellen.....	42
II.6.	Veröffentlichungen.....	43
II.7.	Literaturangaben .....	44
Anlagen.....		45
	Anlage 1 -- veröffentlichter Entwurf der Vornorm von Oktober 2022 .....	45
	Anlage 2 – Erfolgskontrollbericht (nicht öffentlich) .....	45
	Anlage 3 – Berichtsblatt / Document Control Sheet (nicht öffentlich) .....	45
	Anlage 4 – Anlage zum Verwertungsplan (nicht öffentlich).....	45

## I. Kurzdarstellung

### I.1. Aufgabenstellung

Ziel des Vorhabens war es, auf eine im Prinzip schon länger bekannte Technologie zu setzen: in Haushaltssteckdosen steckbare Solargeräte. Es ging um Kleinst-PV-Anlagen, die als Gerät zum Anstecken an übliche Steckdosen konzipiert und für den Gebrauch durch elektrotechnische Laien geeignet sind. Im einfachsten Fall bestehen sie aus einem PV-Modul, einem daran montierten Wechselrichter und einer Anschlussleitung mit Stecker. Im Folgenden werden sie als Steckersolargeräte bezeichnet.

Durch stark gefallen Preise für PV-Module und durch die im europäischen Vergleich hohen Endkundenpreise für Elektrizität ist das Interesse an dieser Technik auch in Deutschland stark gewachsen. Diese Technologie findet auch politische Unterstützung und eine Initiative im europäischen Parlament fordert die Staaten auf, den Einsatz dieser Geräte möglichst einfach zu machen. „Große“ netzgekoppelte PV-Anlagen sind mittlerweile eine ausgereifte Erzeugungstechnologie. Sie werden in typischen Größenordnungen von 2 kWp bis zu 500 MWp gebaut. Für sie gibt es technische Normen, die über Jahrzehnte entwickelt worden sind. Diese Anlagen werden mit einem eigenen Stromkreis an das übergeordnete Netz angeschlossen.

Im Unterschied dazu sind Steckersolargeräte dazu gedacht, in einen – vorhandenen - Endstromkreis einzuspeisen. Das erfordert neue Überlegungen, um die elektrische Sicherheit der Gebäudeinstallation nicht zu kompromittieren.

Hauptziel der geplanten Arbeiten war die Erstellung eines Normentwurfs für eine Produktnorm für diese Geräte. Das Vorhaben sollte dafür ein Normungsprojekt unterstützen und beschleunigen, das im Arbeitskreis DKE/AK 373.0.4 „Steckerfertige PV-Systeme“ unter Beteiligung mehrerer KMUs durchgeführt wurde. Die durchgeführten Untersuchungen dienten dem Ziel, fundierte Anforderungen für die deutschen Randbedingungen zu entwickeln. Es sollten Regeln für Konstruktion, Aufbau, Montage und Anschluss von laienbedienbaren Steckersolargeräten für den Anschluss an Endstromkreise erarbeitet werden. Daraus sollte ein Entwurf für eine nationale und später für eine internationale Produktnorm entwickelt werden. Diesen Entwurf sollte durch den Normungsprozess bis zur fertigen Norm begleitet werden. Die angestrebte Norm musste zunächst national entwickelt werden, da sie die spezifische deutsche Randbedingungen und Konflikte berücksichtigen muss. Gleichzeitig waren spezifische europäische Regeln zur Netzeinspeisung zu berücksichtigen, die im europäischen Netzwerkcode „Requirements for Generators“ (COMMISSION REGULATION (EU) 2016/631) formuliert sind. Das Einbringen der Norm in die internationale Normung wird nach Veröffentlichung der Norm bedarfsgerecht verfolgt.

Darüber hinaus war beabsichtigt, aus verschiedenen Detailuntersuchungen neue oder verbesserte Produkte, und Verbesserungsvorschläge für die Installationsnorm VDE 0100 zu entwickeln.

Bei der Entwicklung der Anforderungen an Steckersolargeräte musste die Einhaltung von gerätetechnischen Sicherheitsregeln, Netz-Codes und ggf. weiterer lokalen Regelwerken für elektrische Netze bewertet und umgesetzt werden. Spezifischen Forschungsbedarf in Deutschland gab es zu folgenden Themen:

- Belastungsreserve in Endstromkreisen in Abhängigkeit von Einbausituation (Verlegeart) und Gebäudealter (Ausstattung mit Stromkreisen und Schutzeinrichtungen).
- Belastungsgrenzen bei gealterten Stromkreisen, Steckdosen und Kontaktstellen inklusive AI-Leitungen (häufig in den neuen Bundesländern (NBL))
- Risikobetrachtung von möglichen Überlastungen aufgrund von Paralleleinspeisung
- innovative Methoden zur Sicherstellung der Einhaltung der verfügbaren Leitungsbelastung

- Eignung von Schuko®-Steckern und anderen Steckverbindern zur Einspeisung mit Steckersolargeräten, ggf. mit Entwicklung von Verbesserungen
- Netzseitige Anforderungen für den sicheren Betrieb dieser Geräte
- Anforderungen an mechanische Stabilität von Gerät, Halterungen, und mechanischen Verbindungen unter Berücksichtigung von Bauregeln

Der Markt in Deutschland profitiert schon jetzt, vor Veröffentlichung des endgültigen Dokumentes, von den Arbeiten, da der jeweilige Stand ausführlich und breit veröffentlicht wurde und alle stakeholder Gelegenheit hatten, die Anforderungen kennenzulernen und sich darauf einzustellen. Hersteller, Systemtechnikanbieter, Handwerker und Netzbetreiber werden damit befähigt, qualitativ hochwertige und sichere Steckersolargeräte oder Komponenten dafür zu entwickeln, anzubieten und zu installieren.

Zukünftig werden die Produkte mit nachgewiesener Konformität auch in internationalen Märkten eine hohe Reputation erlangen und den deutschen Anbietern einen Wettbewerbsvorteil verschaffen. Außer dem Vorteil für die Industrie entsteht ein Nutzen für die Allgemeinheit, da diese Norm der Marktaufsicht Kriterien an die Hand gibt, um unsichere Produkte vom Markt nehmen zu können. Dies war nach Aussage des schweizerischen Starkstrominspektorats (ESTI) ein wichtiger Grund, dort technische Anforderungen für diese Geräte zu entwickeln und sie für den Verbraucher laientauglich zu implementieren.

## 1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Vorhaben wurde von den Partnern Fraunhofer ISE, DGS, DKE, indielux, SolarInvert und Solar-Info-Zentrum sowie den assoziierten Partnern Kalthoff, Ökostrom, SMA und der Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen durchgeführt, die im Folgenden anhand ihrer in das Vorhaben eingebrachte Expertise vorgestellt werden.

Fraunhofer ISE ist eines der weltweit größten Solarforschungsinstituten und arbeitet schwerpunktmäßig an industrienahen Lösungen der Solarenergienutzung. Für den österreichischen Regulierer E-Control Austria hatten wir 2016 eine Studie erstellt, in der die wesentlichen Aspekte von Steckersolargeräten untersucht wurden [1]. Die Untersuchung war auf Basis der spezifisch österreichischen Randbedingungen abgestimmt. Daher sind die Ergebnisse nicht direkt auf Deutschland übertragbar, aber die dort benutzte Methodik ist gut geeignet. Im Rahmen des Projektes SPEISI untersucht Fraunhofer ISE (FKZ\_0325742B) den Einfluss von zyklischer Belastung auf Kontaktwiderstände von elektrischen Verbindungen, eine gute Grundlage, um auch kritische Kontaktwiderstände, speziell von Steckverbindungen, zu untersuchen. In einem beendeten Projekt zu Brandsicherheit von PV-Systemen wurde ein Kontakt zum „Institut für Schadensanalyse und Schadensverhütung der öffentlichen Versicherer“ (IfS) geknüpft. Dies Institut hat angeboten, seine umfangreiche Datenbank zu Brandschaden Gutachten für dies Projekt zur Verfügung zu stellen, um Brandrisiken in Elektroinstallationen zu analysieren. Diese Untersuchung wurde als Unterauftrag an das IfS im Projektplan berücksichtigt.

Die indielux GmbH ist ein inhabergeführtes Unternehmen mit Sitz in Berlin. Mit einzigartigen Technologien und beharrlichem ehrenamtlichen Engagement durch jahrelange Gremienarbeit hat das Team die Hürden für alle gesenkt, denen es wichtig ist, ökonomisch wie ökologisch nachhaltig zu handeln. indielux entwickelt seit 2014 sichere Lösungen für Steckersolargeräte. Im Bereich der Mechanik wurden eine sichere werkzeugfreie Universalbalkonhalterung und eine Wandhalterung entwickelt. Seit 2016 konzentriert sich indielux auf ready2plugin, eine smarte Sicherheitstechnologie für die Einbindung in die elektrische Installation. Für diese Innovation wurde indielux mit dem The smarter E AWARD ausgezeichnet - einem der wichtigsten deutschen Branchenpreise.

Die Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V. (DGS) arbeitet als gemeinnütziger Verbraucherschutzverein und Vertreter von Anwendern und Verbrauchern im Bereich der Solarenergie. Der DGS-Landesverband Berlin Brandenburg e.V. arbeitet seit 1991 mit derzeit 38 Mitarbeitern u. a. an Vorortuntersuchungen, Messungen, Schadensgutachten, Betriebsdatenanalysen sowie technische Abnahmen und Qualitätskontrollen von PV-Anlagen. Experten des Landesverbandes sind Mitglied in verschiedenen Normungs- und Richtliniengremien zur Photovoltaik und Batteriespeichertechnik. Schwerpunkt der Arbeit sind Aspekte der Installations-, Betriebs- und Anlagensicherheit von PV-Anlagen, die Qualitätssicherung sowie deren Vermittlung gemeinsam mit Partnern aus dem Bereich der beruflichen Weiterbildung. DGS übernimmt personalmäßig den größten Beitrag aller Partner und erbringt substantielle Beiträge zu fast allen APs. Schwerpunkt der DGS-Arbeiten sind AP 3 und AP 4.

Die SolarInvert GmbH ist ein vom Mehrheitsgesellschafter geführtes Unternehmen, das sich dem Vertrieb von laiensicherer Energietechnik verschrieben hat. Als Hersteller von Solar-, Wind- und Batteriewechselrichtern entwickelt und produziert SolarInvert Geräte und Systeme für die Energiewende zu Hause. Die ersten Wechselrichter mit SolarInvert-Technik wurden 1995 am ZSW in Stuttgart entwickelt. Seitdem wurde die Technik kontinuierlich verbessert und teilweise als Open-Source veröffentlicht. Das SELVSOLAR Plug-In System wurde 2019 für den „The Smarter-e Award“ nominiert und zeichnet sich durch einen für Plug-in Systeme besonders hohen Energieertrag aus. Weitere Arbeiten des Unternehmens befassen sich mit Power-2-Heat, BIPV, sowie der Netzintegration von Kleinwind- und Brennstoffzellentechnik, Kraft-Wärme-Kopplung, Wasserkraft, Energierückgewinnungs- oder Speichersystemen.

Die DKE - Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE ist ein gemeinsames Organ von VDE und DIN und die in Deutschland zuständige Organisation für die Erarbeitung von Normen, Standards und Sicherheitsbestimmungen im Bereich der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik. Sie vertritt als deutsches Mitglied in der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) und des Europäischen Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) die deutschen Interessen auf internationaler und europäischer Ebene. Die DKE-Abteilung „Innovationen“ bündelt über die Normung hinausgehende Aktivitäten. Neue Forschungs- und Entwicklungstrends in innovativen Technologiegebieten (z. B. Smart Grid, Smart Metering oder Internet der Dinge) müssen rechtzeitig erkannt und aufgegriffen werden, um den Standardisierungs- und späteren Normungsbedarf abdecken zu können. Eine zeitnahe Umsetzung der gefundenen Ergebnisse fördert und beschleunigt nicht nur den Wissens- und Technologietransfer, sondern baut den Vorsprung der deutschen Industrie im weltweiten Wettbewerb aus. Durch verschiedene geförderte Projekte auf nationaler oder europäischer Ebene und wegen der Betreuung von Gremien in der Abteilung Energy, die Systeme und Produkte entlang der gesamten Stromversorgungskette – von der Stromerzeugung über den Transport und die Verteilung des Stroms bis zum Verbraucher, der selbst ebenfalls Erzeuger sein kann – umfasst, ist die DKE mit dem in diesem Vorhaben adressierten Themengebiet bestens vertraut.

### **1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens**

Der Arbeitsplan des Vorhabens beinhaltet acht Arbeitspakete:

- AP1: Projektkoordination und Projektmanagement
- AP2: Normenrecherchen und -analysen für Komponenten
- AP3: Belastbarkeitsreserven in Elektroinstallationen
- AP4: Innovative Ansätze zur Ausnutzung von Belastbarkeitsreserven in Elektroinstallationen
- AP5: Erstellung Anforderungskatalog Steckersolargeräte

- AP6: Prüfverfahren und Tests an Komponenten
- AP7: Normentwicklung, Gremienarbeit national/international
- AP8: Kommunikation

Der Bearbeitung der Arbeitspakete lag der in Abbildung 1 gegebene Zeit- und Meilensteinplan zugrunde. Über die Projektlaufzeit waren vier Meilensteine (M1 bis M5) definiert, die anhand der Bezeichnungen M1 bis M5 im Zeit- und Meilensteinplan eingetragen sind. Das Projekt wurde um insgesamt 12 Monate kostenneutral verlängert und Ende Juli 2023 erfolgreich abgeschlossen.

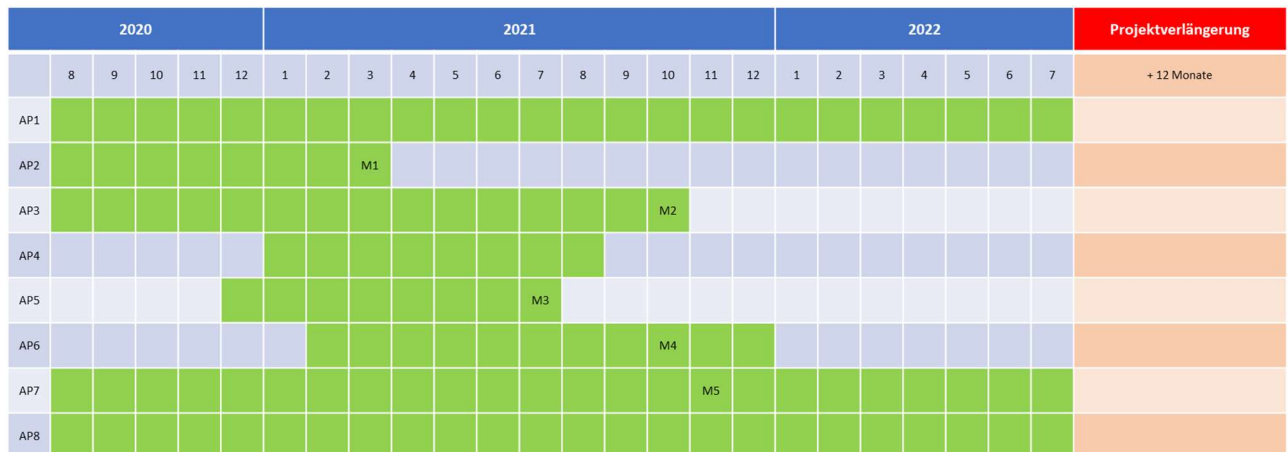


Abbildung 1: Zeit- und Meilensteinplan mit Meilensteinen M1 bis M5

In Tabelle 1 sind die Inhalte der einzelnen Meilensteine aufgeführt. Die Meilensteine wurden insgesamt alle erreicht. Bei allen Arbeitspaketen und der Erreichung der Meilensteine kam es insgesamt zu Verzögerungen, die eine kostenneutrale Projektverlängerung bedingten, jedoch den erfolgreichen Abschluss des Projektes nicht gefährdet haben.

Tabelle 1: Liste der Meilensteine

Meilenstein	Inhalt
M1	Zusammenstellung und Bewertung bestehender Normen für Komponenten
M2	Zusammenstellung der Belastbarkeitsreserven in der Gebäude-/Wohnungsinstallation
M3	Anforderungskatalog
M4	Zusammenstellung Prüfverfahren
M5	Nationaler Normenentwurf

Die Verzögerungen sind einerseits den komplexen technischen Anforderungen, besonders in Bezug auf die Laienbedienbarkeit, geschuldet, zum andern dem Konsens-Prinzip, das grundsätzlich für die Normentwicklung gilt. Deswegen hat die Erstellung des Normentwurfs erheblich mehr Aufwand und mehr Zeit benötigt als ursprünglich geplant - wir hatten anfänglich die Komplexität des Themas unterschätzt, und auch die Notwendigkeit, Überzeugungsarbeit in der Fachöffentlichkeit zu leisten. Aufgrund von kontroversen Risiko einschätzungen verschiedener beteiligter Gremien war sehr viel „Konsens-Arbeit“ nötig, bevor ein Entwurf veröffentlicht werden konnte. Dazu gehörte auch eine im Vorfeld nicht geplante DKE-interne Kommentierungsphase. Das führte dazu, dass der Meilenstein M5 mit fast einem Jahr Verzögerung erst im Oktober 2022 erreicht wurde. Die dann folgende Beratung der über 700 eingereichten Kommentare durch das K 373 dauerte über ein dreiviertel Jahr, und konnte erst nach Projektende abgeschlossen werden.

#### 1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Steckersolargeräte werden seit den 1990er Jahren entwickelt. Sie wurden vor allem in den Niederlanden und werden heute besonders in den USA vermarktet. In den Niederlanden wurden Anforderungen entwickelt, die speziell für niederländische Installationsbedingungen zutreffen. In Österreich ließ die Regulierungsbehörde „E-Control Austria“ eine Studie anfertigen, um die technischen, ökonomischen und energiewirtschaftlichen Auswirkungen beurteilen zu können [1]. Abhängig von den Installationspraktiken der Länder ergeben sich unterschiedliche Leistungswerte – die sogenannte Bagatellgrenze –, bis zu der eine Einspeisung in einen Endstromkreis als problemlos eingeschätzt wird. In den Niederlanden betrug die Grenze 2,25 A (ca. 520 W) und in Österreich und der Schweiz beträgt sie 600 W.

Durch in den letzten Jahren eingeführte vereinfachte Regeln in Österreich und der Schweiz und durch die stark gefallen Preise für PV-Module ist das Interesse an diesen Geräten auch in Deutschland deutlich angestiegen. Sie bieten speziell auch Mietern eine einfache Möglichkeit, zur Energiewende beizutragen und den Strombezug und die entsprechenden Kosten zu reduzieren. Anders als in Österreich und der Schweiz wird in Deutschland der Einsatz von Steckersolargeräten kontrovers gesehen. Dies hat eine starke Verunsicherung des Marktes zur Folge. Um diese Marktverunsicherung zu beenden, sollte eine Produktnorm erarbeitet werden. Basis dafür sind bewährte nationale und internationale Normen für konventionelle PV-Systeme und ihre Komponenten wie sie in folgender Tabelle aufgeführt sind:

**Tabelle 2: Im Jahr 2019 verfügbare Normen für PV Komponenten und -Systeme**

<b>Komponenten /System</b>	<b>Norm und Thema</b>
Modul	DIN EN 61215 - Typprüfungen
	DIN EN 61730 - Sicherheitsanforderung und Prüfungen
	DIN EN 62790 - Sicherheitsanforderungen Anschlussdosen
Wechselrichter	V VDE V 0126-1-1 - Selbsttätige Schaltstelle
	DIN EN 62109 - Sicherheit von Wechselrichtern
System	DIN VDE 0100-712 - Errichten von Photovoltaikanlagen
	DIN VDE 0100-551 – Niederspannungsstromerzeugungseinrichtungen
	DIN EN 62548 - Photovoltaic (PV) arrays -Design requirements
Netzanschluss/ Netzkonformität	VDE-AR-N 4105 - Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz DIN EN 50438 - Klein-Generatoren am Niederspannungsnetz

Für Kleinstanlagen bzw. Steckersolargeräte sind diese Regeln allerdings teilweise nicht ausreichend und teilweise nicht angemessen. Daher sind für diese Geräte neue, ergänzende und angepasste Regelungen nötig. Zusätzliche – bisher kaum beleuchtete – Anforderungen von großer Tragweite kommen aus den Bauregeln.

In den USA wird eine sehr ähnliche Technologie in großen Stückzahlen eingesetzt, um die relativ junge Forderung nach Abschaltbarkeit auf Modulebene zu erreichen. Dort werden Anlagen jeglicher Größe mit Modulwechselrichtern gebaut. Die dortigen Komponenten unterscheiden sich insofern von dem europäischen Ansatz, als sie typischerweise mit Spezialsteckverbindern zu größeren Anlagen kombiniert, und damit errichtet werden, und über einen eigenen Stromkreis an das Netz angeschlossen werden.



## **I.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Die Normungsaktivitäten im Rahmen von AP 7 wurden hauptsächlich im DKE Arbeitskreis „Steckerfertige PV-Systeme“ AK 373.04, und in bzw. in Zusammenarbeit mit den Normungsgremien DKE/K373, teilweise auch DKE/K221, sowie dem Arbeitskreisen AK 373.03 durchgeführt.

In der Endphase der Einspruchsberatung hat jedoch HTW Berlin aufgrund der guten Beziehungen von DGS und Indielux wertvolle Beiträge zur Risikoanalyse geleistet und eine vorhandene Studie [2] aktualisiert und auf eine Leistung von 800 W erweitert. Damit konnten wir zeigen, dass auch unter „GAU“-Bedingungen keine brandgefährlichen Temperaturen in der Installation auftreten.

Im Rahmen des Projektes erfolgte eine Auswertung der Schadensgutachten des IfS.

Auf Bitte eines niederländischen Normungskollegen wurde das korrespondierende niederländische Normungsgremium in den Verteiler aufgenommen. Die Niederländer haben gebeten, den Normentwurf übersetzen und selber implementieren zu dürfen. Dem wurde gerne zugestimmt, zumal eine Internationalisierung der Norm schon geplant war.

Aufgrund des großen Interesses an dem Normenthema gab es intensive Beratungen mit anderen DKE Normungskomitees und eingeschränkt dem FNN, die insofern als „andere Stellen“ betrachtet werden können, als sie fachlich selbständig und unabhängig sind.

Es war keine formale Zusammenarbeit, aber brachte doch Bewegung in die Normdiskussion: der VDE als Träger der Normungsaktivitäten bei DKE veröffentlichte eine Stellungnahme zu Steckersolargeräten, die man als Befürwortung verstehen konnte.

## **II. Eingehende Darstellung**

### **II.1. Verwendung der Zuwendung und (eingehende Darstellung) des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele**

#### **II.1.1. AP 1 Projektkoordination und Projektmanagement**

In diesem Arbeitspaket werden die grundlegenden Managementaufgaben erledigt, die bei der Koordinierung eines Projektkonsortiums anfallen. Neben der Schnittstellenfunktion als Ansprechpartner gegenüber Fördermittelgeber und Projektträger waren hier im Wesentlichen Koordinierungstätigkeiten angesiedelt, die für die erfolgreiche Durchführung des Vorhabens erforderlich sind. Zum kontinuierlichen Austausch innerhalb des Projektkonsortiums fanden im monatlichen Rhythmus Webmeetings statt. Diese wurden von ISE und DKE gemeinsam geleitet. Mit der Verlängerung kommen wir auf 36 gemeinsame Veranstaltungen.

Darüber hinaus wurden im Konsortium auf der von der DKE errichteten Teamseite alle wichtigen Informationen und Dokumente (u. a. Recherchen, Zwischenergebnisse, Meilensteine, Sitzungsprotokolle) sowie Termine (u. a. Messeauftritte) geteilt. Dank der sehr guten Unterstützung durch die DKE KollegInnen, war das knapp bemessene Budget trotz der Verlängerung ausreichend.

#### **II.1.2. AP 2 Normenrecherchen und -analysen für Komponenten und Steckersolargeräte**

Dieses Arbeitspaket umfasste umfassende Recherchen der technischen Regeln und Richtlinien der Einzelkomponenten, also Solarmodule, Wechselrichter, Leitungen, Stecker und Montagesysteme des Systems und der elektrischen und mechanischen Installation. Ebenso wurden Anforderungen an die Installation analysiert und bewertet. SIZ und SIG brachten relevante Praxiserfahrung, sowie Kenntnisse anwendbarer Geräte- und Produktnormen ein. Es wurde eine Übersicht von internationalen, europäischen und nationalen Normen, Regelungen und Verordnungen sowie Gesetzen, etc. erstellt, die von Relevanz für die Thematik

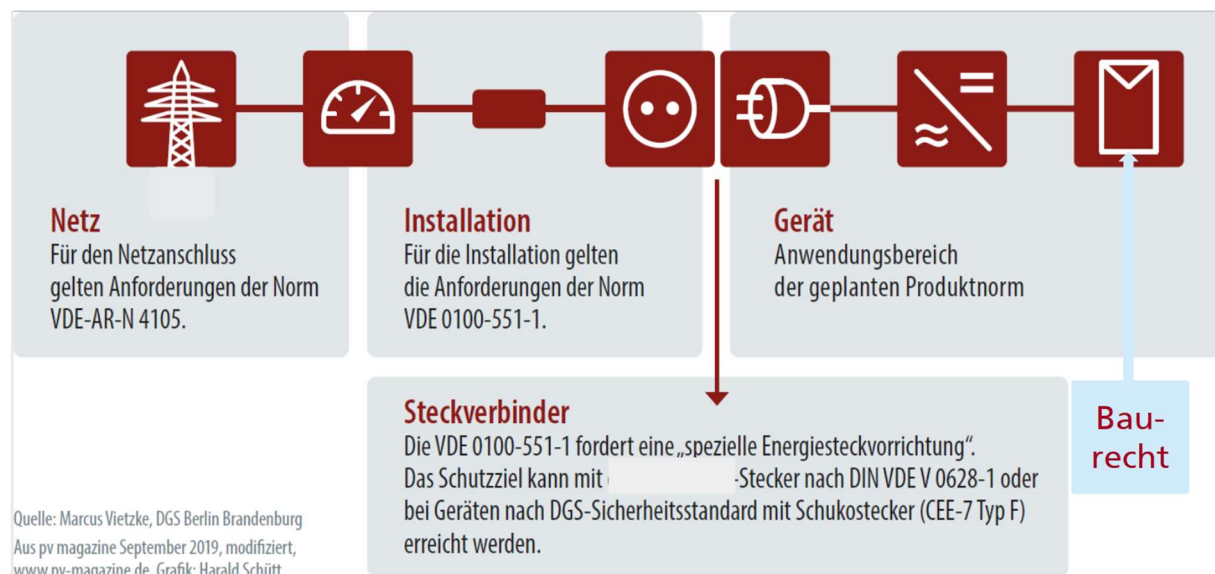
des Projektes sind. Im Zuge dessen wurde zudem Normungslücken und daraus ergebener Normungsbedarf ermittelt. **Meilenstein 1 – Zusammenfassung und Bewertung bestehender Normen für Komponenten** – wurde erreicht. Auch die mechanische Sicherheit und Anforderungen für elektronische Einrichtungen in Kombination mit Photovoltaik-Elementen aus der IEC 62109-3 – diese wurde erst in 2022 veröffentlicht – wurden zur Zielerreichung von Meilenstein 1 berücksichtigt. Fraunhofer ISE hatte in diesem Arbeitspaket die Leitung inne. Alle Verbundpartner und assoziierten Partner unterstützten mit Analysen und Recherchen. Die Arbeitsergebnisse fanden auch Eingang in den Normentwurf, im Kapitel 2 „Normative Verweisungen“.

Meilenstein M1 berücksichtigt die aktuellen Anforderungen.

Im späteren Projektverlauf stellte sich heraus, dass auch veraltete und zurückgezogene Normen für dies Arbeitspaket von Belang sind, weil sie für die entsprechende Altersklasse von Installationen maßgeblich waren. Beispielsweise finden sich in den Installationsnormen vor 1990 keine Angaben zu den Verlegearten A1 und A2 (Verlegung von Leitungen in wärme gedämmten Wänden). Diese spielten bis dahin keine Rolle. (Der Innenausbau mit Rigipsplatten wurde erst gebräuchlich, nachdem die Rauchgasentschwefelung der Kohlekraftwerke, bei der große Mengen Gips anfallen, verpflichtend geworden war.)

Diese Ergebnisse wurden auch für ein „Argumentationspapier“ verwendet, das zeitgleich mit der Vornorm veröffentlicht werden soll, und technische Grundlagen zur Norm und eine Risikobetrachtung enthält und mit dem Entwurf weiterentwickelt wird.

Die folgende Abbildung verdeutlicht das komplexe normative Umfeld, in dem die geplante Vornorm angesiedelt ist.



**Abbildung 2: Übersicht der normativen und regulativen Anforderungen**

Die DGS hat mit indielux und den anderen Partnern eine tabellarische Übersicht der geltenden Normen und Regeln erarbeitet. Die Zusammenstellung umfasst Normen und Vorschriften aus dem Bereich der elektrotechnischen Sicherheit in Hausinstallationen. Die Normen wurden dabei in 11 Kategorien für insgesamt 7 Länder und Regionen aufgeteilt und dem Konsortium als Tabelle: Normen\_uebersicht\_mit\_Inhalte\_V\_2020-12-02.xlsx bereitgestellt.

Für Deutschland wurden in Zusammenarbeit mit der DGS die Inhalte der relevanten Normen und Regeln ausgewertet und dem Konsortium als Dokument: DE\_Normen\_Inhalt\_SteckerSolar\_V2020-12-02.docx bereitgestellt.

Die DGS:

1. erstellte eine tabellarische Übersicht, welche geltende Normen und Regeln ausfolgenden Ländern und Institutionen umfasst: Deutschland, Europäische Union (EU), International Electrotechnical Commission (IEC), Mexiko, Chile, Spanien, Niederlande, Schweiz, Portugal, Österreich, Polen, Frankreich, Großbritannien und die USA. Thematische befasst sich die Zusammenstellung mit den relevanten Normen und Vorschriften aus dem Bereich der elektrotechnischen Sicherheit in Hausinstallationen. Die Zusammenstellung ordnet die Normen in 11 Kategorien für insgesamt 14 Länder und Regionen. Dieses Dokument wurde mit dem Fraunhofer ISE abgestimmt. Für Deutschland wurden die Inhalte der relevanten Normen und Regeln ausgewertet und in einem Dokument aufgelistet. Im Hinblick auf das zu untersuchende Worst-Case-Szenario in Elektroinstallationen und die Strombelastbarkeit von Installationsleitungen wurden historische Normen (VDE 0100 (1965) & TGL 200-0613/02 (1975)) dem Dokument hinzugefügt. Dieses Dokument enthält ebenfalls alle relevanten Anforderungen an Steckersolargeräte, die sich aus diesen Regeln und Normen ergeben. Dieses Dokument wurde mit dem Fraunhofer ISE abgestimmt.
2. Für den deutschen Markt wurden die die geltenden Normen und Regeln aus dem Baurecht, zur Montage und zum Brandschutz recherchiert und die für Steckersolargeräte und deren Installation relevanten Inhalte in der Datei DE\_Bauormen\_Regeln\_SteckerSolar\_V2021-01-06 zusammengefasst.

Für SIZ war für Recherchen und Analysen die Mitarbeit in drei verschiedenen Normungsgremien (DKE/AK 221.5.2; DKE/AK 542.4.7; DKE/AK373.0.4) sehr hilfreich, um Normungslücken in den Bereichen PV allgemein, Stecker PV sowie Steckverbindungen bei Energiesteckvorrichtungen aufzuspüren. Als Schwerpunkt wurden außer dem elektrischen Regelwerk die Anforderungen an die mechanischen Befestigungen von Steckersolargeräten geprüft und dazu statische Eigenschaften wie Wind und Schneelasten, Überkopfverglasung und Vorgaben der Musterbauordnung bewertet. SIZ und SIG brachten relevante Praxiserfahrung, sowie Kenntnisse anwendbarer Geräte- und Produktnormen ein.

ISE wertete bei diesen Normen die wichtigsten Inhalte in Bezug auf Belastungsreserven aus, diskutierte mit den anderen Partnern die Bedeutung der erfassten Normen und analysierte die Bedeutung von früheren Normenausgaben. Die Ergebnisse wurden in begleitende Dokumente für die Unterstützung der Normentwicklung eingearbeitet (Anhang B zum Normentwurf, Positionspapier, Entwurf Verlautbarung).

### **II.1.3. AP 3 Belastbarkeitsreserven in Elektroinstallationen**

indielux hat in Zusammenarbeit mit der DGS die Belastbarkeitsreserven der Elektroinstallation mit verschiedenen Prüfungen, Tests und Messungen ermittelt. Dazu wurden eine Messgeräteliste sowie verschiedene Messkonzepte erarbeitet. Die Messungen wurden im Prüflabor der HTW und an zwei Steckersolaranlagen im Feld vorgenommen. An der HTW wurden verschiedene Wandaufbauten sowie alte Elektroinstallationsmittel (z.B. Aluleitungen, Kontaktdosen und Steckdosen...) untersucht.

SIZ hat dazu unterstützende Arbeiten geleistet.

Die Langzeitmessungen im Feld wurden an Steckersolargeräten durchgeführt, die über Schuko®stecker in alte elektrische Anlagen mit Aluminiumleitungen (DDR-Installation) einspeisen. Dafür wurden mögliche Anlagenbetreiber gefunden. Es wurde ein Messkonzept und ein Sicherheitskonzept dafür erarbeitet. Die Messungen wurden von Peppino Dörder ausgewertet und als Masterarbeit an der TU-Berlin aufbereitet. Die Masterarbeit wurden der Projektgruppe präsentiert und diskutiert.

### *II.1.3.1 Messungen an Komponenten (DGS)*

Die DGS führte eine umfassende Recherche zu alten Elektroinstallationen und den historisch gültigen Normen inklusive denen aus der früheren DDR durch. Eine Bewertung der im Bestand existierenden historischen Elektroinstallationen erfolgte, woraus sich ein Worst case für den Betrieb eines einspeisenden Haushaltsgeräts, wie eines Stecker-Solar-Geräts ableiten ließ. Anschließend wurden verschiedene Messungen an Laboraufbauten und realen Elektroinstallationen durchgeführt, um zu bestimmen bei welchen Strömen sich welche Temperaturen an Leitungen, Schraubverbindungen und Steckdosenkontakten einstellen. V

Zur Ermittlung der Belastbarkeitsreserven wurden verschiedene Prüfungen, Tests und Messungen geplant. Es wurde geplant Messungen im Labor bei der HTW sowie auch bei einer Steckersolaranlage vor Ort vorzunehmen. Im Labor der HTW wurden verschiedene Wandaufbauten und die Verlegearten der Leitungen entsprechend der Norm DIN VDE 0298-4 sowie auch alte Elektroinstallationsmittel (z.B. Aluleitungen, Kontakt-dosen und Steckdosen...) untersucht.

Die Langzeitmessung vor Ort sollte zunächst an einem Steckersolargerät, das über einen Schuko Stecker in eine alte elektrische Anlage mit Aluminium (DDR-Installation) einspeist, vorgenommen werden. Dazu wurde ein möglicher Anlagenbetreiber gefunden. Es wurde ein Messkonzept und ein Sicherheitskonzept dafür erarbeitet. Das dafür benötigte und geeignete Betriebsdatenmess- und Monitoring-System wurde auf dem Markt angeschafft. Leider hatte der mögliche Anlagenbetreiber seine Bereitschaft für die Langzeitmessung am Steckersolargerät inzwischen abgesagt. Die Suche nach weiteren potenziellen Stecker-solaranlagenbetreibern mit alter Hauselektrik verlief über die Projektzeit erfolglos.

Zur Ermittlung der kritischen Fälle mit Steckersolargeräten wurden deshalb andere adäquate Messkonzepte entworfen, die die Belastung von Steckersolargeräten und gleichzeitiger hoher Last mittels konstanter Stromquelle nachbilden. Zur Ermittlung der Belastbarkeitsreserven in Elektroinstallationen wurden entsprechende Messaufbauten für die Labor- und Vorortmessungen entworfen und Messprozeduren geplant und die Messgeräte ausgewählt. Der Charme der Lösung war, das unabhängig von der Solarstrahlung und Verbraucherlast, die Hauselektrik systematisch mit steigendem Strom belastet und die Temperaturen an den Betriebsmitteln gemessen wurden. Dazu wurden Wohnungs- bzw. Hausbesitzer mit bis zu 60 Jahre alter Hauselektrik gefunden, die der DGS die Messungen ermöglichen vorzunehmen.

Es wurden zudem ausgebaute alte Betriebsmittel für die Labormessungen besorgt. Diese repräsentativen Elektroinstallationsmaterialien (Installationsleitungen, Steckdosen, Verteilerdosen und Schraubverbindungen) verschiedener Zeitabschnitte (1950-2000 BRD und DDR) mit unterschiedlichen Stromstärken mehrfach vermessen. Aus den Messungen wurden Temperaturprofile, Zeitkonstanten, Übergangswiderstände und letztlich Belastbarkeitsreserven ermittelt. Alle untersuchten Steckdosen wiesen starke Gebrauchsspuren auf. Als Stecker für Stromzufuhr wurden gebrauchte Schuko-Stecker HY005-F, die teilweise zerkratzt und oxidiert waren, verwendet. Somit wurde kritische Fälle untersucht. Insgesamt wurden einschließlich der Verteilerdosen 106 Messungen durchgeführt.

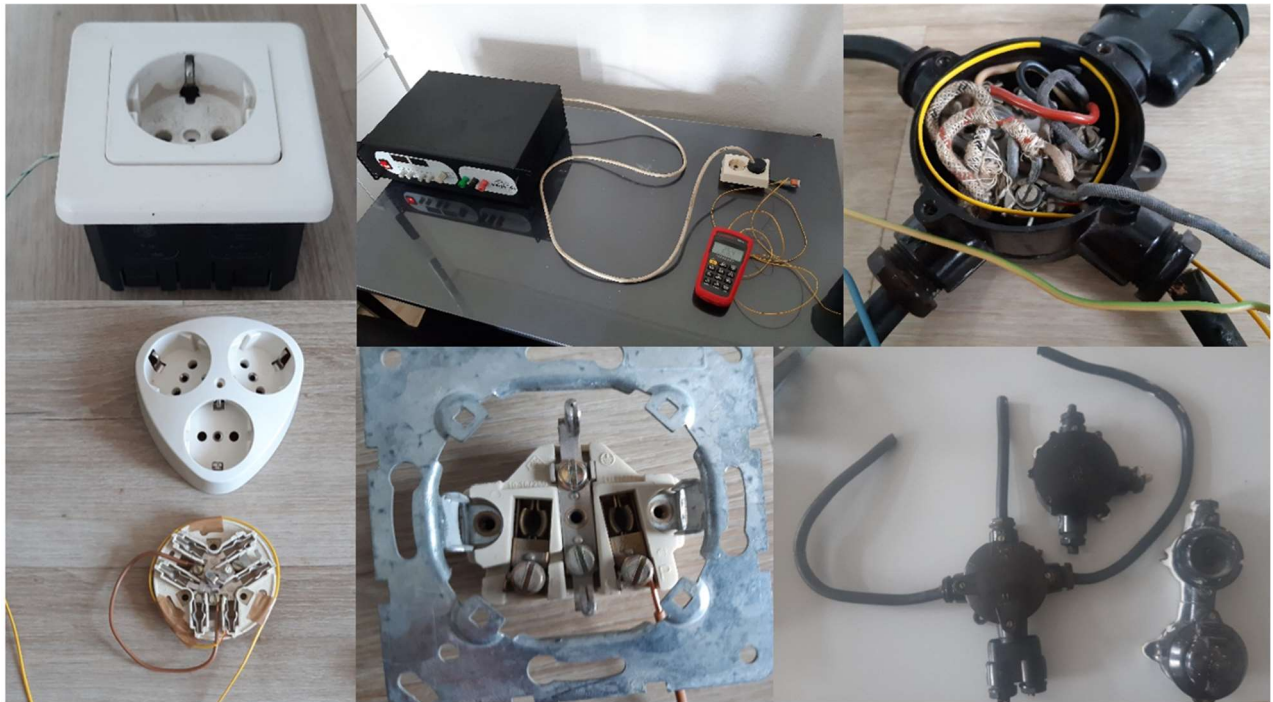


Abbildung 3: Laborvermessung von Steckdosen und Verteilerdosen verschiedener Baujahre 1950 bis 1980

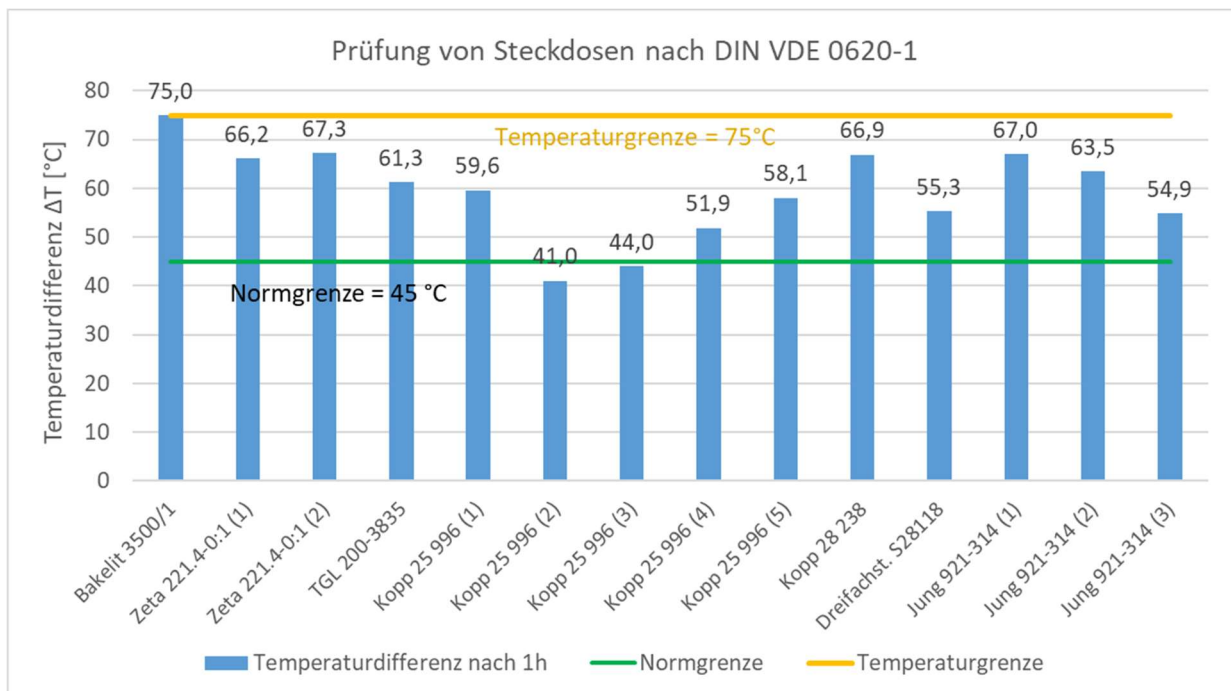
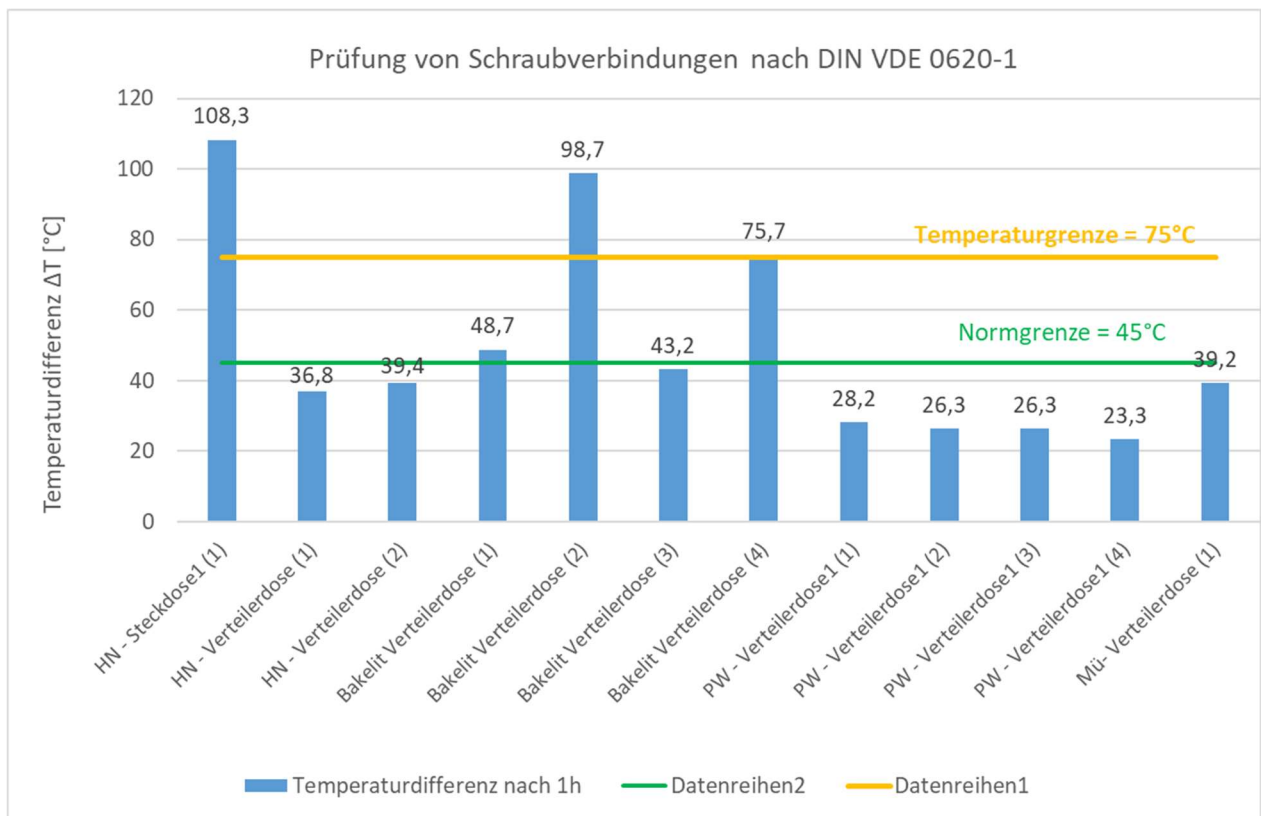


Abbildung 4: Laborvermessung von Steckdosen und Verteilerdosen verschiedener Baujahre 1950 bis 1980

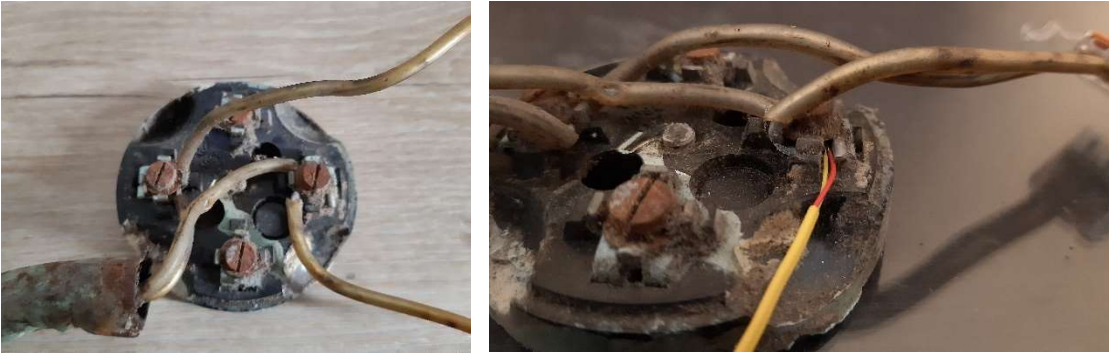
Die Prüfung ergab das zwei Steckdosen Kopp 25 996 (2) und (3) das Normkriterium 45 Kelvin für neue Steckdosen bestehen. Alle Steckdosen bleiben unter einer Temperaturdifferenz von  $\Delta T = 75$  Kelvin. Es werden somit keine kritischen Materialgrenzwerte erreicht. Die Steckdose 'Bakelit 3500/1' weist die größte Temperaturerhöhung auf. Diese ist jedoch im Betrieb jedoch mit 10 A abgesichert, so dass sich diese Erwärmung nicht einstellen würde.



**Abbildung 5: Auswertung der Versuchsreihen mit Verteilerdosen**

Im Vergleich zu Steckdosen bestehen weitaus mehr Verteilerdosen die Normkriterien für neue Installationen. Allerdings weist eine Dose auch den höheren Maximalwert für die Temperaturdifferenz auf. Die drei Schraubverbindungen über  $\Delta T = 75^{\circ}\text{C}$  'HN – Steckdose1 (1)', 'Bakelit Verteilerdose (2) und (4)', die im Labor vermessen wurden, sind Extremfälle. Durch den Ausbau wurden die Aluminium-Installationsleitungen gelockert und sind beweglich unter den Schraubverbindungen. Das ist ein typisches Verhalten bei Kontaktstellen mit Aluminiumleitungen. Um die Untersuchung nicht zu beeinflussen, wurden die Schraubverbindungen nicht nachgezogen. Diese Verteilerdosen wären in bestehenden, intakten Elektroinstallationen so nicht anzutreffen. Die noch eingebauten Verteilerdosen wiesen geringere Temperaturdifferenzen kleiner  $40^{\circ}\text{C}$  auf. Somit hielten diese trotz ihrem Alter von über 50 Jahren die Normwerte ein. Die Schraubverbindung 'PW – Verteilerdose1 (4)' in Pasewalk wies eine Temperaturerhöhung von  $23,3\text{Kelvin}$  auf. Sie stellt damit eine perfekte Schraubverbindung dar, obwohl sie eine Aluminiuminstallation aus den 1970er Jahren ist.

Die in Hohen Neundorf ausgebaute Verteilerdose zeigte bei der Labormessung den Maximalwert der Temperaturdifferenz von  $108,3\text{ Kelvin}$  bei einem Strom von  $25,8\text{ A}$ . Die Ursache dafür war, dass durch den Ausbau die Aluminiumleitungen nur noch sehr locker unter den Schrauben verbunden waren. Die Schrauben waren zudem stark korrodiert, so dass der Übergangswiderstand stark erhöht war. Leider konnte die Verteilerdose nicht vor dem Ausbau vermessen werden.



**Abbildung 6: Worst Case-Schraubverbindungen in der HN-Verteilerdose**

Mittels einer Stromquelle, Thermosensoren und Infrarotkameras wurde alte Aluminiumleitungsinstallation (nach TGL-Standard DDR 60iger Jahre) in einem Haus bei Pasewalk am 22.07.2021 vermessen.



**Abbildung 7: Untersuchte Hauselektrik- (Aluminium) aus den 70ern im EFH bei Pasewalk**

Es wurden Installationsleitungen, Steckdosen und Schraubverbindungen mit definiertem Überströmen belastet und die Temperaturen und Zeitkonstanten bestimmt. Zudem wurde eine Hausinstallation aus den 1960iger Jahren vom 19 bis 20.11.2021 in München mit der gleichen Methodik untersucht. Hier wurden mit gleicher Methode Schraubverbindungen und Steckdose vermessen.



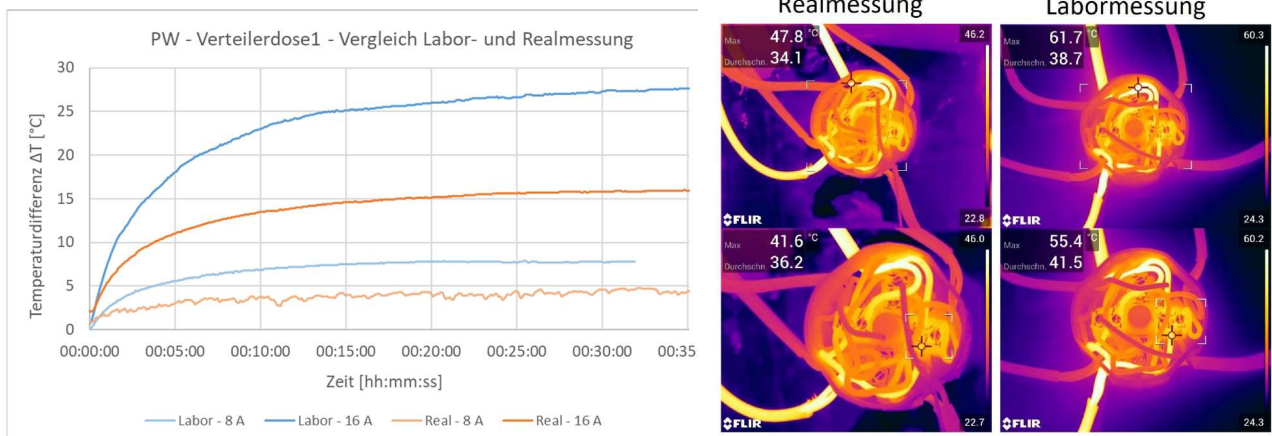
**Abbildung 8: Vorortmessungen einer Steckdose mit Temperatursensor zum Temperaturverlauf und zur Kontrolle mit Thermographiekamera in EFH bei Pasewalk**



**Abbildung 9: Messung der Verteilerdose mit Kupferleitungen vor Ort in Wohnung und 50er Jahre Installation in München**

Bei der Realmessung vor Ort in der Wohnung in München mit Elektroinstallation aus 1960iger Jahren und Kupferleitungen ergaben sich nach 1,5 Stunden Bestromung mit dem Prüfstrom von 25,8 A bei der Verteilerdose unter Putz eine Stagnationstemperatur von 60,3°C und damit eine maximale Temperaturdifferenz von 39,2 °C. Somit liegt die gemessene Temperaturdifferenz unter der nach Norm für neue Elektroinstallation zulässigen von 45 °C.

Der Vergleich von Labormessungen und Realmessungen vor Ort konnte am Hausobjekt bei Pasewalk vorgenommen werden. Die Elektroinstallation konnte vor Ort vermessen, dann ausgebaut und später im Labor vermessen werden. Die Labormessungen der Verteilerdose wiesen höhere Temperaturen auf, vor allem, weil durch den Abbau und Transport die Schraubverbindungen der Aluminiumleitungen gelockert wurden. Im Vergleich zur Worst Case-Verteilerdose waren die Aluminiumleiter hier jedoch noch fester geklemmt, allerdings ließen sich diese in den Schraubverbindungen etwas bewegen. Im Vergleich des Temperaturverlaufs zwischen Real- und Labormessung ergibt sich eine um etwa 20 °C höhere Temperaturdifferenz. Die zusätzlich vorgenommenen Thermografien bestätigen diesen Wert.



**Abbildung 10: Vergleich von Labor- und Realmessungen der Elektroinstallation bei Pasewalk**

In der Auswertung und Interpretation der Ergebnisse der Messungen (Pasewalk, München und Labormessung) werden die mögliche Gefährdung von Hausinstallationen durch den Betrieb einer Steckersolaranlage und Handlungsempfehlungen für die Produktnorm thematisiert. Die Zusammenfassung der Messungen ist in der Datei „Kurzfassung\_MA\_Belastbarkeitsreserven“ zu finden. In der Interpretation der Ergebnisse der Messungen (Pasewalk, München und Labormessung) wurden die mögliche Gefährdung von Hausinstallationen durch den Betrieb einer Steckersolaranlage und Handlungsempfehlungen für die Produktnorm herausgearbeitet.



### II.1.3.2 Analyse von Schadengutachten (ISE, IfS)

Fraunhofer ISE konzipierte, beauftragte und betreute die Untersuchung von Brandgutachten des „Institut für Schadensanalyse und Schadensverhütung der öffentlichen Versicherer“ (IfS). Diese Untersuchung hatte zum Ziel herauszufinden, ob es systematische Schwachpunkte in Elektroinstallationen gibt und ob diese gegenüber Steckersolargeräten sensitiv sind. Einerseits hofften wir, Hinweise auf besonders wichtige Aspekte des Einsatzes von Steckersolargeräten an Endstromkreisen zu erlangen, andererseits wollten wir herausfinden, ob und ggf. welchen Verbesserungsbedarf es in der Installationstechnik gibt.

Für die Datenbankabfrage wurde seitens IfS eine teilautomatisierte Abfrage mit folgendem gemeinsam entwickelten Schlagwort-Katalog implementiert:

**Tabelle 3: Schlagworte zur Auswertung der Schadendatenbank**

<b>Grundidee: Von der Hauseinspeisung zur Steckdose</b>	
Ebene 1	Brandursache "Elektrizität"
Ebene 2	"Elektrische Installationen"
Ebene 3	Teilsystem:
	Hausanschlussleitung
	Hausanschlusskasten
	Hauptleitung
	Stromkreisverteilung und el. Unterverteilung
	Schaltschränke (beinhaltet das Hausverteiler/Zählerschrank?)
	el. Installationsleitung
	Leitungstyp
	Querschnitt der Leiter
	Material der Leiter, gezielt nach "Aluminium" suchen
	Überstromschutzorgan
	Verteilerdosen
	Steckdosen u. Lichtschalter
	Leuchten
	Sonstige
weitere Kriterien	
	Identifikation z.B. "Ort_JJMMTT"
	Datum und Uhrzeit des Brandes
	Art der Nutzung der Installation (Haushalt, Büro, Gewerbe, Industrie)
	Alter der Installation zum Brandzeitpunkt
ggf. Ursache:	
	unbekannt
	lose Klemmverbindung
	überlastete Klemmverbindung
	Isolationsfehler - mechanische Beschädigung
	uralt Technik
Verfeinerung	

	unterputz/ aufputz	
	Kontakttechnologie in betroffenen Komponenten (Schraube, Steckklemme (WAGO))	
	Randbedingungen, die Brandausbreitung begünstigten	

Anhand dieser Schlagworte wurden ca. 1000 Gutachten herausgefiltert und einzeln geprüft. Danach sind Isolationsfehler insgesamt mit 60 % der diagnostizierbaren Fehler die häufigste Brandursache. Bei Elektroleitungen sind Isolationsfehler sogar die bei weitem – mit 98 % - bedeutendste Brandursache. „Überhitzte Leitung“ durch Überstrom wurde als Brandursache nicht gefunden. Folgende Bilder zeigen die Hauptergebnisse im Überblick.

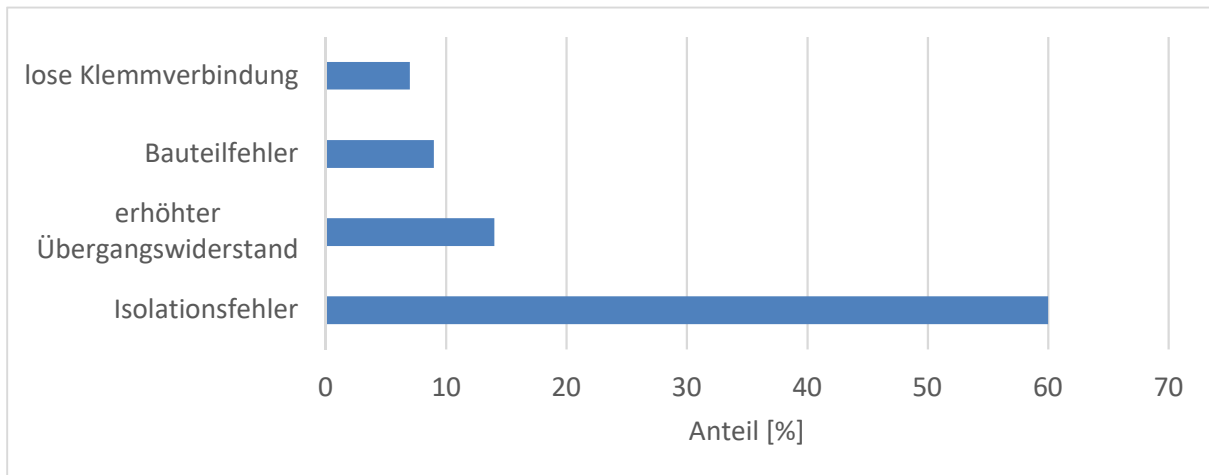


Abbildung 11: relative Häufigkeit der bestimmaren Fehlerursachen

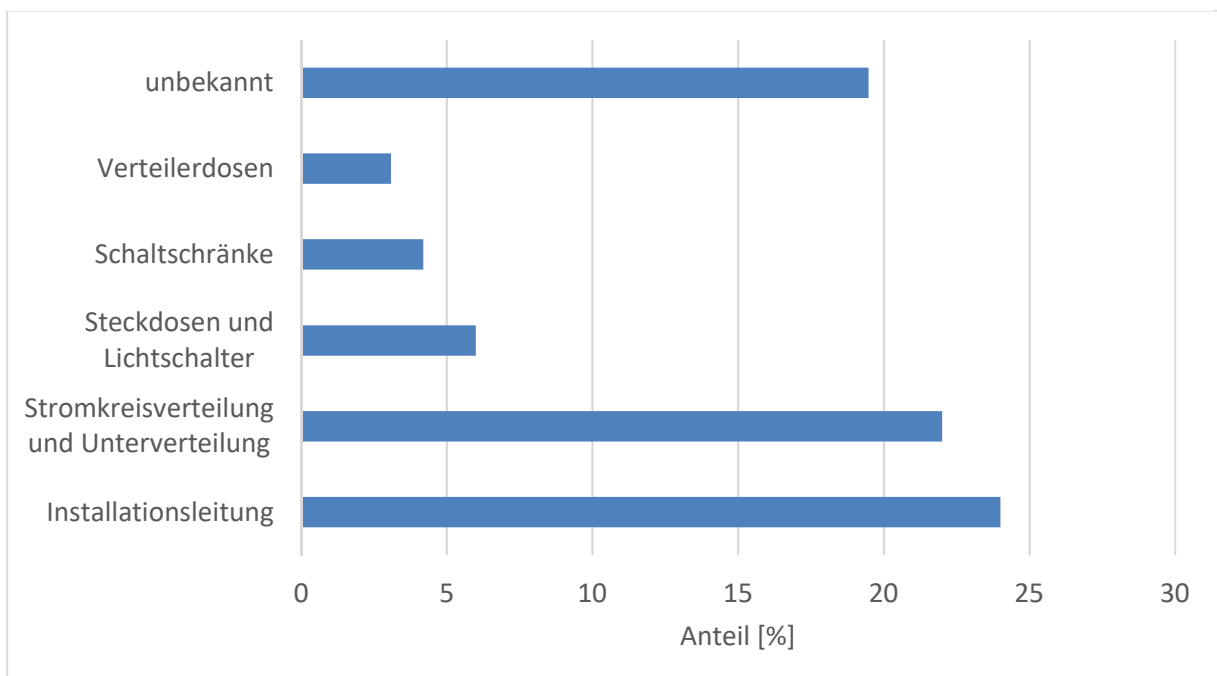


Abbildung 12: relative Häufigkeit der bestimmaren Fehlerorte und -komponenten

### II.1.3.3 Analyse von normativen Belastbarkeitsreserven (ISE in Kooperation mit DGS)

Ein weiterer Schwerpunkt der ISE Arbeiten bei diesem Arbeitspaket lag in der Beurteilung von Belastbarkeitsreserven, die in den einschlägigen Normen angelegt sind. Diese Ergebnisse wurden anderen Normungskomitees vorgestellt und diskutiert, und ebenfalls in die begleitenden Dokumente wie „Verlautbarung“ übernommen.

Im Folgenden wird ein leicht gekürzter Auszug aus diesem Dokument vorgestellt.

#### *Belastbarkeitsreserven von Leitungen bei normgemäßer Auslegung*

##### *Anlagen ab etwa 1990*

Die zulässigen Dauerströme von Leitungen in Abhängigkeit von der Verlegeart nach DIN VDE 0298-4 [3] zeigt folgende Tabelle für den Leiterquerschnitt 1,5 mm<sup>2</sup>. Die Tabelle gilt für PVC-isolierte Kupferleitungen im Dauerbetrieb und Stromkreise mit zwei belasteten Leitern. In Deutschland wird als Umgebungstemperatur 25 °C angesetzt. Zum Vergleich werden auch die Parameter für eine Umgebungstemperatur von 20 °C angegeben, was eine übliche Raumtemperatur für die Heizsaison ist. (Bei niedrigerer Umgebungstemperatur erhöhen sich die Belastungsreserven.)

**Tabelle 4: Dauerbelastbarkeit von Leitungen 1,5 mm<sup>2</sup> mit zwei belasteten Leitern bei 25°C Umgebungstemperatur (nach DIN VDE 0298-4) und Belastbarkeitsreserve beim Schutz durch LS-Schaltern mit I<sub>n</sub>=16 A**

Verlegeart	A1	A2	B1	B2	C
Umgebungstemperatur 25 °C					
<b>Strombelastbarkeit I<sub>z</sub> in A</b>	16,5	16,5	18,5	17,5	20,7
<b>Belastbarkeitsreserve in A</b>	0,5		2,5	1,5	4,7
<b>korrespondierende AC Leistung in W</b>	120		600	360	1210
Umgebungstemperatur 20 °C					
<b>Strombelastbarkeit I<sub>z</sub> in A</b>	17,4	17,4	19,7	18,5	21,9
<b>Belastbarkeitsreserve in A</b>	1,4		3,7	2,7	6
<b>korrespondierende AC Leistung in W</b>	330		840	580	1360

Die Werte der VDE 0298-4 sind in ihrem Titel „Empfehlungen“ genannt, und gelten für Dauerbelastung. Wie in AP 3 gezeigt wird, sind Haushaltslastprofile aber durch kurzzeitige Leistungsspitzen über einem Band von niedriger Dauerlast gekennzeichnet.

Die thermische Zeitkonstante einer NYM 3x1,5, mm<sup>2</sup> Leitung in Verlegeart A2 beträgt etwa 20 min.

Es gibt also bei den Leitungen eine dynamische Belastbarkeitsreserve.

##### *Anlagen vor 1990*

Installationen in Altbauten folgten anderen Regeln als heute gebräuchlich:

*„Ältere, z.B. stoffummantelte Leitungen, wurden in Steckdosenstromkreisen mit 10 A abgesichert. Zudem treten niedrigere Temperaturen auf, da die Leitungen unter oder auf Putz verlegt wurden, Verlegeart C ist hier die thermisch ungünstigste Verlegeart. Die Reserve bei 25°C Umgebungs-temperatur beträgt 11 A.*

*Aluminium-Leitungen, wie sie oft in den neuen Bundesländern eingesetzt wurden, wurden mit 2,5 mm<sup>2</sup> Querschnitt ausgeführt und mit 10 A abgesichert. Zudem treten niedrigere Temperaturen auf, da diese nicht in Dämmung verlegt wurden und die spezifischen Verluste eines 2,5 mm<sup>2</sup> Aluminiumleiters kleiner sind als die eines 1,5 mm<sup>2</sup> Kupferleiters. B2 ist hier die thermisch ungünstigste Verlegeart. Die Belastbarkeitsreserve bei 25°C Umgebungstemperatur beträgt mindestens 5 A.“*

#### *Implizit angenommene Belastungsreserven*

Die aktuellen Regeln zum Überstromschutz von Leitungen können unter bestimmten Bedingungen zu Leitertemperaturen oberhalb von 70 °C führen. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Leitungen robust genug sind, um gelegentlich Temperaturen oberhalb von 70 °C schadlos zu überstehen.

Zum einen spielt die Auslösecharakteristik der LS-Schalter eine Rolle:

#### *Reserven durch LS-Schalter Reaktionszeiten*

Aus der Auslegung des Überstromschutzes samt dessen Charakteristik lässt sich eine deutliche Belastbarkeitsreserve ableiten. Das Risiko eines Schadens durch diesen Überlastbereich – bis 145 % - ist offensichtlich sehr gering. Daraus lässt sich schließen, dass elektrische Installationen inhärente, kurzzeitige, das heißt bis zu 1-stündige, Überlastreserven von etwa 40 % haben. Bei 16 A entspricht das einem Strom von 6,4 A.

#### *Reserven durch getrennte Stromkreise für Großverbraucher, DIN 18015-2 [5]*

Seit 1980 werden „Großverbraucher“, das sind Geräte mit einer Leistungsaufnahme von  $\geq 2$  kW, gemäß der Planungsnorm DIN 18015-2 über eigene Stromkreise gespeist.

Steckersolargeräte können in Anlagen, die seit dieser Zeit errichtet worden sind, also standardmäßig nur in Stromkreise mit „kleinen“ Lasten einspeisen.

Berücksichtigt man noch, dass die Verlegearten A1 und A2 erst 1988 normativ eingeführt worden sind, können Steckersolargeräte bei Leitungen der Verlegeart A2 nur in Stromkreise mit kleinen Lasten einspeisen. Dort ist eine Dauerlast von 3 kW oder mehr, die Voraussetzung für eine mögliche Leitungsüberlastung, extrem unwahrscheinlich.

Die Einspeisung in einen Endstromkreis der Verlegeart A1 oder A2 mit seiner geringen Belastungsreserve ist also mit keinem signifikanten Überlastrisiko verbunden.

#### *Reserven durch Haushaltlastprofile*

Die für eine Überlastung der Leitung erforderliche dauerhafte Belastung einer Leitung mit dem maximal zulässigen Strom  $I_z$  ist schon alleine aufgrund der Haushaltlastcharakteristik so gut wie ausgeschlossen.

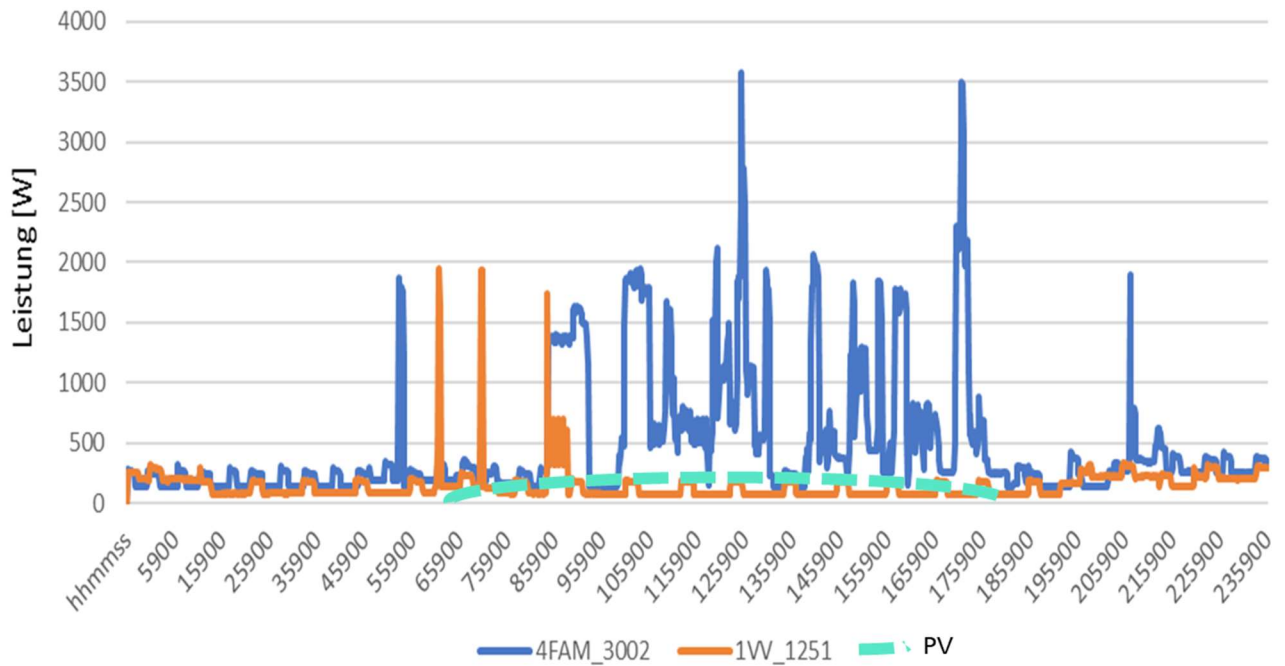
Der mittlere jährliche Stromverbrauch eines Haushaltes in Deutschland betrug in 2021 ca. 3000 kWh (Quelle: Statista). Das entspricht einer mittleren Last von 330 W. Typische Haushaltlastprofile sind entsprechend durch eine Dauerlast von 100 W – 300 W gekennzeichnet, der kurzzeitige Spitzenleistungen - von Wärmeanwendungen - überlagert sind (siehe Abbildung 6).

Hohe Leistungen treten üblicherweise nur in Herd/Backofen, Waschmaschine und Spülmaschine auf, sowie einigen eher kurzzeitig oder gelegentlich genutzten Wärmegeräten wie Thermomix, Wasserkocher, Kaffeemaschine, Fön, Waffeleisen, Heizlüfter und Tischgrill.

Folgende Abbildung 13 zeigt beispielhafte Lastprofile für einen Tag für folgende Haushaltstypen.

- 4 Personen Haushalt
- 1 Personen Haushalt

Zum Vergleich ist die mittlere Erzeugungskurve eines 600 W Steckersolargerätes (mit einer durchschnittlichen täglichen Energieerzeugung von 1,4 kWh/d dargestellt).



**Abbildung 13: beispielhafte Haushaltslastprofile eines Tages mit minütlicher Auflösung von zwei unterschiedlichen Haushaltstypen [6]**

Obige Abbildung zeigt beispielhafte, individuelle Haushaltslastprofile.

Geht es darum, summarische Lastverläufe einer größeren Anzahl von Haushalten zu analysieren, um Gesetzmäßigkeiten zu sehen, sind Standardlastprofile (SLP) des VdEW besser geeignet. Standardlastprofile sind normierte Tageslastprofile im 1/4 Stunden Raster, mit denen Ensembles gleichartiger Verbraucher beschrieben werden.

Die folgende Abbildung zeigt ausgewählte Tage für die charakteristischen Tag-Typen und Jahreszeiten [6].

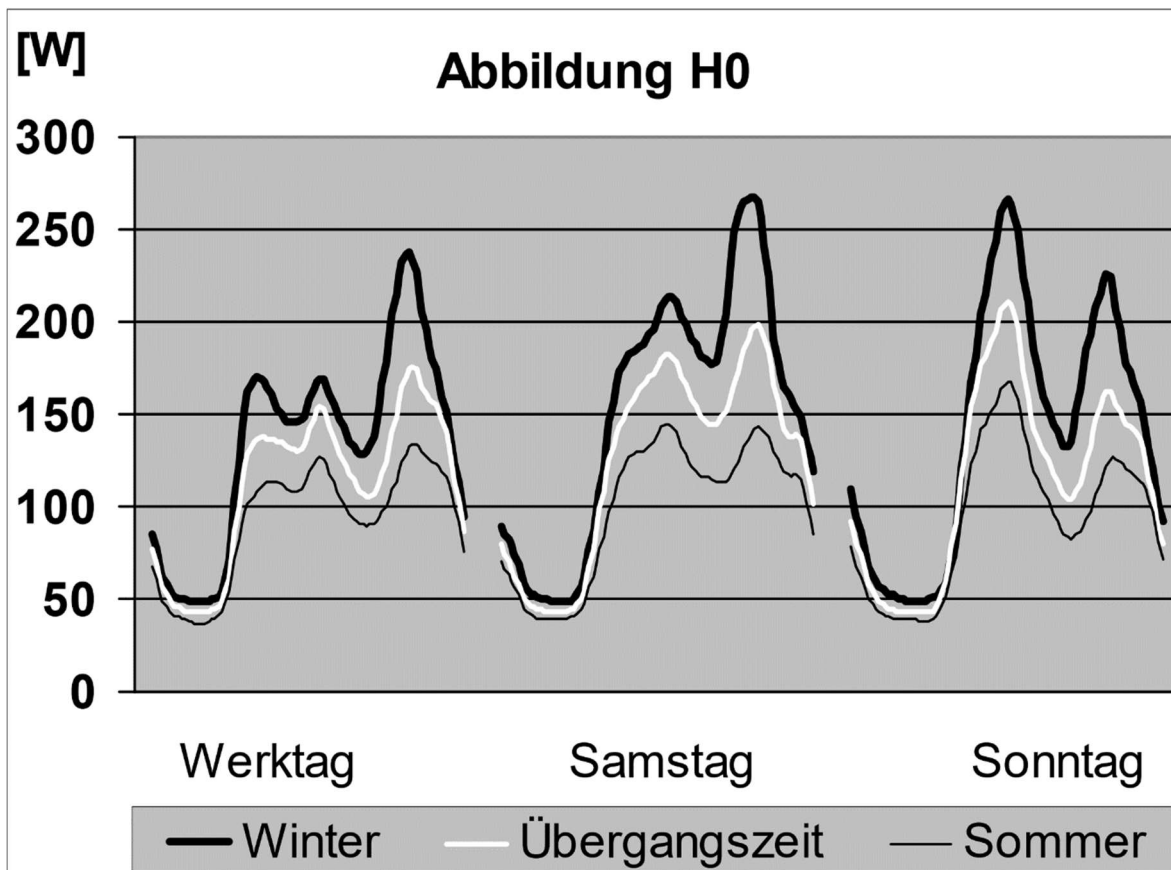


Abbildung 14: Verläufe von auf 1000 kWh/a normierten Standardlastprofile für ausgewählte Tage [7].

Abbildung 5 macht folgendes deutlich: Mit Ausnahme des Sonntags liegen die Verbrauchsspitzen der Haushalte in den Abendstunden, also zu einer Zeit, wo die Einspeisung aus PV Anlagen gegen „Null“ strebt. Eine Leitungsüberlastung ist dann sehr unwahrscheinlich. Der Stromverbrauch liegt im Sommer, also wenn PV Anlagen den größten Teil ihres Jahresertrages produzieren, deutlich niedriger, als im Winter. Auch dieser Effekt reduziert die Wahrscheinlichkeit einer Leitungsüberlastung.

#### Altanlagen

Bezüglich der Leitungsbelastbarkeiten sind Altanlagen – damit sind hier Anlagen vor 1990 gemeint – einem geringeren Risiko ausgesetzt, als spätere Anlagen. Grund dafür sind die früher vorherrschenden Verlegearten „Unterputz“, B und C mit ihrer höheren thermischen Belastbarkeit. Die entsprechende heutige Strombelastbarkeit rangiert von 17,5 A bis 21 A.

#### Fazit

Mehrere Mechanismen bewirken oder implizieren reale Belastungsreserven:

- Endstromkreise in Haushalten werden in aller Regel weit unterhalb ihres Nennstroms belastet.
- Alle heutigen Verlegearten weisen bei  $T_{amb}=25\text{ °C}$  normativ eine Belastungsreserve auf.
- Der jahreszeitliche Verlauf von Haushaltsstromverbrauch und solarer Erzeugung weist eine negative Korrelation auf. Dies reduziert die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens von hoher Last und hoher Einspeisung im Endstromkreis.
- Leitungen in Verlegeart A2 besitzen eine thermische Zeitkonstante von ca. 20 min. Stromspitzen bis zu dieser Dauer führen daher zu Temperaturerhöhungen von maximal 62 % der stationären Endtemperatur, die dieser Strom verursachen würde.

- Die Dimensionierung des Leitungsschutzes weist daraufhin, dass das Risiko von kurzzeitigem Überstrom mit bis zu 145 % des Nennstroms für vernachlässigbar gering gehalten wird.
- Haushaltsgeräte mit hohem Leistungsbedarf, ab 2 kW Leistung, werden entsprechend der Planungsnorm DIN 18015-2 seit mehr als 40 Jahren über einen eigenen Stromkreis versorgt. Damit ist Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens einer dauerhaften Last von 3 kW, oder mehr, und einer überlagerten Einspeisung von 800 W für dies Anlagen von vorneherein vernachlässigbar.
- Unsanierte Altbauten sind bezüglich der Leitungsbelastbarkeit robust, da dort 10 A Schmelzsicherungen und Verlegearten B2 und C zum Einsatz kamen. Hier gibt es normative Reserven von 5 A und mehr.

Es besteht also im Normalbetrieb bei Endstromkreisen von Haushalten eine viel höhere Belastungsreserve, als die Auslegung des Leitungsschutzes für Dauerstrom annehmen lässt.

### II.1.3.3 Simulationsstudie zur Belastung von Endstromkreisen (ISE, indielux, HTW Berlin)

Auf Bitte von K 373 aktualisierte die HTW Berlin, Forschungsgruppe Solarspeichersysteme, die Simulationen der PI Studie (siehe [2]), die vor Jahren für eine Leistung von 600 W durchgeführt worden war, für eine Einspeisenennleistung von 800 W, bzw. 3,5 A Einspeisestrom.

Die Studie untersucht für die thermisch ungünstigste Verlegeart A2 folgende Effekte:

- Leitertemperaturen beim maximalen Dauerstrom  $I_n \cdot 1,13$  + Erzeugung Steckersolargerät mit  $I_n = 16$  A.  
Dieser Strom ist der maximale Strom, der bei Verwendung von LS-Schaltern dauerhaft anliegen kann.
- Auswirkung Steckersolargerät auf Haushaltlastprofil und auf realistische Leitertemperaturen

Die Modellrechnung erfolgte mit 1-minütiger Auflösung.

#### *Leitertemperatur im Endstromkreise bei maximaler Dauerlast*

Als Grenzfall für die Leiterbelastung wird eine Dauerlast von  $16 \cdot 1,13$  A = 18,1 A angenommen. Das ist der Strom bei dem der Überstromschutz normgemäß mindestens eine Stunde lang nicht auslöst. Zu diesem Strom wird ein PV - Einspeisestrom eines 800 VA Gerätemodells addiert wird.

Dies ist zwar kein realistischer Betriebsfall, wird aber als die „größte anzunehmende Belastung“ (GAB) des Stromkreises angenommen. Können bei dieser größten anzunehmenden Belastung brandgefährliche Temperaturen auftreten?

Folgende Abbildung zeigt zunächst den Zeitverlauf des Leiterstroms mit minütlicher Auflösung.

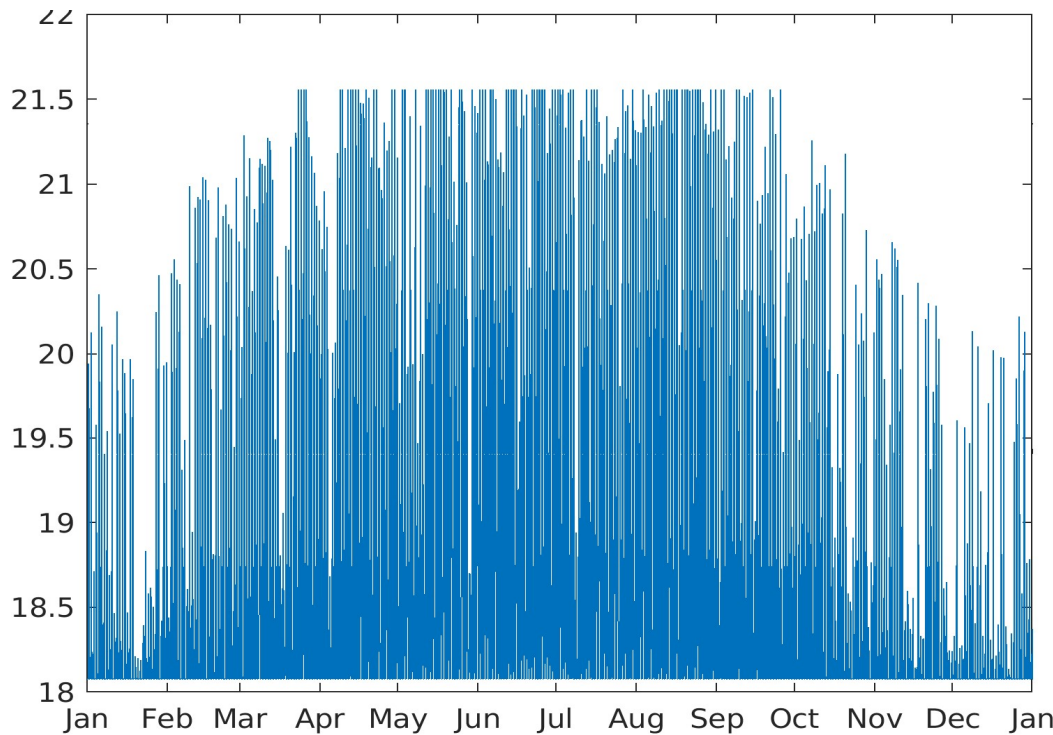


Abbildung 15: zeitlicher Verlauf des Leiterstroms in den ca. 530 000 Minuten eines Jahres. Zur Grundbelastung von 18,1 A wird der variabler PV-Strom addiert. Man erkennt den Effekt der Leistungs-begrenzung. (Nullpunkt unterdrückt)

Dabei treten die im folgenden Bild gezeigten Temperaturen auf.

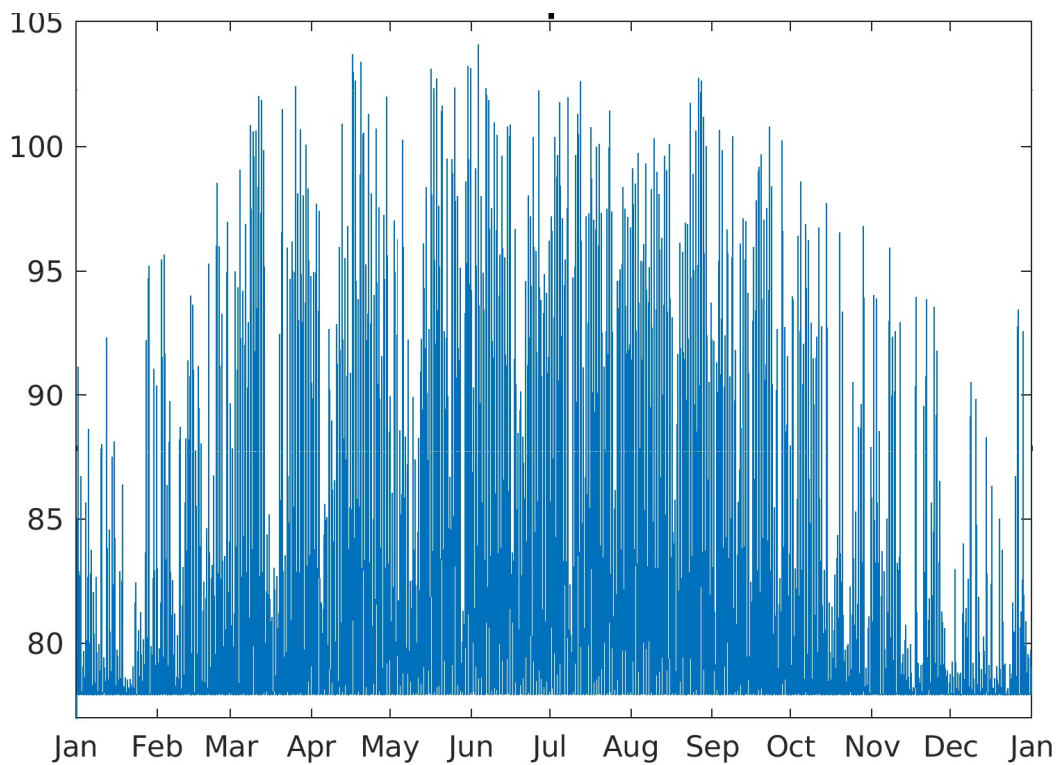


Abbildung 16: zeitlicher Verlauf der Leitertemperatur bei GAB



Abb. 9 zeigt, dass bei GAB Temperaturen bis zu 104 °C auftreten können. Das ist deutlich unterhalb der Temperatur von etwa 200 °C, bei der PVC anfängt thermisch instabil zu werden, und weit unter der Entflammungstemperatur von PVC von 390 °C [10].

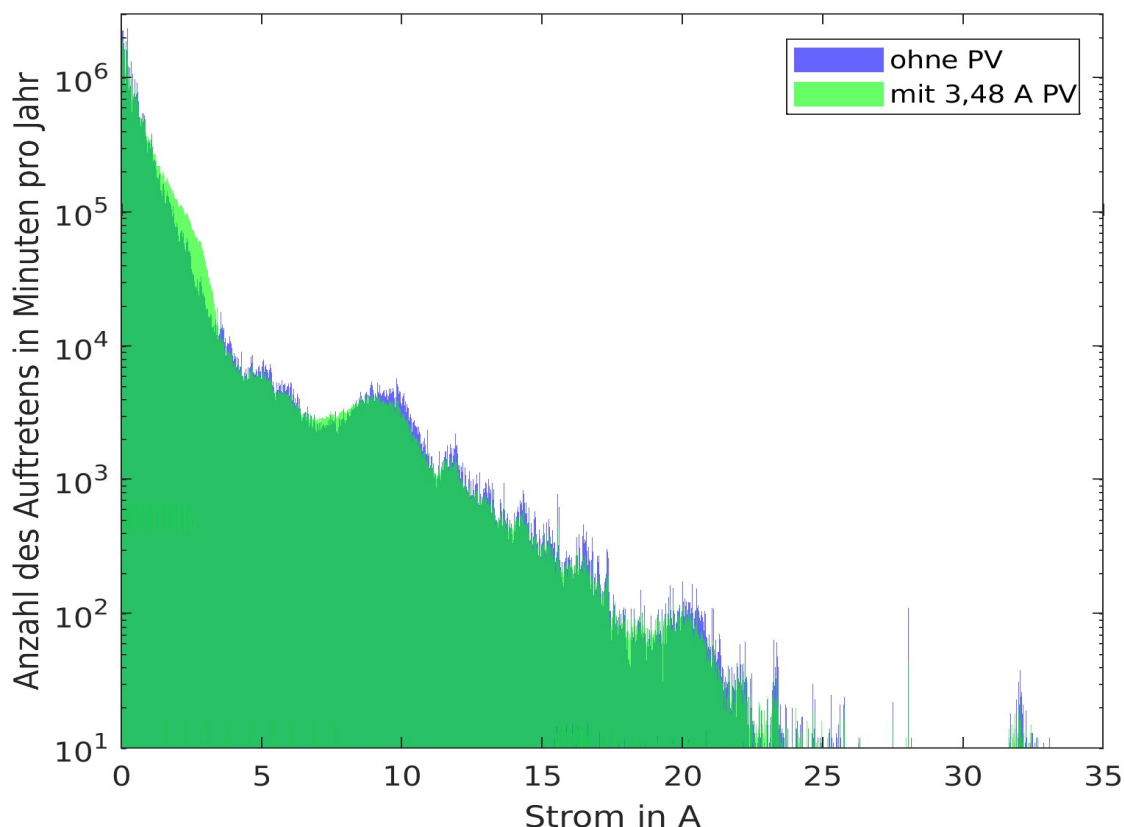
Eine Brandgefahr kann also selbst bei dieser extremen Belastung ausgeschlossen werden. Es soll noch einmal betont werden, dass es sich hierbei um einen extrem unwahrscheinlichen Belastungsfall handelt, der in realen Haushalten nicht auftritt.

### **Simulation Endstromkreis mit repräsentativem Lastprofil**

Mit welcher realistischen Strombelastung ist in einem Endstromkreis maximal zu rechnen? Und welche Leitertemperaturen treten dabei für die - thermisch ungünstigste - Verlegeart A2 auf? Dies wird in der folgenden Simulation untersucht.

Als Extremfall nimmt die Studie im Folgenden an, dass die komplette Last einer Phase in den Endstromkreis mit Einspeisung fließt. Dieses Vorgehen überschätzt die real zu erwartende Belastung, da auch die Last der getrennten Herdanschlussleitung darin enthalten ist, ist also eine konservative Annahme. Verwendet werden dafür 222 Lastprofile, die in Summe das Referenzlastprofil „Haushalt“ H0 ergeben [8].

Folgende Abbildung zeigt die aus den obigen Vorgaben folgende Häufigkeitsverteilung des Stroms vom Netz in den Endstromkreis.



**Abbildung 17: Häufigkeitsverteilung des Strompegels im Einspeisestromkreis durch den Überstromschutz einer repräsentativen Belastung mit 222 unterschiedlichen Lastprofilen (in Summe H0 Referenzlastprofil) ohne und mit 3,5 A Steckersolargerät; logarithmische Darstellung**

Abbildung 1710 zeigt, dass die Installation im Normalbetrieb durch ein Stecker-Solar-Gerät insgesamt entlastet wird und die hohen Ströme leicht abnehmen. Das ist sehr plausibel, da ein Teil des Strombedarfs jetzt intern gedeckt wird. Lediglich die Häufigkeit von kleineren Strömen, um 2 A und um 7 A nimmt leicht zu.

Der Stromhäufigkeitsverteilung aus der vorigen Abbildung entspricht die folgende Häufigkeitsverteilung der Temperaturen des Leiters im Endstromkreis. Hier wurde mit einem dynamischen Temperaturmodell mit thermischer Zeitkonstante von ca. 20 min gerechnet.

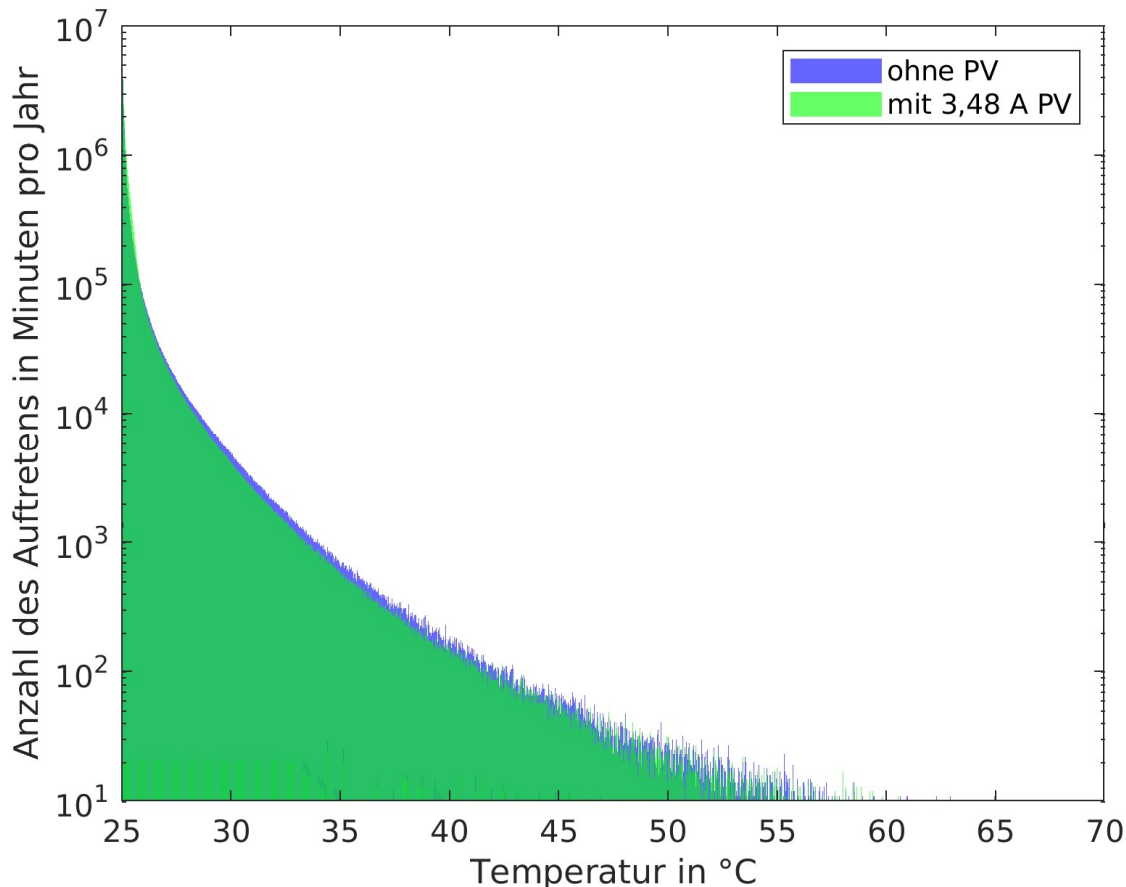


Abbildung 18: berechnete Häufigkeitsverteilung der Leitertemperatur des Endstromkreises; logarithmische Darstellung

Man erkennt, dass die Leitertemperaturen selbst bei der Belastung mit dem gesamten Strom einer Phase klar unterhalb der Grenztemperatur von  $70^{\circ}\text{C}$  bleibt. Die „Quereinspeisung“ führt im Normalbetrieb sogar zu einer Reduktion der hohen Temperaturen.

#### II.1.4. AP 4 Innovative Ansätze zur Ausnutzung von Belastbarkeitsreserven in Elektroinstallationen

ISE war bei diesem Arbeitspaket beratend tätig und half bei der Darstellung der Ergebnisse.

Bei Steckersolargeräten besteht eine Herausforderung in Bezug auf die Bestimmung der Strombelastbarkeit eines vorhandenen Anschlussstromkreises. Denn dieser wird im Gegensatz zu konventionellen Solaranlagen nicht neu errichtet. Alterungseffekte könnten die Belastbarkeit des Stromkreises beeinflussen.

Indielux hat alle geeigneten Technologien zur sicheren Einspeisung in Endstromkreise die am Markt verfügbar sind recherchiert, ausgewertet, bewertet und dem Konsortium in einem Bericht zur Verfügung gestellt:

“innovative.ansaetze.v04.docx“. Ferner hat indielux hat einen Vorschlag für die Berücksichtigung von innovativen Ansätzen für die DIN\_VDE\_V\_0126-95 erstellt.

Indielux hat in Zusammenarbeit mit SolarInvert drei Prototypen eines Steuergeräts zur Leistungserfassung und Leitungsüberwachung von Steckersolargeräten entwickelt. Das Steuergerät wurde weiterentwickelt und getestet. indielux hat die Erkenntnisse in die Weiterentwicklung des ready2plugin Stromwächters einfließen lassen.

Die DGS hat in Gesprächen und Austausch mit den Vertretern des Projektpartners Indielux zu innovativen Ansätzen zur Ausnutzung von Belastbarkeitsreserven in den Elektroinstallationen und den normativen Forderungen evaluiert. Darüber hinaus ist die DGS assoziierter Partner im IFAF-Projekt „PV.pluginTools – Digitale Werkzeuge für Plug-In Solarenergiesysteme“, in dem innovative Ansätze entwickelt werden und ein Prototyp eines Stromwächters entwickelt wurde. Dieser ist mit Sensoren am Zähler und Sensoren an Steckersolargerät ausgestattet und sorgt dafür, dass bei Überstrom das Steckersolargerät entsprechend abregelt wird. Die sichere Abregelung des Reglers bei Überstrom wurde bei verschiedenen Szenarien diskutiert und Lösungen erarbeitet. Erkenntnisse aus dem IFAF-Projekt „PV.pluginTools – Digitale Werkzeuge für Plug-In Solarenergiesysteme“ flossen in das vorliegende Projekt ein.

#### II.1.4.2 Laborstudie zur Beurteilung des Zustands von Elektroinstallationen durch kontinuierliche Impedanzmessung (SolarInvert GmbH)

Bei Steckersolargeräten besteht eine Herausforderung in Bezug auf die Bestimmung der Strombelastbarkeit des vorhandenen Anschlussstromkreises. Denn dieser wird im Gegensatz zu konventionellen Energieanlagen nicht neu errichtet, sondern kann bereits Alterungseffekten unterliegen sein, die seine Belastbarkeit beeinträchtigen könnten. Deshalb kam unter den Projektteilnehmern die Frage auf, ob Wechselrichter technisch dazu in der Lage sind, oder so weiterentwickelt werden können, den Installateur bei der Zustandsbeurteilung zu unterstützen, diesen Zustand dauerhaft zu überwachen und bei einer Verschlechterung den Betreiber zu alarmieren. Somit würde die Sicherheit der elektrischen Anlage erhöht, da im Gegensatz zu gewerblichen Anlagen im Privatbereich keine Revisionspflicht besteht. Diese Fragestellung wurde von SolarInvert theoretisch und experimentell bearbeitet.

#### Arbeitshypothese 1:

- Die befürchtete (partielle) Überlastung von Endstromkreisen durch Steckersolargeräte kann durch eine kontinuierliche Bestimmung des Leitwerts erkannt und verhindert werden, weil sich die Temperatur des Leiters auf den elektrischen Widerstand auswirkt.
- Bewertung: **Keine Risiko-Erhöhung** durch Steckersolargeräte mit entsprechender Technik.

#### Arbeitshypothese 2:

- Sich verschlechternde Steck-, Klemm- und Schraubverbindungen in der Kundeninstallation können durch Steckersolargeräte erkannt und Betreiber gewarnt werden.
- Bewertung: **Sicherheits-Gewinn** durch Steckersolargeräte mit entsprechender Technik.

Zusatznutzen: Dokumentation von Netzereignissen mit möglichem Störpotential für den Kunden

© Copyright SolarInvert GmbH

Abbildung 19: Hypothesen zum Nutzen einer Impedanzüberwachung in Endstromkreisen

Die grundsätzliche Machbarkeit wurde nachgewiesen und die Ergebnisse im Rahmen eines Workshops auf der smarte-e Messe in München vorgestellt.

In Laborversuchen wurden fehlerhafte Kontakte und ein erhöhter Serienwiderstand simuliert. Die Impedanzmessung konnte diese Effekte detektieren wie folgende Abbildung zeigt.

### Mögliche Kenngrößen für die Zustandsabschätzung:

- „Versatz“ der Netzimpedanz  
-> kann auf Temperaturerhöhung von Leitungen oder Korrosion von Kontakten hinweisen
- „Streuung“ der Netzimpedanz  
-> kann auf lose Kontakte mit schwankendem Übergangswiderstand hinweisen

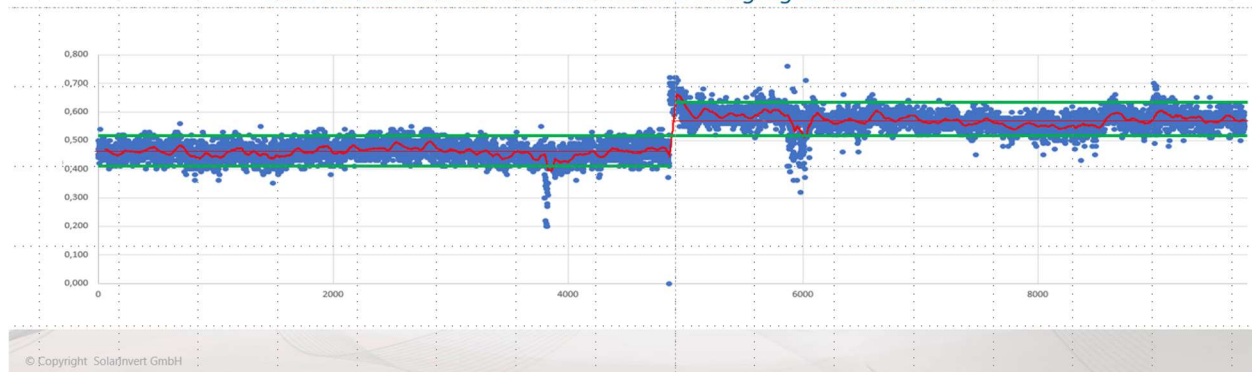


Abbildung 20: Impedanzmesspunkte (blau), Mittelwert (rot) und Streubereich (grün) der Impedanzmessung

Es kann festgehalten werden, dass im Versuchsaufbau durch zyklische Einspeisung von Blindleistungspulsen die Erwärmung von Leitungsteilen, sowie schlechte Klemm- und Schraubverbindungen anhand von charakteristischen Veränderungen der Stromkreisimpedanz detektiert werden konnten.

Eine eingehendere Untersuchung und potentielle Produktentwicklung könnte Gegenstand eines zukünftigen Forschungsprojekts sein.

## II.1.5. AP 5 Erstellung Anforderungskatalog Steckersolargeräte

Es wurde durch alle Verbundpartner ein Konzept für die Erstellung eines Anforderungskataloges für Steckersolargeräte entwickelt. Die inhaltliche Arbeit konnte abgeschlossen werden und damit wurde **Meilenstein 3 – Entwicklung eines Anforderungskatalog** – erreicht.

SIZ hat aufbauend auf den Arbeitspaketen 1-4 Schutzziele und Sicherheitslevels für Steckersolargeräte erarbeitet, der Schutz vor elektrischem Schlag untersucht, Anforderungen zur elektrischen und mechanischen Sicherheit von Steckersolargeräten erarbeitet und ein Konzept zur Erstellung eines Anforderungskataloges für Steckersolargeräte erstellt. Hierfür hat SIZ unterstützende Arbeiten geleistet.

Indielux hat die Erkenntnisse aus AP4 hinsichtlich der Schutzziele und Anforderungen dem Konsortium vorgestellt und mit dem Normungsgremium AK 373.0.4 diskutiert. Ein entsprechendes Dokument wurde erstellt und dem Konsortium zur Verfügung gestellt: E\_DIN\_VDE\_V\_0126-95\_VDE\_V\_126-95\_V2.docx. Indielux hat einen Vorschlag für die Berücksichtigung von innovativen Ansätzen für die DIN\_VDE\_V\_0126-95 erstellt.

Die DGS diskutierte die Schutzziele und Anforderungen für Stecker-Solar-Geräte in der Normungsarbeit. Die Anforderungen an Stecker-Solar-Geräte wurden in einem Anforderungskatalog der parallel zur Normungsarbeit entstanden ist zusammengetragen. Im Anforderungskatalog wurden die Erkenntnisse der Messungen und der historischen Normen beachtet und ergänzt. Die in der Normungsarbeit entwickelte Anforderungen wurden nachgetragen. Der finale abgestimmte Anforderungskatalog wurde als Dokument Anforderungskatalog\_v3 (konsolidierte Fassung)-1\_Kommentare\_LK\_RH\_PD.docx vom 26.1.2022 dem Fraunhofer ISE übermittelt, das die Endredaktion übernahm. SIZ und SIG wirkten während der Abstimmung mit.

## **II.1.6. AP 6 Prüfverfahren und Tests an Komponenten**

Arbeitspaket 6 diente der Prüfung von Komponenten hinsichtlich wichtiger Sicherheitseigenschaften. In ihm waren alle Verbundpartner aktiv. Ziel waren **Beschreibungen von Prüfverfahren (Meilenstein 4)**, der vollständig erreicht worden ist.

Fraunhofer ISE wurde ein Teststand eingerichtet. Die indielux GmbH hat verschiedene Wechselrichter Fabrikate beschafft und bereitgestellt. Die geplante Messreihe ist abgeschlossen.

Die Wechselrichterprüfung liegt bei ISE, Kontakt- und Steckerprüfungen liegen bei DGS, indielux und SIZ. Zur Untersuchung der Kontakt und Steckverbindungen wurde durch DGS ein Masterarbeitsthema definiert. Dies steht im Zusammenhang mit den Arbeiten in AP 3. Im Rahmen der Normungsarbeit wurden Testverfahren und Prüfungen vorgeschlagen und diskutiert.

Die DGS und ISE recherchierten die normativen Grundlagen für die Grenzwerte der Restspannung bzw. -energie an den AC-Steckkontakten.

SIZ hat für diese Tests Wechselrichter besorgt. Da SIZ in den eigenen Steckersolargeräten ausschließlich AE Conversion Wechselrichter einsetzt, wurde vor allem zur Technikabteilung dieser Firma der Kontakt hergestellt. Die Ergebnisse und Diskussionen über die Ergebnisse wurden u.a. mit dem Technischen Leiter, Herrn Mielke, geführt.

Zusammenfassend lassen sich die folgenden Aktivitäten zur Zielerreichung von Meilenstein 4 festhalten:

- Beschaffung der Wechselrichter-Prüflinge
- Konzeptionierung, Entwurf und Aufbau des Prüfgeräts zur Restspannungsprüfung
- Beschaffung von Wechselrichtern
- Durchführung erster Prüfungen
- Umbau und Erweiterung des Prüfaufbaus um die Bestimmung der Restenergie
- Restspannungsprüfungen an Wechselrichtern (Prüfung von 10 Wechselrichtern, > 500 Messungen)
- Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse in den Normungsgremien DKE/AK 373.0.3 und DKE/AK 373.0.

Im Folgenden werden die Prüfungen und die Prüfergebnisse detaillierter vorgestellt.

### **Prüfung an Wechselrichtern**

Eine wichtige sicherheitstechnische Größe bei Haushaltsgeräten ist die Spannung, die unmittelbar nach Ziehen des Steckers aus der Steckdose noch an den Kontakten anliegen kann. Die zulässigen Grenzwerte dieser Größe werden für Haushaltsgeräte in der der Haushaltsgerätenorm EN 60533- 1, Kap 22.5 festgelegt. Folgendes Bild gibt den Norminhalt wieder.

## Prüfung auf Restspannung (von Kondensatoren) laut Haushaltsgerätenorm EN 60533- 1, 22.5

Geräte, die mit einem Stecker an die Stromversorgung angeschlossen werden, müssen so gebaut sein, dass im sachgemäßen Gebrauch keine Gefahr eines elektrischen Schlags von geladenen Kondensatoren mit einer Bemessungskapazität über  $0,1 \mu\text{F}$  besteht, wenn die Stifte des Steckers berührt werden.

Prüfung wie folgt:

Das Gerät wird mit Bemessungsspannung versorgt. Dann werden jegliche Schalteinrichtungen in die AUS-Stellung geschaltet, und das Gerät wird zum Zeitpunkt des Spannungsscheitelwertes von der Stromversorgung getrennt.

Eine Sekunde nach der Trennung wird die Spannung zwischen den Stiften des Steckers mit einem Messinstrument gemessen, das den zu messenden Wert nicht merklich beeinflusst.

Die Spannung darf **34 V** nicht überschreiten.

Abbildung 22: normative Anforderungen zur Prüfung auf Restspannung

Für diese Prüfungen wurde ein Prüfstand durch Fraunhofer ISE entwickelt und aufgebaut, da er nicht käuflich zu erwerben war. Im Folgenden geben einige Bilder einen Eindruck von dem Aufbau und von Prüfergebnissen.

### Prüfgerät

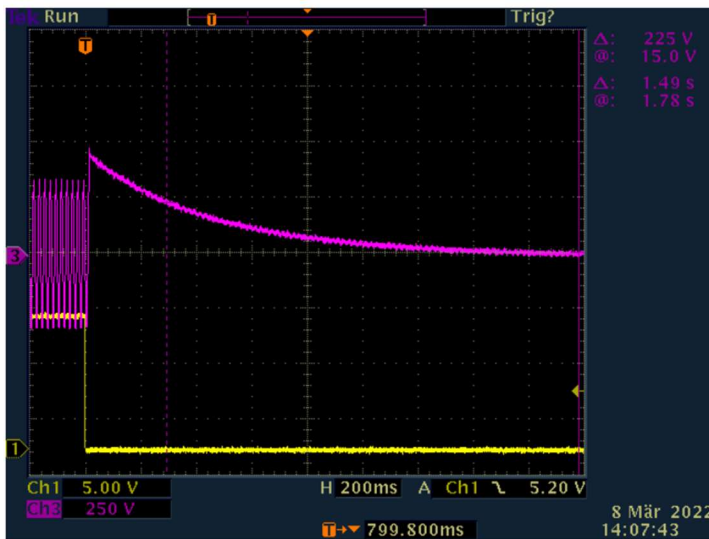


Prüfgerät zur Restspannung bei Abschaltung gemäß VDE 60335-1, 22.5

Abbildung 21: Prüfgerät zur Restspannungsmessung im Elektroniklabor.

Die Beschaffung der Prüflinge gestaltete sich schwierig, da bedingt durch die durch „Corona“ gestörten Lieferketten monatelang keine Wechselrichter verfügbar waren. Dankenswerterweise konnten die

Projektpartner indielux und SIZ mit Leihgeräten aushelfen. Bei den ersten Messungen zeigten sich Abklingzeiten bei der Restspannung, die oberhalb der normativ zulässigen Zeit von einer Sekunde liegen.



In violett der Verlauf der Spannung am Wechselrichteranschluss ohne Entladewiderstand. In Gelb das Triggersignal

Stromkreis wird beim Spannungsschmelwert geöffnet.

Die Verzögerung von Trigger zu Abschalten ergibt sich durch die Eigenzeit des Relais und das geforderte Schalten bei Spitzenspannung.

Der Wechselrichter lieferte vor dem Trennen mit ca. 265W fast Vollast.

Bei Unterbrechung des Stromkreises steigt die Spannung auf ca 470 V an.

Dann folgt typische Kondensatorentladung.

-> Dauer >= 1 s

6  
© Fraunhofer ISE  
VERTRAULICH

Fraunhofer  
ISE

Abbildung 23: Erste Prüfungen ergaben eine Entladezeit > 1 s.

Wegen dieser zu langen Abfallzeiten entschieden wir uns, die Prüfung zu erweitern und als zweiten Prüfparameter die Abschaltenergie zu untersuchen. Andernfalls bestünde das Risiko, dass die Wechselrichter die zukünftige Norm nicht erfüllen können, und nicht vermarktet werden dürfen.

Eine „Begrenzung der Entladeenergie“ auf 350 mJ ist eine ebenfalls normativ genutzte Methode, die elektrische Sicherheit zu nachzuweisen.

Um die Restenergie messen zu können, wurde ein zusätzlicher Stromkanal mit Entladewiderstand in den Aufbau integriert. Damit wird der Entladestrom gemessen

#### Nr 1 – WR Ausgang mit 1,2 kOhm – Ersatzimpedanz Mensch - belastet



$P_{WR} = 265W$

Violett: Spannung am Wechselrichteranschluss mit Entladewiderstand  
Gelb Trigger

In Grün der Strom von/zum WR

Restspannung nach 4 ms bei „Null“

9  
© Fraunhofer ISE  
VERTRAULICH

Fraunhofer  
ISE

Abbildung 24: mit einem Entladewiderstand von 1,2 kOhm sinkt die Restspannung in etwa 4 ms auf „Null“.

Man erkennt, dass der Strom (grünes Signal) praktisch augenblicklich abbricht. Die Spannung (violette Signal) zeigt eine Erhöhung um etwa 40 % und fällt dann schnell ab.

Folgendes Bild zeigt das erste Drittel des vorigen Bildes gedehnt.

### Nr 1 – WR Ausgang mit 1,2 kOhm – Ersatzimpedanz Mensch - belastet



$P_{WR} = 265W$

Violett: Spannung am Wechselrichterausgang mit Entladewiderstand

Gelb: Trigger

In Grün: Strom von/zum WR

Restspannung nach 4 ms bei „Null“

Strom mit überlagertem Störsignal - Schaltfrequenzanteile?

Kontakte „prellen“

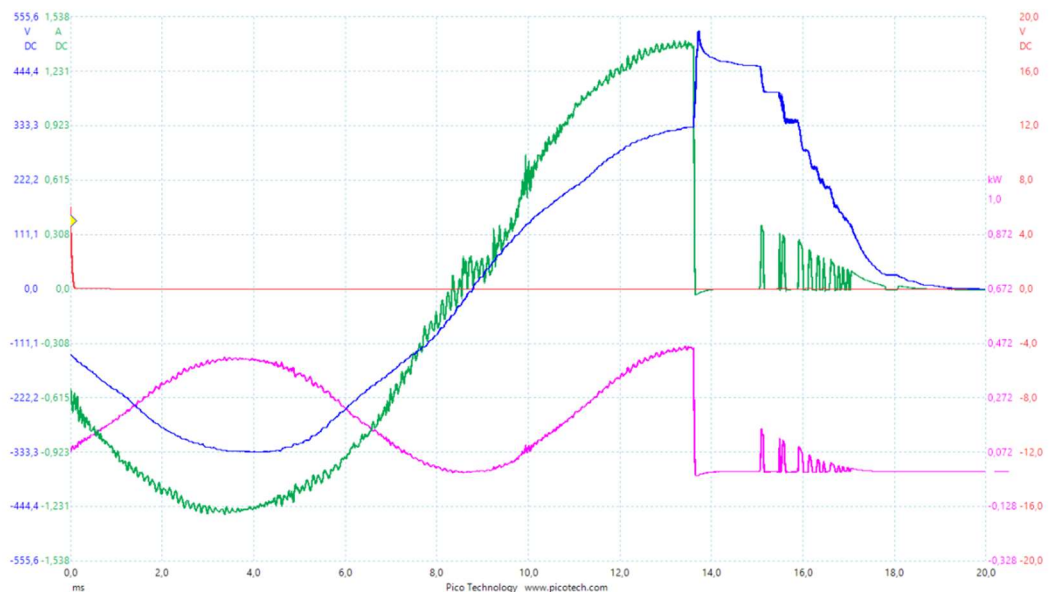
11  
© Fraunhofer ISE  
VERTRAULICH

Fraunhofer  
ISE

Abbildung 25: Ausschnitt aus dem vorigen Bild; der Strom wird sofort unterbrochen, die Spannung sinkt mit Entladewiderstand in etwa 4 ms auf 0 V.

Mit Entladewiderstand  
 $P = 240 W$

Leistung  
Abschaltenergie:  
ca. 60 mJ



19  
© Fraunhofer ISE  
VERTRAULICH

Fraunhofer  
ISE

Abbildung 26: Signalverläufe nach Umbau (neue Meßtechnik); blau: Spannung, grün: Strom, magenta: Leistung

### Messkampagne

Die Verfügbarkeit von Klein-WR war in 2022 durch das globalen Lieferkettenproblem stark eingeschränkt. Um das wichtige Thema „Restspannungsprüfung“ dennoch zu verfolgen, hatten wir Partnerfirmen um Leihgeräte gebeten und diverse Geräte erhalten. Folgende WR konnten wir auf diese Art prüfen (Dank an Marcus Vietzke und Wolfgang Müller für Leihgeräte!):



3 Stck	AEConversion INV 315
1 Stck	Beon 1
3 Stck	Bosswerk MI 300
1 Stck	Deye Sun300G3
2 Stck	envertech 300
1 Stck	envertech 560 (zwei Eingänge)
1 Stck	Hoymiles HM-1500 (vier Eingänge)
1 Stck	Letrica 280

Die Wechselrichter wurden im Zeitraum von 09/2021 bis 02/23 beschafft. Sie wurden jeweils nach folgendem Prüfungsplan geprüft.

Übersicht		Messung	P/Pn	Einheit	0,1	0,3	0,5	0,7	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>Messungen bei 5 Lastpunkten</li> <li>Jeweils 5 Messungen</li> </ul>	1	t(U=34V)	ms						
		U(t=0,2s)	V						
		U(t=1s)	V						
		E_entlade	Ws						
<ul style="list-style-type: none"> <li>Bestimmung der Zeit bis 34 V Restspannung erreicht sind</li> </ul>	2	t(U=34V)	ms						
		U(t=0,2s)	V						
		U(t=1s)	V						
		E_entlade	Ws						
<ul style="list-style-type: none"> <li>Bestimmung der Restenergie, die beim Trennen des WR freigesetzt wird</li> </ul>	3	t(U=34V)	ms						
		U(t=0,2s)	V						
		U(t=1s)	V						
		E_entlade	Ws						
	4	t(U=34V)	ms						
		U(t=0,2s)	V						
		U(t=1s)	V						
		E_entlade	Ws						
	5	t(U=34V)	ms						
		U(t=0,2s)	V						
		U(t=1s)	V						
		E_entlade	Ws						

Abbildung 27: Entwurf Prüfungsplan und -protokoll

Durch die Erweiterung der Prüfung um die „Restenergie“ verdoppelte sich der Messaufwand, wir mussten über 600 Dateien auswerten. Dafür haben wir ein Skript entwickelt, das die Auswertung rasant beschleunigte.

## Ergebnisse

Die folgenden Bilder zeigen die Ergebnisse der Prüfungen nach obiger Messtabelle mit jeweils 25 Messungen pro Parameter.

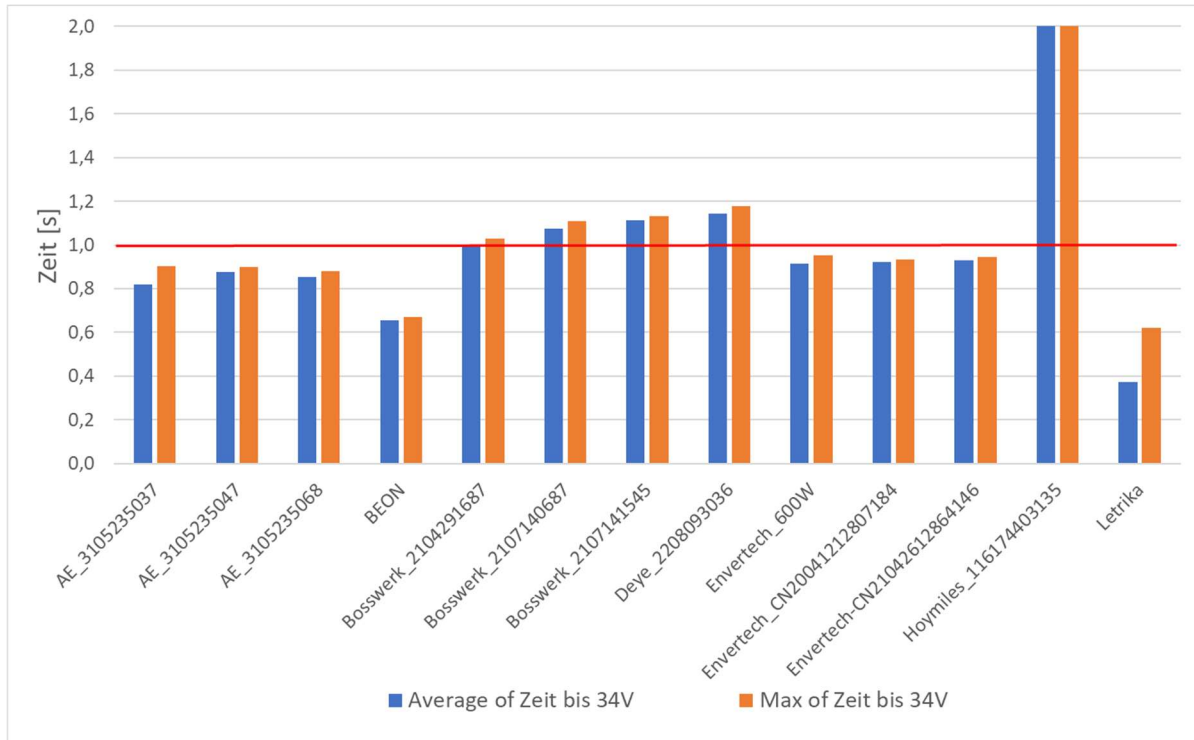


Abbildung 28: mittlere (blau) und maximale (orange) Zeit bis die Restspannung auf 34 V abgefallen ist. Die waagerechte rote Linie markiert den Grenzwert von 1 s.

Die meisten der geprüften Wechselrichter erfüllen die Anforderungen der DIN EN VDE 060335-1.

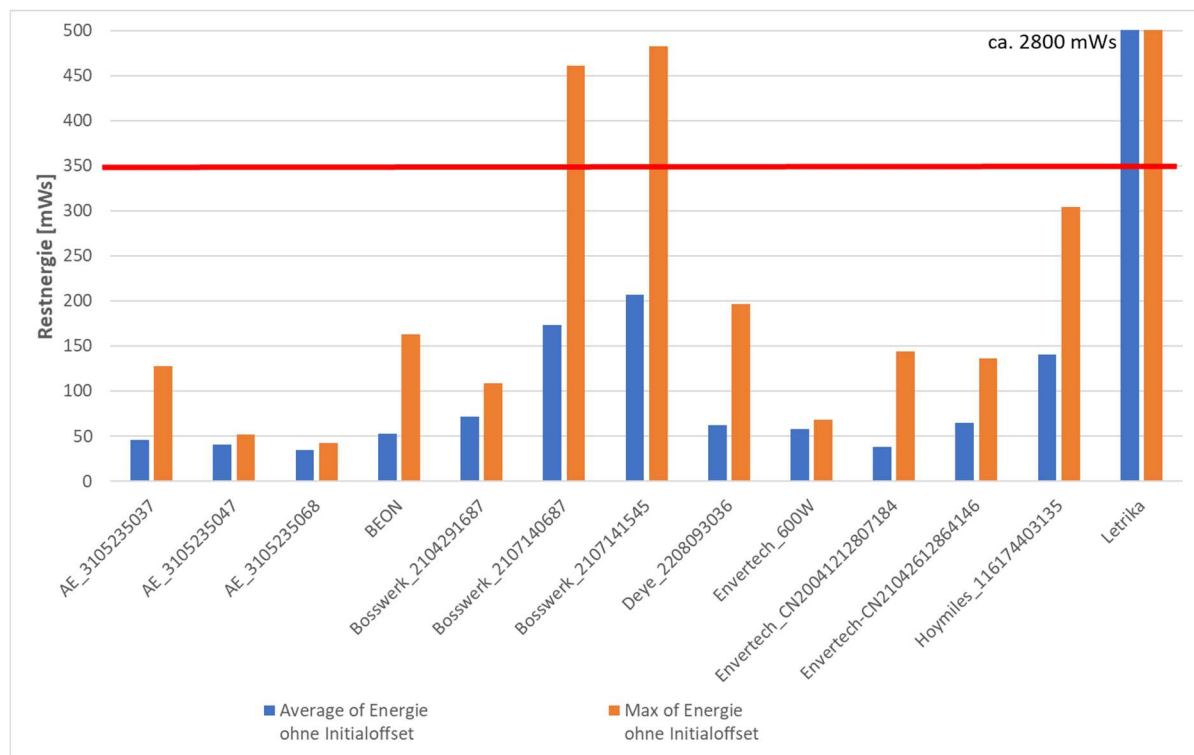


Abbildung 29: mittlere (blau) und maximale (orange) Restenergie bei Netztrennung; Der angesetzte Grenzwert - waagerechte rote Linie - liegt bei 350 mJ.

Alle bis auf einen Wechselrichter erfüllten die Bedingung einer mittleren Abschaltenergie von weniger als 350 mJ. Nur der Letrica Wechselrichter zeigte bei dieser Prüfung ein merkwürdiges Verhalten: Es kam zu einer Art Nachschwingen mit einer stark erhöhten Restenergie.

### **Weitere Prüfungen**

Die indielux GmbH hat ein Vorschlag für Prüfverfahren für innovative Ansätze erstellt und dem Konsortium präsentiert und in einen Bericht zur Verfügung gestellt: innovative.ansaeetze.v04.docx.

Ferner wurde das von indielux und SolarInvert entwickelte Steuergerät zusammen mit den von SolarInvert zur Verfügung gestellten Wechselrichtern praxisnah getestet. Die Funktion und Ausfallsicherheit konnten erfolgreich getestet werden.

## II.1.7. AP 7 Normentwicklung, Gremienarbeit Normung national/ international

Ziel dieses Arbeitspaketes war es, die Projektergebnisse in die Normung und Standardisierung auf nationaler und internationaler Ebene zu überführen und einen Normentwurf zu steckerfertigen Solargeräten zu entwickeln. Auf Grund der schnelleren Umsetzbarkeit entschieden wir uns, eine „Vornorm“ zu erstellen. Dieser Prozess ist gegenüber einer „Vollnorm“ schneller, dafür muss das Dokument nach drei statt fünf Jahren auf weitere Gültigkeit geprüft werden. Federführender Arbeitskreis bei der DKE ist der DKE/AK 373.0.4 „Steckerfertige PV-Systeme“, der bereits zu Beginn des Projektes die normative Erarbeitung einer Produktnorm aufgenommen hatte. Die organisatorische Leitung des Arbeitskreises wurde durch die DKE während der gesamten Projektlaufzeit und wird auch fortlaufend bis zur Veröffentlichung der Produktnorm durch die Bereitstellung eines Referenten übernommen. Die fachliche Leitung des Arbeitskreises wurde durch Fraunhofer ISE übernommen.

In zahlreichen Webkonferenzen und auch in Präsenzsitzungen wurde nicht nur kontinuierlich an dem Entwurf der Produktnorm gearbeitet, sondern es fand auch ein intensiver Austausch mit themenangrenzenden Gremien (u. a. DKE/AK 221.5.3) und weiteren Verbänden bzw. Organisationen (GDV, FNN, etc.) statt. Eine erste Fassung des Entwurfs wurde zunächst DKE intern zur Vorabkommentierung verteilt. Die eingegangenen Kommentare wurden im DKE/AK 373.0.4 konsolidiert und beraten. Parallel dazu hat die Produktion der DKE den Entwurf zur Drucklegung finalisiert. Ein wichtiges Ergebnis der internen Einspruchsberatung ist die explizite Forderung, die Firmware der Wechselrichter auf funktionale Sicherheit prüfen zu lassen.

Im dem übergeordneten Gremium DKE/K 373 „Photovoltaische Solarenergie-Systeme“, dem der Vornorm-Entwurf schließlich vorgestellt wurde herrschte allerdings eine gespaltene Meinung insbesondere hinsichtlich der Wahl des Anschlusssteckers. Da die Ermächtigung des K373 zur Veröffentlichung des Entwurfs obligatorisch ist, musste zunächst noch eine konsensfähige Lösung gefunden werden.

Hierhingehend einigte sich das Gremium den sog. „Schuko®stecker“ zunächst in den informativen Anhang auszugliedern und die finale Entscheidung – nach Veröffentlichung des Entwurfs – in der öffentlichen Einspruchsberatung und in dem gegebenenfalls stattfindenden Schlichtungsverfahren im Konsens mit der Öffentlichkeit zu treffen. Da die Öffentlichkeit ein großes Interesse für den Entwurf entwickelt hat und vor allem die Frage nach der Wahl des Anschlusssteckers rege diskutiert wird, geht die DKE von keiner einfachen Konsensfindung aus und entwirft daher parallel dazu eine Öffentlichkeitskampagne, in der insbesondere die Normungs- und Gremienarbeit mit dem Fokus auf Photovoltaikanlagen beleuchtet wird (vgl. Abschnitt AP 8 „Kommunikation“). In dem in H1 2022 gegründeten Adhoc-Arbeitskreis des DKE/AK 373.0.4 wurde der vom K373 beschlossene Anhang A (informativ) ausgearbeitet. Der Entwurf zur Vornorm E DIN VDE V 0126-95 (VDE V 0126-95):2022-11 wurde finalisiert und am 14.10.2022 veröffentlicht. Damit war das Hauptziel des Vorhabens erreicht!

Damit stand der Entwurf der Öffentlichkeit zur Kommentierung bis zum 14.02.2023 zur Verfügung; Link: [E DIN VDE V 0126-95 \(VDE V 0126-95\):2022-11 \(dke.de\)](https://www.dke.de/E-DIN-VDE-V-0126-95-(VDE-V-0126-95):2022-11). Da das Interesse nicht nur bei der Fachöffentlichkeit, sondern auch bei Otto-Normalverbrauchern sehr groß ist, kamen bei der DKE bereits außergewöhnlich viele Kommentare ein (ca. 250 Einsprecher und ca. 730 Kommentare). Die Aufgabe der DKE bestand und besteht nun darin die Kommentare zu konsolidieren, zu sichten und aufzubereiten, so dass sie dann dem zuständigen Gremium DKE/K 373 zur Beratung vorgelegt werden können. Im Rahmen dessen hatte die DKE bereits mit den Planungen der öffentlichen Einspruchsberatung, zu der alle Kommentierenden eingeladen werden müssen, begonnen. Da die Räumlichkeiten der DKE hier nicht ausreichten, musste ein externer Sitzungsraum in der Region Rhein/Main angemietet werden. Diese öffentliche Einspruchsberatung fand schließlich nach Projektende im Dezember 2023 statt.

Neben den Einsprüchen zur Vornorm, erreichte dem VDE zudem ein Brief des Chefs der Bundesnetzagentur, Klaus Müller, der darin u. a. forderte, dass bei der Entwicklung einer neuen Produktnorm für Balkonkraftwerke der handelsübliche Schuko®-Stecker »als akzeptable Anschlussmöglichkeit bestimmt« werde, zumindest wenn entsprechende Sicherheitsvorkehrungen im Haushalt existierten. Der VDE hat sich daraufhin mit dem FNN, VDE Renewables, VDE Prüfinstitut und der DKE, die zum Teil gegensätzlichen Positionen vertreten haben, konsultiert. Eine Antwort wurde schließlich in einer Pressemitteilung des VDE am 11.01.2023 herausgegeben (Link: [VDE schlägt einfachere Regeln für Balkonkraftwerke vor](#)).

Darüber hinaus wurde eine Übersetzung des Entwurfs in Englisch angestoßen, da ein sogenannter New Work Item Proposal (NWIP) bei IEC geplant ist, um die Arbeiten auch auf internationaler Ebene einzubringen.

Indielux Geschäftsführer Marcus Vietzke nahm an den nationalen DKE-Sitzungen folgender Arbeitskreise teil:

AK 221.5.2 PV-Anlagen

AK 373.0.4 Steckerfertige PV-Systeme

AK 542.4.7 Energiesteckvorrichtung für die Einspeisung in einem separaten Stromkreis

Dem Fraunhofer ISE wurde bei der Erstellung von Textpassagen zugearbeitet. Mehrere Textentwürfe zur Verwendung in der Produktnorm wurden in das Gremium eingebracht und etliche Vorschläge zur Änderung der DIN VDE V 0126-95 erarbeitet. Weitere Änderungsvorschläge für diese Norm bezüglich der Sicherheit an blanken Schutzkontakten und der Leistungserhöhung auf 800 W wurden entwickelt und eingereicht. Indielux hat an der Einspruchsberatung zur DIN VDE V 0126-95 teilgenommen.

SIZ: Über unsere regelmäßige Gremienarbeit in DKE /AK 373 zusammen mit dem Austausch in DKE/AK 221.5.3 konnte der Entwurf einer Produktnorm für Steckersolargeräte erstellt und veröffentlicht werden und die eingegangenen Kommentare und Einsprüche bearbeitet und eingearbeitet werden. Auch über das Projektende hinaus werden die Sitzungen des DKE Arbeitskreises 373 weitergeführt werden.

## **ISE + DKE**

Die Fertigstellung der Norm war ursprünglich innerhalb der Projektlaufzeit geplant. Dies ließ sich aufgrund des komplexen Themas und der aufwändigen Sicherheitsdiskussionen der verschiedenen Fachkreise nicht realisieren. Erst nach Projektende, im September 2023, konnten die letzten Kommentare in den zweiten Entwurf eingearbeitet werden.

Ein erster Entwurf (siehe Anhang 1) wurde im Oktober 2022 erstellt und der Öffentlichkeit zur Kommentierung vorgelegt. Daran schloss sich eine 4-monatige Kommentierungsfrist an. In dieser Zeit gingen

- Mehr als 200 Rückmeldungen (Einsprüche von Einzelpersonen, Firmen, Verbänden, Gremien, DIN PQ, etc.) mit
- ca. 753 Kommentare inklusive 1 Sammelkommentar mit 76 Einsprechern

ein.

Das war viel mehr als ursprünglich in der Projektplanung angenommen.

Außerdem gingen Stellungnahmen zum Thema Steckersolargeräte und zum Entwurf der Produktnorm von mehreren Trägern öffentlicher Belange ein:

- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

- Bundesnetzagentur (BNetzA) zur VDE-Position
- Umweltbundesamt
- VDE

Die inhaltlichen Kommentare konzentrierten sich auf folgende Themen

- Erhöhung der Leistung von 600 W (AR-N 4105:2018-11) auf 800 W
- Verwendung des Schuko®stecker
- Zählertyp
- Anmeldung und Inbetriebsetzung
- Vereinfachung der Anforderungen, Sicherheitsvorgaben und Abbau der bürokratischen Hürden/Hemmnisse

Zur rationelleren Beantwortung der Kommentare erarbeitet der Arbeitskreis im Rahmen der Kommentarterberatung in etwa 10 Sitzungen eine Stellungnahme zu diesen Aspekten. Die aus den Einzelbeiträgen erstellte Kommentartabelle umfasste 161 Seiten. Diese Kommentare wurden entsprechend den DKE Regeln gesichtet und bewertet, und schließlich in einer öffentlichen Anhörung diskutiert.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Anhörung wird die Endversion der Norm erarbeitet. Mit einer Veröffentlichung wird für Mitte 2024 gerechnet.

Im Zuge der Normungsarbeiten fand der AK 0.4. eine Lücke: es gibt keine Produktnorm für eine AC-PV Leitung. Häufig verwendete Produkte für diese Funktion sind Gummischlauchleitungen vom Typ H05-RNF, oder H07-RNF. Diese sind jedoch für den zeitweiligen Einsatz im Freien bestimmt, nicht für dauerhaften Einsatz. Ein entsprechendes Normungsverfahren ist im zuständigen IEC Komitee in Arbeit. Das Dokument wurde als Vornorm im Dezember 2023 veröffentlicht.

Einen Erfolg unserer Bemühungen kann man bereits verbuchen:

Das Forum Netztechnik/Netzbetrieb (FNN), das die Netzanschlussregel AR -N 4105 verantwortet, hat die hauptsächlich von ISE erarbeiteten Vorschläge von K 373 zur Berücksichtigung von Steckersolargeräten weitgehend in seinen Entwurf übernommen.

### **Fraunhofer ISE**

Als Arbeitskreisleitung von AK 0.4. war Fraunhofer ISE bei der fachlichen Leitung der Entwurfserstellung stark involviert. Neben den Sitzungsleitungen hat Fraunhofer ISE mehrfach erläuternde und ergänzende Papiere, sowie einen Vorschlag zur Berücksichtigung der Steckersolargeräte in der zukünftigen Novelle der Anwendungsregel AR -N 4015:2025 des FNN erstellt:

- Erarbeitung eines Positionspapiers zu Detailthemen des Normentwurfs
- Entwurf für „Anhang B“ zur Norm (informativer Anhang mit technischen Hintergründen)
- Bericht und Präsentation zur Erhöhung der zulässigen Leistung auf 800 VA (Beschlussvorlage\_800W)
- Erarbeitung eines Vorschlags zur Berücksichtigung von Steckersolargeräten in der Novelle der Netzanschlussregel AR-N 4105

Aus einigen Fachgruppen – Versicherungswirtschaft, FNN und Arbeitskreis dezentrale Einspeisung beim Komitee für Errichtungsbestimmungen für elektrische Anlagen – gab und gibt es erheblichen, teilweise polemischen Widerstand gegen einzelne Festlegungen des Normentwurfs.

Diesen Widerstand zu verhandeln, brauchte erhebliche Überzeugungsarbeit und weitere Diskussionen mit den Fachgruppen, samt dazu nötigen begleitenden Tischvorlagen. Es war unser Ziel, ein zeitraubendes Schlichtungs- und Einigungsverfahren zu vermeiden, denn das würde die Verabschiedung einer Norm um mindestens ein halbes Jahr verzögern. Die erwähnten Dokumente sowie die Veröffentlichungen und Präsentationen sind dem Projektträger bereits mit den Zwischenberichten übermittelt worden. Deswegen verzichten wir hier darauf, sie noch einmal anzuhängen.

Viel Zeit und Energie wurden auf Leitung des und Mitarbeit im Normungsarbeitskreises AK 373.0.4 verwandt. Dabei war die schier unermüdliche Unterstützung der zuständigen Normungsmanagerin der DKE sehr wertvoll.

### **II.1.8. AP 8 Kommunikation**

Arbeitspaket 8 „Kommunikation“ umfasste die Erstellung von Publikationen, Halten von Vorträgen und die Durchführung von Workshops, um nicht nur die Fachöffentlichkeit, sondern auch die breite Öffentlichkeit über den Stand der Entwicklungen zur Produktnorm für steckerfertige Solargeräte und die neuesten Forschungsergebnisse aus dem Projekt zu informieren. Bereits zu Beginn des Projekts begannen die ersten Umsetzungen und Planungen bezüglich der Kommunikation.

DGS und indielux haben weitere Aktivitäten betrieben. Sie haben die Webseite [www.PVplug.de](http://www.PVplug.de) aktualisiert. Dafür wurde eine voll-ständige Übersicht des deutschen Marktes erhoben und auditiert. Ein Wirtschaftlichkeitsrechner wurde mit Open-Source-Software programmiert und auf <https://solar.htw-berlin.de/rechner/stecker-solar-simulator/> und <https://www.indielux.com/wattrechner/> veröffentlicht und zur allgemeinen Nutzung zur Verfügung gestellt.

Eine Händler- und Hersteller-Befragung wurde durchgeführt, die Ergebnisse wurden ausgewertet und über den Presseverteiler der indielux GmbH veröffentlicht. Es wurden Nutzer-Interviews koordiniert und eine Nutzerbefragung durchgeführt. Insgesamt haben sich mehr als 6000 Personen für die Umfrage interessiert, von ihnen haben knapp 2200 den Fragebogen teilweise ausgefüllt. Etwa 1600 Personen haben die Umfrage abgeschlossen.

Die Umfrage wurde ausgewertet und publiziert. Die Pressemitteilung löste viele Reaktionen und Veröffentlichungen in der Fachpresse aus, z. B. <https://www.pv-magazine.de/2022/02/24/markt-groesser-als-gedacht-rund-190-000-stecker-solar-geraete-bereits-installiert/>.

indielux hat die Erstellung der Studien mit Beratung und Pressearbeit begleitet und für die PR-Verteiler Kontakte, Kanäle und Datenbanken des eigenen Netzwerks eingesetzt und ausgebaut.

Eine Fachpublikation zur Neuausrichtung der BnetzA und der VDE wurde erstellt und veröffentlicht.

ISE hat neben den untenstehenden Aktivitäten speziell für die Kommunikation mit anderen DKE Gremien mehrere Thesenpapiere erstellt und diese bei Gremiensitzungen mit entsprechenden Präsentationen vorgestellt.

Nachfolgend werden die projektbezogenen Öffentlichkeitsaktivitäten aufgelistet:

#### Publikationen:

- DIN Mitteilungen, Ausgabe: 05/2021 (S. 26 – 50), Autorin: Dominika Radacki

- H. Laukamp, Th. Seltmann, R. Haselhuhn, A. Savvidis, S. Heusinger, M. Vietzke, W. Müller, T. Schwartz, Entwicklung einer Produktnorm für Stecker-Solargeräte, ETG-Kongress, Mai 2021
- H. Laukamp, Th. Seltmann, R. Haselhuhn, D. Radacki, A. Savvidis, M. Vietzke, W. Müller, T. Schwartz, Entwicklung einer Produktnorm für Stecker-Solargeräte Entwicklung einer Produktnorm für Steckersolargeräte, 37. PV-Symposium Juni 2022, Freiburg
- DGS.de vom 09.09.2022 (Online): Balkonkraftwerke in der Diskussion, Link: [Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.: 09.09.22 - Balkonkraftwerke in der Diskussion \(dgs.de\)](#), Autor: Ralf Haselhuhn
- Fachartikel „Normung von Steckersolargeräten - Wie gefährlich Steckersolargeräte wirklich sind“ zum Normungsprojekt und den Messungen von Ralf Haselhuhn in der Zeitschrift ep- Elektropraktiker, Berlin 76 (08/2022).
- Fachartikel „Balkonkraftwerke in der Diskussion -Faktencheck vom anderen Normungsexperten“ von Ralf Haselhuhn elektro.net 17/2022
- Fachartikel „Steckersolargeräte Mythos und Wahrheit – Wie gefährlich sind sie wirklich? Vor Ort und Komponentenmessungen von gealterten Elektroinstallationen von Ralf Haselhuhn in der Zeitschrift Sonnenenergie, 3/2022
- -Indielux GmbH & HTW Berlin: Studie „Nutzung von Steckersolargeräten 2022“ <https://solar.htw-berlin.de/studien/nutzung-steckersolar-2022/>
- -indielux GmbH & HTW Berlin: Studie „Der Markt für Steckersolargeräte 2022“ <https://solar.htw-berlin.de/studien/marktstudie-steckersolar-2022/>

#### Vorträge:

- ETG-Kongress am 19.05.2021 (Online): Entwicklung einer Produktnorm für Stecker-Solargeräte, Wuppertal, 19.5.21, online
- E-world am 25.05.2021 (Online)
- 37. PV-Symposium am 22.06.2022 (Freiburg): Vortrag, Thementisch und Poster
- Berliner Elektromesse am 08.11.2022 (Berlin)
- PV-Betriebs- und Sicherheitstagung am 24.11.2022 (Berlin)
- Veranstaltungsreihe des VDE Südwest vom 09.11. – 30.11.2022 (Online): Vier Vorträge zu Guerilla-PV und Balkonkraftwerk: Netze, Normen, Nonsense – was Sie wissen müssen, Link: [Guerilla-PV und Balkonkraftwerk: Netze, Normen, Nonsense – was Sie wissen müssen \(vde.com\)](#)
- 06.-08.10.2021 Intersolar: Vorträge am DGS-Stand zum Steckersolar-Projekt
- 13.05.2022 Intersolar in München: Vortrag: „Wie gefährlich sind Steckersolargeräte wirklich? - Vorort- und Komponentenmessungen in gealterten Elektroinstallationen“
- 22.06.2022 PV-Symposium 2022 in Freiburg: „Mythos und Wahrheit Steckersolargeräte –Wie gefährlich sind sie wirklich?“
- Web-Forum Wattbewerb Spezial: Stecker-Photovoltaik, Bauzentrum in München (Online) am 06.10.2022, Vorstellung der Produkt- (Vor-) Norm für Stecker-Solar-Geräte, Hermann Laukamp



- 10.10.2022 „Stand von Technik und Normung von Steckersolargeräten: Vorort- und Komponentennmessungen in gealterten Elektroinstallationen und Normentwurf“ von Ralf Haselhuhn beim Stecker-Solar-Symposium der HTW-Berlin im Solarzentrum Berlin
- 8.11.2022 „Stand von Technik und Normung von Steckersolargeräten: Vorort- und Komponentennmessungen in gealterten Elektroinstallationen und Normentwurf“ von Ralf Haselhuhn auf der belekto Elektro Messe Berlin
- 6. Photovoltaik-Betriebs- und Sicherheitstagung, Steckersolargeräte - Entwurf einer Produktnorm und Prüfergebnisse zum Trennverhalten, H. Laukamp, 24./25. November 2022, Berlin

#### Workshops:

- Workshop PV-Plug / Steckersolar, PV-Symposium 2021, 18. Mai 2021, Freiburg im Breisgau 18.05.2021 (Online)
- E-nable KMU-Workshop am 06.04.2022 (Online), Link: <https://www.dke.de/de/services/kmu-kleine-und-mittlere-unternehmen/e-nabling-kmu>
- Intersolar am 13.05.2022 (München), Link: <https://www.intersolar.de/messeprogramm/dgsdke-steckersolar-de?ref=m5f5f3ab276a8001b5153a04b-t1657535159-cc552f144> und Bericht zum Workshop, Link: <https://www.dgs.de/news/en-detail/270522-spannender-steckersolar-workshop-waehrend-der-intersolar-2022/>
- Steckersolar – jetzt ist doch alles klar, ODER? Berit Müller, Joachim Sting Thementisch beim PV-Symposium Kloster Banz 28.02.2023

#### Sonstige Öffentlichkeitsarbeit:

- Projektwebseite bei der DKE, Link: [SteckerSolar](#)
- Webseite mit wichtigen Informationen zu Mini-PV-Anlagen, Link: [Mini-PV-Anlage: Leitfaden für Installation und Betrieb \(dke.de\)](#)
- Social Media (LinkedIn, Twitter und Facebook)
- Interview zur Entstehung der Produktnorm (Laukamp), Link: [Interview zum Normentwurf für Steckersolargeräten \(dke.de\)](#)
- Storytelling Mini-PV Geschichte, Link: [Balkonkraftwerke: Grünen Strom sicher einspeisen \(dke.de\)](#)
- VDE Pressemitteilung zur Produktnorm
- Erarbeitung eines FAQs zu steckerfertigen PV-Modulen veröffentlicht in:
  - 1) <https://www.dgs.de/service/solarrebell/faq/>
  - 2) <https://www.pvplug.de/faq/>
  - 3) <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/erneuerbare-energien/steckersolar-solarstrom-vom-balkon-direkt-in-die-steckdose-44715>
- Seminar SteckerSolar Symposium bei der HTW Berlin am 10.10.2022 (Berlin)
- Stetiger Austausch mit der Presse
- Q&A-Session am 11.07.2023 (Hybrid, Frankfurt a.M.)

## II.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Nur im internen Schlussbericht enthalten

## II.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die im Projekt geleisteten Arbeiten der Projektpartner waren zielführend und haben dazu beigetragen, die entwickelten Ergebnisse und Erkenntnisse in den Entwurf der Produkt(Vor)Norm einzubringen. Außerdem konnten wir Anregungen zur Novellierung anderer Normen geben.

## II.4. Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Primäres Ziel war es, das VDE-Vorschriftenwerk entsprechend der Entwicklung von Wissenschaft und Technik fortzuentwickeln und den Bedürfnissen des Marktes weiter zu entwickeln bzw. zu ergänzen. Hierzu sollte als Projektergebnis der Entwurf einer Produktnorm entstehen, was auch mit Erfolg geschehen ist. Derzeit (Juli 2023) existiert der Entwurf für eine Vornorm unter der Bezeichnung [E DIN VDE V 0126-95 \(VDE V 0126-95\):2022-11](#).

Diese Norm behandelt die grundlegenden Sicherheitsanforderungen und Prüfungen für Steckersolargeräte im Netzparallelbetrieb.

## II.5. Fortschritt bei anderen Stellen

Innerhalb der Gremienarbeitskreise wurde auch von anderen Arbeitskreismitgliedern an den im Vorhaben untersuchten Themen gearbeitet; die jeweiligen Ergebnisse wurden in den Gremienarbeitskreisen zusammengeführt.

Die DGS war assoziierter Partner im IFAF-Projekt „PV.pluginTools – Digitale Werkzeuge für Plug-In Solar-energiesysteme“. Zusammen mit der HTW Berlin wurde eine Marktanalyse von Steckersolargeräten erstellt und ein Prototyp, eines „Stromwächters“ für Steckersolargeräte, der die Leistung bei Netzeinspeisung oder Fehlerströmen abregelt, entwickelt.

Von der HTW Berlin wurden 2022 eine Studie zum Markt und eine zur Nutzung von Steckersolargeräten veröffentlicht. Danach waren derzeit in Deutschland etwa 170 000 Geräte verkauft worden. Nur etwa ein Drittel der verkauften Geräte wird als Balkongeräte genutzt.

<https://solar.htw-berlin.de/studien/nutzung-steckersolar-2022/>

<https://solar.htw-berlin.de/studien/marktstudie-steckersolar-2022/>

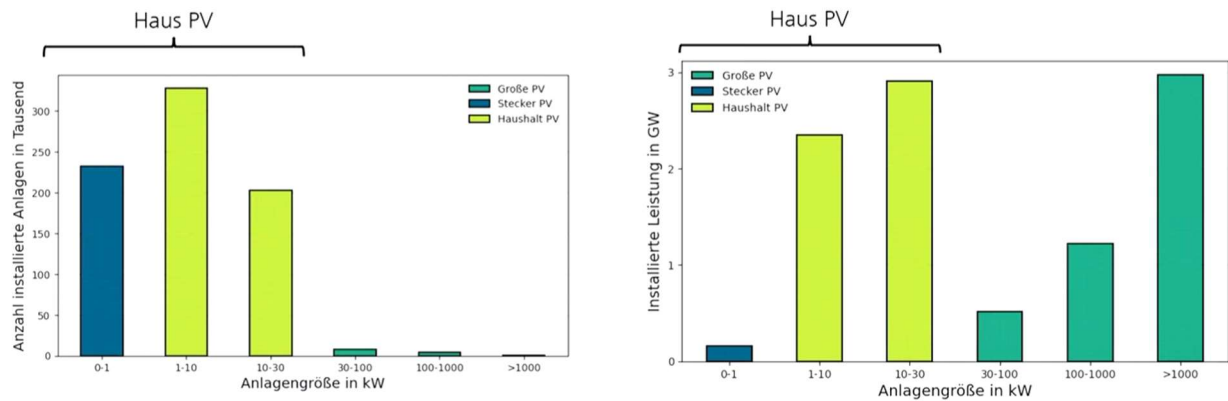
Die HTW Berlin hat auch ein WEB-Werkzeug entwickelt, mit dem man die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anschaffung bestimmen kann.

<https://solar.htw-berlin.de/stecker-solar-simulator/>

Eine Abfrage beim Marktstammdatenregister ergab ein enormes Wachstum von gemeldeten Kleinstanlagen mit unter 1 kWp Leistung (siehe folgendes Bild, Stand September 2023). Dabei dürfte es sich ausschließlich um Steckersolargeräte handeln.

## PV-Ausbau vor allem im Haushaltsbereich

Auswertung EEG-Stammanlagen Register



Anfang 2023 bis Sept. 2023: 240 tausend PV-Anlagen < 1 kW gemeldet

Entspricht 163 MW installierte Leistung

Abbildung 30: PV Ausbau laut Marktstammdatenregister nach Anzahl und Nennleistung

## II.6. Veröffentlichungen

Die Veröffentlichungen wurden bereits in Abschnitt II.1.8. zu AP 8 Kommunikation aufgeführt. Deswegen verzichten wir an dieser Stelle auf die Wiederholung.

## II.7. Literaturangaben

- [1] Steckerfertige, netzgekoppelte Kleinst-PV-Anlagen - Studie für E-Control, Wien, Juli 2016; <https://www.e-control.at/documents/20903/388512/E-Control-StudieKleinstPV.pdf/e83b42d4-235c-4b3c-9c57-780d1bb60dd1> (letzter Zugriff 2022-09-14)
- [2] Untersuchung der Beeinflussung der Schutzkonzepte von Stromkreisen durch Stecker-Solar-Geräte, Berlin 2017; PI-Report-Number: 20170520, PI Photovoltaik-Institut Berlin AG im Auftrag der DGS
- [3] DIN VDE 0298-4 Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen - Teil 4: Empfohlene Werte für die Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen für feste Verlegung in und an Gebäuden und von flexiblen Leitungen
- [4] <https://www.dke.de/de/normen-standards/dokument?id=7161768&type=dke%7Cdokument> (abgerufen am 23.8.23)
- [5] DIN 18015-2:12:1980, Elektrische Anlagen in Wohngebäuden - Teil 2: Art und Umfang der Mindestausstattung
- [6] <https://synpro-lastprofile.de/simulator/>
- [7] Fünfgeld, Chr., Tiedemann, R: Anwendung der Repräsentativen VDEW -Lastprofile step-by-step, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Lehrstuhl Energiewirtschaft, VDEW Materialien M-05/2000; [https://www.bdew.de/media/documents/2000131\\_Anwendung-repraesentativen\\_Lastprofile-Step-by-step.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/2000131_Anwendung-repraesentativen_Lastprofile-Step-by-step.pdf) (Zugriff am 1.6.2023)
- [8] Tjaden, T.; Bergner, J.; Weniger, J.; Quaschnig, V.: Repräsentative elektrische Lastprofile für Wohngebäude in Deutschland auf 1-sekündiger Datenbasis, Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin, <https://solar.htw-berlin.de/wp-content/uploads/HTW-Repraesentative-elektrische-Lastprofile-fuer-Wohngebäude.pdf> (Zugriff 2023-07-21)
- [9] Haselhuhn, R.: Normung von Steckersolargeräten -Wie gefährlich Steckersolargeräte wirklich sind, Elektropraktiker Heft 8/2022
- [10] Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV); Kunststoffe - Eigenschaften, Brandverhalten, Brandgefahren, VdS 2516:2000-1, Köln (2000) [https://vds.de/fileadmin/Website\\_Content\\_Images/VdS\\_Publikationen/vds\\_2516\\_web.pdf](https://vds.de/fileadmin/Website_Content_Images/VdS_Publikationen/vds_2516_web.pdf)

## **Anlagen**

Anlage 1 -- veröffentlichter Entwurf der Vornorm von Oktober 2022

(hier nicht enthalten, da im Rahmen des Normungsprozesses veröffentlicht)

Anlage 2 – Erfolgskontrollbericht (nicht öffentlich)

Anlage 3 – Berichtsblatt / Document Control Sheet (nicht öffentlich)

Anlage 4 – Anlage zum Verwertungsplan (nicht öffentlich)