

# Sicherheit von Plug & Play PV-Systemen: Analyse der Restspannung am Gerätestecker

23. Schweizer Photovoltaik-Tagung, 1./2. April 2025, Bern

Alexander Erber, David Joss, Christof Bucher, Labor für Photovoltaiksysteme, Berner Fachhochschule, Burgdorf, christof.bucher@bfh.ch

Die zunehmende Verbreitung von Plug & Play-Photovoltaiksystemen in Haushalten und Wohnungen hat Diskussionen hinsichtlich ihrer Sicherheit aufkommen lassen. Die derzeitigen Sicherheitsstandards und nationalen Regelungen für Wechselrichter von Plug & Play PV-Systeme und die elektrische Installation decken die Bedenken über das Gesamtsystem nur teilweise ab. In einer Messkampagne im Projekt «Plug & Play PV-Systeme» wurde die Spannung am Gerätestecker von Kleinwechselrichtern und anderen elektrischen Endgeräten nach der Netztrennung gemessen und mit dem derzeit diskutierten Grenzwert für Plug & Play-Wechselrichter verglichen. Die Ergebnisse der aktuellen Messungen zeigen, dass die Mehrheit der getesteten Plug & Play Wechselrichter innerhalb 1 s eine sichere Steckerspannung erreichen, ähnlich wie die getesteten Elektrogeräte.

## Relevanz

In Kontext der elektrischen Sicherheit von Plug & Play-PV-Systemen werden aktuell die mögliche Überlastung der Hausinstallation und die Gefahr einer Restspannung nach Netztrennung am Gerätestecker bei Verwendung von normalen Endgerätesteckern diskutiert. Wenngleich das Gefahrenpotenzial des ersten Aspektes bereits in einigen Untersuchungen als gering beziffert werden konnte [1-3], gibt es zu dem Thema Restspannung noch keine systematischen Untersuchungen oder Analysen. Daher wird im Projekt «Plug & Play PV-Systeme» ein pragmatischer Ansatz zur Bewertung des Personen- und Sachschutzes mittels Tests an Wechselrichtern, wie sie in Plug & Play Systemen eingesetzt werden, durchgeführt. Das Ziel ist es, die Sicherheit unter standardisierten Bedingungen und aus einer systemischen Perspektive zu bewerten, ohne einzelne Wechselrichterkomponenten zu analysieren.

## Methodik und Messdurchführung

Für die Tests im Labor für Photovoltaiksysteme der Berner Fachhochschule wird ein «Black-Box»-Prüfansatz verfolgt, bei dem nur die im Normalbetrieb verwendeten AC-Anschlüsse betrachtet werden. Für die Analyse der Restspannung am Gerätestecker wurde eine automatisierte Netztrennvorrichtung einer realen Steckverbindung mittels Linearmotor realisiert (Abbildung 1), welche eine hohe Wiederholgenauigkeit ermöglicht. Für die Analyse wird die Zeit ermittelt, bis die Spannung aller drei möglichen Berührungskombinationen (L-N, N-PE, L-PE) unter 34 V liegt. Der Grenzwert stammt aus dem Normentwurf für Steckersolargeräte E DIN VDE V 0126-9 [4]. Er muss nach spätestens einer Sekunde (1 s) unterschritten sein. Als Vergleich werden mit der gleichen Methodik typische Elektrogeräte vermessen und evaluiert.

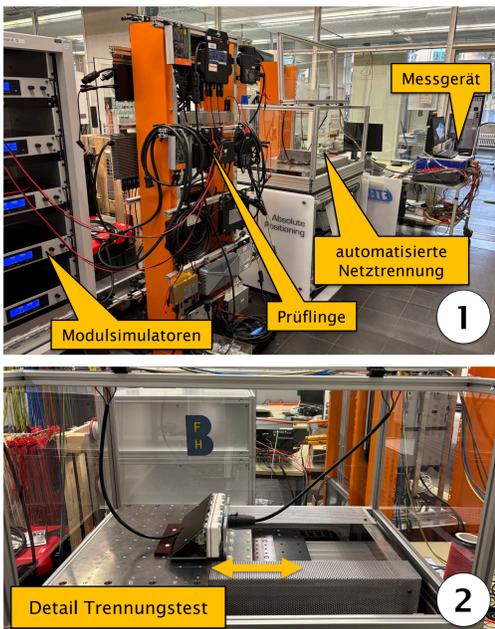


Abbildung 1: Versuchsaufbau des Trennungstests (1), automatisierte Trennung der Steckverbindung im Detail (2)

## Messungen

Abbildung 2 zeigt den Verlauf von Strom und Spannung eines Plug & Play Wechselrichters nach der Netztrennung. Der Strom fällt nach der Trennung auf 0 A, da der Stecker nach der Trennung unbelastet ist, und die Spannungen weisen den typischen Spannungsverlauf einer Kondensator-entladung auf. Die Änderung des Spannungsgradienten ( $t = 130$  ms) nach der Netztrennung kann auf das Öffnen des Sicherheitsrelais zurückgeführt werden. Die Berührungsspannung unterschreitet den Spannungsgrenzwert von 34 V nach 791 ms und erfüllt somit den Grenzwert der E DIN VDE V 0126-95:2024-6.

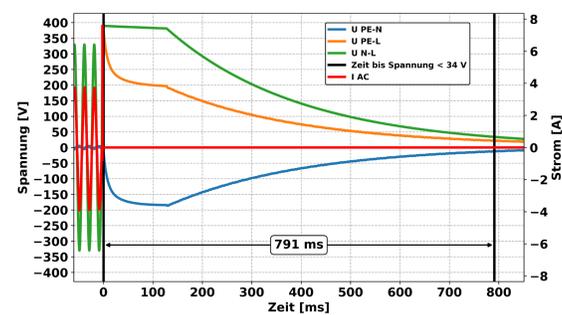


Abbildung 2: Strom- und Spannungsverlauf nach der Netztrennung eines Plug & Play Wechselrichters (600 W)

## Prüflinge

Für die Tests im Projekt «Plug & Play PV-Systeme» stehen 27 Wechselrichter von 12 verschiedenen Herstellern zu Verfügung und ermöglicht damit eine breite Produktabdeckung des dynamischen Marktes. Die in Tabelle 1 gezeigte Übersicht klassifiziert die im Labor mit Nennleistung getesteten Wechselrichter entsprechend den nationalen Plug & Play-Leistungsgrenzen (CH: 600 W; AT und DE: 800 W). Es sind auch drei Wechselrichter für die Untersuchungen verfügbar, welche die Leistungsgrenzen überschreiten, jedoch Erkenntnisse zu elektronisch abgeregelten Plug & Play Systemen ermöglichen.

Tabelle 1: Einteilung der Wechselrichter in Leistungsklassen sowie Anzahl der getesteten Prüflinge pro Leistungsklasse

Leistungsklasse	Anzahl	getestet
$\leq 600$ W	18	5
$\leq 800$ W	6	3
$> 800$ W	3	2

Die Wechselrichter sind aufgrund der noch nicht abgeschlossenen Restspannungsprüfung in der Ergebnisdarstellung anonymisiert.

## Resultate

Die Ergebnisse in Abbildung 3 zeigen die Messresultate anhand der Zeit bis die maximale Berührungsspannung 34 V unterschreitet. Bei 8 der 10 getesteten Wechselrichter liegen nahezu alle ermittelten Zeiten unter 1 s. Zwei Wechselrichter weisen je einen Ausreißer über den Grenzwert auf, was einer Wahrscheinlichkeit von 2,5 % (A) und 2,3 % (B) entspricht. Weitere zwei Wechselrichter überschreiten den Grenzwert deutlich und müssen in Bezug auf die Restspannung als nicht sicher klassiert werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Restspannungszeiten der grenzwert erfüllenden Wechselrichter im Bereich jener der getesteten Elektrogeräte sind, wobei auch hier 25 % der Messwerte eines Laptopnetzteils (P=65W) den Grenzwert überschreiten.

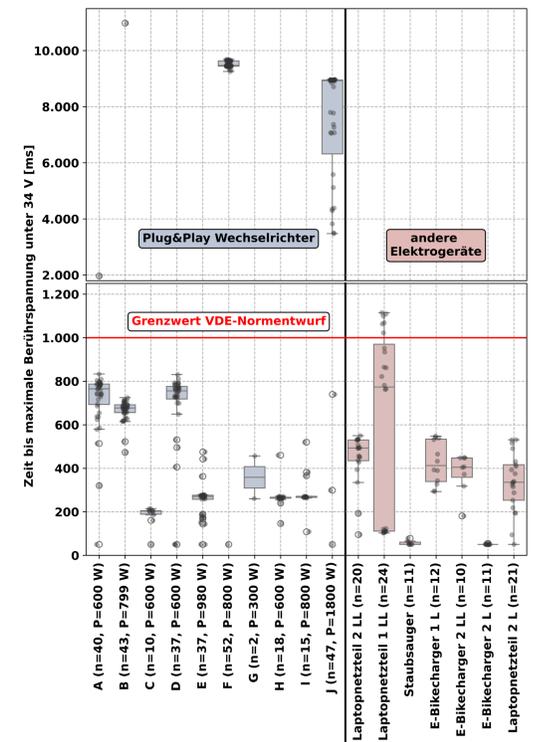


Abbildung 3: Zeit bis die maximale Berührungsspannung von 34 V unterschritten wird; getestete Wechselrichter und Elektrogeräte (LL=Leerlauf, L=Last)

Aus den aktuellen Ergebnissen und anhand Vergleichs mit anderen Elektrogeräten kann keine eindeutige Korrelation zwischen Wechselrichterleistung und Gefahrenpotenzial einer Restspannung am Gerätestecker bei Netztrennung abgeleitet werden.

## Dank

Die Arbeiten für diese Publikation wurden mit Unterstützung des Bundesamts für Energie durchgeführt. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autorinnen und Autoren verantwortlich.

## Referenzen

- [1] Marcus Vietzke, 2017. Untersuchung der Beeinflussung der Schutzkonzepte von Stromkreisen durch Stecker-Solar-Geräte.
- [2] Bergner, J., 2025. Kurzbericht: Steckersolar 800 W.
- [3] Ralf Haselhuhn, 2022. Steckersolargeräte: Mythos und Wahrheit: Wie gefährlich sind sie wirklich? Vorort- und Komponentenmessungen von gealterten Elektroinstallationen. Sonnenenergie 30–33.
- [4] E DIN VDE V 0126-95, 2024. Steckersolargeräte für Netzparallelbetrieb - Sicherheitsanforderungen und Prüfungen.