



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech

Zwischenbericht vom 1. November 2024 (Stand: 13.02.2025)

Plug & Play Photovoltaik-Anlagen

Potenzial, Prozesse und Technik



Quelle: © BFH JOD2, 2024



Subventionsgeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.energieforschung.ch

Subventionsempfängerinnen:

Berner Fachhochschule BFH, Labor für Photovoltaiksysteme
CH-3400 Burgdorf
www.bfh.ch/pvlab

Electrosuisse
CH-8320 Fehraltorf
www.electrosuisse.ch

Meteotest AG
CH-3012 Bern
www.meteotest.ch

Verband Schweizerischer Elektrokontrollen (VSEK | ASCE)
CH-5200 Brugg
www.vsek.ch

Autoren:

David Joss, BFH - Labor für Photovoltaiksysteme, david.joss@bfh.ch
Theo Zwahlen, BFH - Labor für Photovoltaiksysteme, theo.zwahlen@bfh.ch
Alexander Erber, BFH - Labor für Photovoltaiksysteme, alexander.erber@bfh.ch
Jan Remund, Meteotest AG, jan.remund@meteotest.ch
Beat Keller, Electrosuisse, beat.keller@electrosuisse.ch
Stefan Providoli, VSEK | ASCE, s.providoli@vsek.ch

BFE-Projektbegleitung:

Dr. Michael Moser, michael.moser@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/502662-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

In der Schweiz wie auch in Europa werden Plug & Play PV-Systeme, auch Balkonsolaranlagen oder Steckersolargeräte genannt, stets beliebter. Während Deutschland im Mai 2024 die maximale AC-seitige Leistung auf 800 Watt erhöht, Anpassungen im Meldeprozess vorgenommen und eine Norm entworfen hat, blieb in der Schweiz bislang alles auf dem Stand von 2014. Damals veröffentlichte das ESTI eine Mitteilung, welche es ermöglicht, in einem Zählerstromkreis ein Plug & Play PV-System bis 600 Watt an einer Haushaltsteckdose einzustecken – unter Beachtung weiterer Vorgaben.

Zehn Jahre später wird nun im BFE-geförderten Projekt «Plug & Play PV-Systems» erforscht, ob die Grenzen von 600 Watt noch anwendbar sind oder ob eine Erhöhung dieses Wertes auch Sinn ergäbe. Ebenfalls wird eine Grundlage erarbeitet, um in den nächsten Jahren eine Schweizer Guideline für Plug & Play PV-Systeme zu publizieren. Darin sollen unter anderen der Anwendungsbereich, die Voraussetzungen für die Inverkehrbringung, die Sicherheitsanforderungen und die Prüfung derartiger Systeme spezifiziert werden.

Erstmals wurde im Projekt auch aufgezeigt und an der EUPVSEC in Wien publiziert, wie gross das Potenzial von Balkon Plug & Play PV-Systemen in der Schweiz ist. Es ist rund 1 TWh an Energie – und es könnte durch Hinzukommen von weiteren Balkon-fremden Plug & Play Systemen noch mehr werden.

Ein Konsortium bestehend aus der Berner Fachhochschule, Electrosuisse, Meteotest und dem Verband Schweizer Elektrokontrollen ist für die Projektdurchführung verantwortlich und wird durch eine Advisory Group mit Vertretenden tangierter Branchen beraten.

Résumé

En Suisse comme en Europe, les systèmes PV Plug & Play, également appelés installations solaires de balcon ou appareils solaires enfichables, sont de plus en plus populaires. Alors que l'Allemagne a augmenté en mai 2024 la puissance maximale côté AC à 800 watts, a procédé à des adaptations dans le processus de notification et a ébauché une norme, en Suisse, tout est resté jusqu'à présent en l'état de 2014. A l'époque, l'ESTI avait publié une communication permettant de brancher dans un circuit de compteur un système PV Plug & Play d'une puissance maximale de 600 watts sur une prise de courant domestique - en respectant d'autres prescriptions.

Dix ans plus tard, le projet "Plug & Play PV-Systems", soutenu par l'OFEN, étudie si les limites de 600 watts sont encore applicables ou si une augmentation de cette valeur serait également judicieuse. Une base est également en cours d'élaboration pour la publication, dans les prochaines années, d'une directive suisse sur les systèmes PV Plug & Play. Ce document précisera notamment le champ d'application, les conditions de mise sur le marché, les exigences de sécurité et le contrôle de ces systèmes.

Pour la première fois, le projet a également montré et publié lors de l'EUPVSEC à Vienne l'importance du potentiel des systèmes PV Plug & Play sur balcon en Suisse. Il s'agit d'environ 1 TWh d'énergie - et ce chiffre pourrait encore augmenter si d'autres systèmes Plug & Play non liés aux balcons venaient s'y ajouter.

Un consortium composé de la Haute école spécialisée bernoise, d'Electrosuisse, de Meteotest et de l'Association suisse de contrôle électrique est responsable de la mise en œuvre du projet et est conseillé par un groupe consultatif composé de représentants des branches concernées.

Summary

In Switzerland, as in Europe, plug & play PV systems, also known as balcony solar systems or plug-in solar devices, are becoming increasingly popular. While Germany increased the maximum AC-side



power to 800 watts in May 2024, made adjustments to the reporting process and drafted a standard, in Switzerland everything has so far remained as it was in 2014. At that time, the ESTI published a notice that allows a plug & play PV system of up to 600 watts to be plugged into a household socket in a meter circuit - subject to further requirements.

Ten years later, the SFOE-funded "Plug & Play PV Systems" project is now investigating whether the limits of 600 watts are still applicable or whether an increase in this value would also make sense. A basis is also being developed for the publication of a Swiss guideline for Plug & Play PV systems in the coming years. Among other things, this will specify the scope of application, the requirements for placing on the market, the safety requirements and the testing of such systems.

For the first time, the project also demonstrated and publicised at the EUPVSEC in Vienna how great the potential of balcony Plug & Play PV systems is in Switzerland. It is around 1 TWh of energy - and it could become even more with the addition of further non-balcony Plug & Play systems. A consortium consisting of the Bern University of Applied Sciences, Electrosuisse, Meteotest and the Swiss Electrical Inspection Association is responsible for implementing the project and is advised by an advisory group with representatives from the relevant sectors.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
Résumé.....	3
Summary	3
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	8
1 Einleitung	9
1.1 Kontext und Motivation	9
1.2 Projektziele	9
2 Vorgehen, Methode, Ergebnisse und Diskussion.....	10
2.1 Vorgehen und Projektorganisation	10
2.2 Methoden.....	14
2.3 Zwischenergebnisse und Diskussion	20
3 Schlussfolgerungen und Ausblick	31
4 Nationale und internationale Zusammenarbeit	34
5 Publikationen und andere Kommunikation	35
6 Literaturverzeichnis	35



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Organigramm des Projekts "Plug & Play PV-Systems" mit dem bearbeitenden Konsortium und der beratenden Advisory Group	10
Abbildung 2 Beispielfassade eines Gebäudes mit 20 Balkonen, einer summierten Balkonlänge von 100m und einem Maximum von 40 Modulen (max. 2-3 Module pro Wohnung). Quelle: Google Maps.	15
Abbildung 3 Beispiel einer Gebäudefassade mit 1 Balkon, einer summierten Balkonlänge von 7 m und maximal 2 bzw. 3 Modulen. Quelle: Google Maps. Für Option 1 wurde ein Produktionspotenzial von 605 kWh/Jahr berechnet, für Option 2 von 794 kWh/Jahr und für Option 3 von 908 kWh/Jahr. Quelle: Google Street View.	16
Abbildung 4 Verteilung der Fassadenazimute aller Fassaden.....	17
Abbildung 5 Überblick über die Datengrundlage und die daraus resultierenden Potenziale. Für die Plug & Play-Analyse wurde eine Teilmenge der Fassaden des gesamten Schweizer Fassadendatensatzes verwendet und auf den prozentualen Anteil der Balkonflächen unter Berücksichtigung der Einschränkungen der Plug & Play-Vorschriften angewendet.	20
Abbildung 6 Monatliche Verteilung der potenziellen Stromproduktion mit PV Plug & Play Anlagen....	21
Abbildung 7 Statistische Auswertung über das Vorhandensein einer galvanischen Trennung im Wechselrichter. 68% der Stichprobe (n=292) haben eine galvanische Trennung, wobei bei 59% in den Datenblättern explizit ein Hochfrequenztransformator genannt wird.	23
Abbildung 8: Schweizerkarte mit Markierung der befragten Verteilnetzbetreiber.....	24
Abbildung 9 Überblick der Anschluss-Rahmenbedingungen von Plug & Play PV System in Europa..	25
Abbildung 10 Testaufbau im Labor für Photovoltaiksysteme; Der Wechselrichter wird vom Netz getrennt und das Trennverhalten analysiert.	28
Abbildung 11 Spannungs- und Stromverlauf bei Emulation von Netztrennung des Modulwechselrichters mit instantaner Belastung von L und N mit einem Widerstand von 1 k Ω	29
Abbildung 12 Gesetzespyramide mit Visualisierung der Eingliederung der SNG für Steckbare PV-Systeme (Quelle Ausgangsgraphik: https://www.electrosuisse.ch/wp-content/uploads/2019/01/Electrosuisse_Mit_Normen_Zum_Erfolg_Broschuere.pdf)	30
Abbildung 13 Prinzipstromlaufplan eines einphasigen Plug & Play PV-Systems mit bis zu 800 W _{AC} Einspeisung je Zählerstromkreis	30
Abbildung 14 Prinzipstromlaufplan eines symmetrischen dreiphasigen Plug & Play PV-Systems mit bis zu 2400 W _{AC} Einspeisung je Zählerstromkreis	31
Abbildung 15 Beispiele für Nicht-Balkon-Plug & Play-PV-Systeme, deren Potenzial in der vorliegenden Potenzialstudie nicht berücksichtigt ist. Quelle: Solarblitz.ch.....	32



Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Übersicht der Arbeitspakete Projekt vom Projekt "Plug & Play PV-Systeme"	11
Tabelle 2 Ergebnisse der Schätzung der potenziellen Jahresproduktion in der Schweiz für die drei gewählten Optionen.....	20
Tabelle 3 Auszug aus der im Projekt erarbeiteten Risikotabelle; Betrachtung für die Belastungssituation der Hausinstallationsleitungen nach Verlegeart.....	22



Abkürzungsverzeichnis

AC	Wechselstrom/-spannung
BFE, SFOE	Bundesamt für Energie
BFH	Berner Fachhochschule
BKW	Bernische Kraftwerke AG
CEE	Commission on the Rules for the Approval of the Electrical Equipment
CES	Comité Électrotechnique Suisse
DC	Gleichstrom/-spannung
ESTI	Eidgenössisches Starkstrominspektorat
NIN	Niederspannungs-Installationsnorm
P'n'P, PnP	Plug and Play
PRCD	ortsveränderliche Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (engl. Portable Residual Current Device)
PV	Photovoltaik
RCD	Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (engl. Residual Current Device)
RCMU	Fehlerstromüberwachungseinheit (engl. Residual Current Monitoring Unit)
SNG	Schweizer Guide (auch: Schweizer Normen Guide)
STC	Standard Test Conditions
TCS	Touring Club Schweiz
TK	Technisches Komitee
VNB	Verteilnetzbetreiber
VSE	Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
VSEK	Verband Schweizerischer Elektrokontrollen



1 Einleitung

1.1 Kontext und Motivation

Plug & Play-Photovoltaiksysteme werden immer beliebter. Da es sich dabei nicht um installierte Anlagen, sondern um Niederspannungserzeugnisse handelt, weichen sie von den klassisch installierten Anlagen ab, wodurch ihre rechtliche Behandlung eine Herausforderung ist. Dies ist vorwiegend darauf zurückzuführen, dass Normen zwar für fest installierte PV-Anlagen gelten, nicht jedoch für Niederspannungserzeugnisse angewandt werden können.

Das Projekt "Plug & Play PV-Systems" zielt darauf ab, die wichtigsten für die Schweiz relevanten Fragen zu klären. Da dazu viele verschiedene Akteure nötig sind, besteht die Projektgruppe aus Meteotest (Berechnung des Potenzials für Plug & Play PV-Anlagen), VSE und BKW (Beurteilung der Anlagen aus Sicht der Netzbetreiber), ESTI, Electrosuisse und VSEK (Beurteilung der Sicherheit von Plug & Play-Systemen) sowie der BFH, die das Projekt leitet und in Labortests normativ offene Sicherheitsfragen beantwortet. Die PV-Branche ist durch drei Partner mit langjähriger Erfahrung mit Plug & Play PV-Systemen im Projekt vertreten (Energie Genossenschaft Schweiz, hassler energia, Solarblitz).

1.2 Projektziele

Bestimmung dieses Projektes ist es, einerseits pränormative Regeln vorzuschlagen und andererseits Vorschläge für die Regulierung von Anlagen aus Sicht der tangierten Branchen zu erarbeiten, die im Konsortium vernehmlasszt wurden.

Grundlegend sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Was ist das Potenzial von Plug & Play-Systemen? Mit anderen Worten: Wie viel Relevanz hat das Thema überhaupt – sowohl technisch als auch zu einem gewissen Grad gesellschaftlich in Bezug auf die Technologieakzeptanz und als Beschleuniger der Energiewende?
- Welche Prozesse rund um Plug & Play PV-Systeme sind heute gut gelöst, welche sollten verbessert werden (Anschlussmeldung, Art und Ort der Regulierungen, Integration in die Anlagen der Netzbetreiber, Messung, Vergütung)? Wie können mögliche bürokratische Hürden minimiert werden?
- Sicherheit der Anlagen normativ: Plug & Play PV-Systeme werden heute mit Wechselrichtern erstellt, die u.U. nicht für diese Anwendung vorgesehen und nicht getestet wurden. Es sollte untersucht werden, inwiefern dies ein Sicherheitsrisiko darstellt – auch im Hinblick auf die im nächsten Punkt genannte 600 W-Grenze.
- Bewertung der in der Schweiz geltenden 600-Watt-Grenze für die maximale Einspeisung je Zählerstromkreis: Ist das eine sinnvolle Wahl? Wäre ein weiteres, anderes Limit sinnvoller? Welche Bedingungen müssten erfüllt sein, um andere (z. B. höhere) Leistungsgrenzen zu erreichen? Dabei wird zum einen die elektrische Sicherheit betrachtet, zum anderen das typische Balkonpotenzial und die verfügbaren Systeme. Diese Frage wird beantwortet mit Hilfe von
 - Untersuchung typischer Elektroinstallationen: Welche kritischen Situationen können in durchschnittlichen Haushalten auftreten? Wie wirken sich Plug & Play-Systeme auf diese Situationen aus? Wie kann verhindert werden, dass Schutzgeräte ordnungsgemäss funktionieren?
 - Laboruntersuchungen: Welche Temperaturen werden in T12-Steckern / Steckdosenleisten und Verlängerungskabeln erreicht, wenn diese mit z.B. mit 600 W oder 800 W belastet werden?

Folgende Ziele leiten sich daraus ab:



- Einschätzung des Potenzials für Plug & Play PV-Anlagen in der Schweiz und damit Beurteilung der Relevanz des Themas.
- Vorschläge für Regulierung von Plug & Play PV-Systemen durch beispielsweise VSE, Electrosuisse oder ESTI.
- Sicherheitsüberprüfung relevanter Produkte auf dem Markt. Auflistung möglicher Ausfallszenarien, deren Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenspotenzial.

2 Vorgehen, Methode, Ergebnisse und Diskussion

2.1 Vorgehen und Projektorganisation

Das Projekt ist in 4 Arbeitspakete gegliedert. Die Projektleitung, -koordination und -dissemination erfolgt durch das Labor für Photovoltaiksysteme der BFH, während für die Durchführung jedes Arbeitspaketes ein Konsortiums-Mitglied verantwortlich ist. Die Projektarbeit erfolgt durch die Konsortiums-Mitglieder. Ein Advisory Board wird im Bedarfsfall oder mindestens semesterweise über den Projektfortschritt informiert und in wichtige Diskussionen involviert, um die Sicht von wichtigen Marktakteuren im Zusammenhang mit Plug & Play PV-Anlagen ins Projekt einfließen zu lassen.

Das Konsortium stellt sich, wie in Abbildung 1 gezeigt, zusammen.

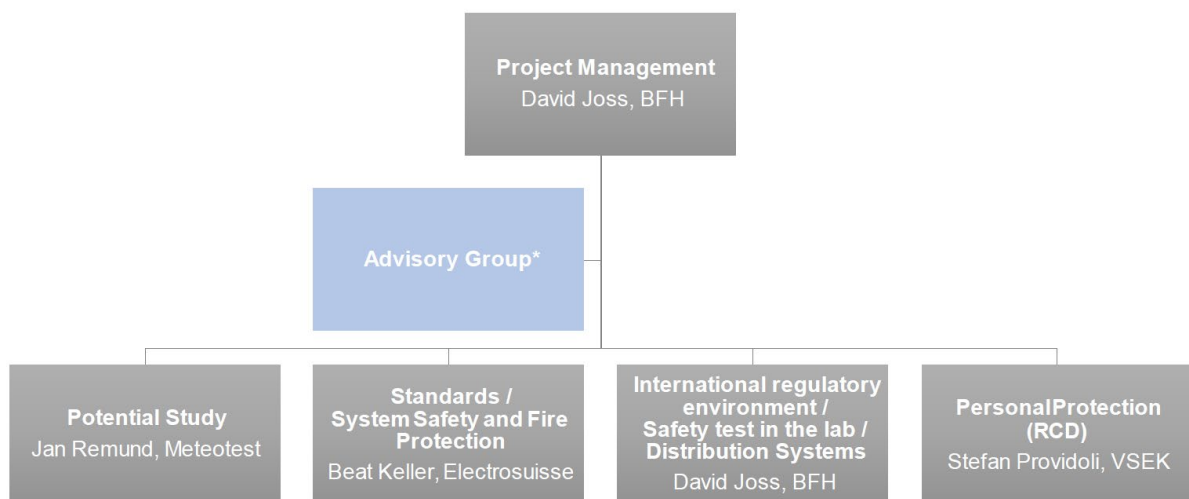


Abbildung 1 Organigramm des Projekts "Plug & Play PV-Systeme" mit dem bearbeitenden Konsortium und der beratenden Advisory Group

Die Advisory Group besteht aus Vertreter*innen von ESTI, VSE, BKW, Energie Genossenschaft Schweiz, hassler energia, Solarblitz und TCS.

Das Projekt ist gemäss folgendem Arbeitspaketplan (Tabelle 1) organisiert, welcher stichwortartig die Arbeitsinhalte und erwarteten Lieferelemente auflistet.



Tabelle 1 Übersicht der Arbeitspakete Projekt vom Projekt "Plug & Play PV-Systeme"

AP	Arbeitsinhalte	Arbeitseinteilung
0	Projektmanagement <u>Arbeitsinhalte</u> <ul style="list-style-type: none"> Koordination des Projekts Moderation von Meetings und Diskussionen Überwachung und Steuerung Allgemeine Dokumentation (Projektberichterstattung) 	Verantwortlich: BFH
		Beitragend: Electrosuisse, Meteotest, VSEK
1	Potenzialstudie von Plug-and-Play-PV-Anlagen <u>Arbeitsinhalte</u> <ul style="list-style-type: none"> Erstellung von Potenzialstudien (z.B. Stichproben von 1000 Gebäuden in der Schweiz nehmen, extrapolieren). Berechnung des jährlichen Produktionsprofils Berechnen Sie den Anteil des Schweizer Strombedarfs (pro Monat, pro Jahr) Einordnung der Ergebnisse der Plug and Play PV Systems Studie im Vergleich zu anderen PV-Potenzialstudien für einen Skalenvergleich. Variation der Potenzialstudie mit 600 W und anderen realistischen Leistungsschwellen. <u>Erwartete Lieferelemente</u> <ul style="list-style-type: none"> Eine «Stand Alone»-Publikation, die das Schweizer PV-Potenzial für Balkonanlagen erläutert. Teilweise geht die Studie auch auf eine sinnvolle Förderbarkeit von Plug-and-Play-PV-Anlagen und die Minimierung bürokratischer Hürden ein. Hauptautor wird Meteotest sein, Co-Autoren sind die BFH und möglicherweise weitere Mitglieder des Projekts. 	Verantwortlich: Meteotest
		Beitragend: BFH (strategisch)
2.1	Überprüfung von Normen (z.B. IEC 62109, NIN 7.12, weitere nationale Normen) <u>Arbeitsinhalte</u> <ul style="list-style-type: none"> Was ist abgedeckt, was fehlt? Welche neue Norm könnte nötig sein? IEC 62109: Sollte Plug & Play einbezogen werden? Anforderungen zum Schutz der Endstromkreise gegen elektrischen Schlag und gegen thermische Einwirkungen <u>Erwartete Lieferelemente</u> <ul style="list-style-type: none"> Standard-Review-Liste (was ist abgedeckt, was fehlt)? Implikationen für das Arbeitspaket 3.1 (Künftiger Rechtsrahmen) Keine eigenständige Veröffentlichung 	Verantwortlich: Electrosuisse
		Beitragend: BFH, VSEK
2.2	Aktueller Stand und Trends im internationalen regulatorischen Umfeld <u>Arbeitsinhalte</u> <ul style="list-style-type: none"> Zusammenarbeit mit IEC TC 82, IEC 62109. Die Norm wird derzeit überarbeitet, aber Plug & Play PV ist nicht abgedeckt. Dennoch nennen Unternehmen die IEC 62109 für ihre Plug & Play-Produkte anwendbar. Das Projektteam von 62109 hat gerade das 100. Projekttreffen "gefeiert". Die Komplexität des Dokuments ist gross und es ist unwahrscheinlich, dass Plug & Play einbezogen werden kann. Aus dem Projektteam 	Verantwortlich: BFH



	<p>werden jedoch fehlende Sicherheitsaspekte für Plug & Play PV bewertet und als mögliche Anforderungen für eine zukünftige Standardisierung formuliert. Diese Arbeit wird WP 2.3 ermöglichen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zusammenarbeit mit deutschen und österreichischen Gremien zur Abstimmung technisch-inhaltlicher Aspekte sowie Sicherheitsfragen und Aktivierungshorizonte der vorgesehenen Regeln. • Zusammenfassung der internationalen Diskussion <p><u>Erwartete Lieferelemente</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Überprüfungsliste für internationale Normen • Vergleichstabelle der aktuellen internationalen Regulierung • Zusammenfassung der internationalen Trenddiskussionen • Implikationen für das Arbeitspaket 3.1 (Künftiger Rechtsrahmen) 	<p>Beitragend:</p> <p>Electrosuisse</p>
2.3	<p>Anlagensicherheit / Brandschutz</p> <p><u>Arbeitsinhalte</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Sammlung typischer Haushaltsstromkreise • Hinzufügen von Plug & Play-PV-Systemen zu diesen Stromkreisen • Katalogisierung möglicher Fehlersituationen, Bewertung ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit (z.B. Überlastung des Stromkreises bei Raclette-Öfen, Sicherung brennt nicht durch zusätzliche Stromversorgung; z.B. Folgen durch nicht funktionierende Anti-Islanding-Erkennung) • Berücksichtigung der Anlagensicherheit / des Brandschutzes <p><u>Erwartete Lieferelemente</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Bewertungsbericht über Grenzsituationen, die den Einsatz von Plug-and-Play-PV-Systemen aus Sicht der Hausinstallation einschränken können • Aussage zur optimalen Leistungsbegrenzung für Plug-and-Play-PV-Anlagen unter Berücksichtigung der Anlagensicherheit und des Brandschutzes. • Implikationen für das Arbeitspaket 3.1 (Künftiger Rechtsrahmen) 	<p>Verantwortlich:</p> <p>Electrosuisse</p>
		<p>Beitragend:</p> <p>BFH, VSEK</p>
2.4	<p>Schutz gegen elektrischen Schlag / zusätzlicher Schutz z.B. FI-Schutzschalter</p> <p><u>Arbeitsinhalte</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Welche Ausfälle können passieren? • Welches Schutzgerät ist das richtige? • Benötigen wir einen FI-Schutzschalter vom Typ B? Wenn ja, wann und wo? • Können andere Sicherheitskonzepte das gleiche Schutzniveau gewährleisten? Unter welchen Umständen sind sie akzeptabel? • Einbeziehung von Laboruntersuchungen (2.2) <p><u>Erwartete Lieferelemente</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Screening möglicher Sicherheitsrisiken • Bei Plug & Play-Systemausfällen • während des normalen Betriebs • Beantwortung der Frage, ob es immer einen Bedarf für einen RCB B gibt • Implikationen für das Arbeitspaket 3.1 (Künftiger Rechtsrahmen) 	<p>Verantwortlich:</p> <p>VSEK</p>
		<p>Beitragend:</p> <p>BFH, Electrosuisse</p>



2.5	Sicherheitstests im Labor <u>Arbeitsinhalte</u> <ul style="list-style-type: none"> • Was sind die Sicherheitsrisiken (PV-Modul, DC-Stecker, Wechselrichter, AC-Stecker)? • Produktstudie, Wechselrichtertests im Labor • Mikro-Wechselrichter-Screening. Systematische Messung des Ausschaltverhaltens (Berührungssicherheit) • Bestätigung konzeptbezogener Sicherheitsstufen (z.B. galvanische Trennung) • Analyse von Überlastsituationen in Steckern, Steckdosenleisten und Kabeln <u>Erwartete Lieferelemente</u> <ul style="list-style-type: none"> • Detaillierte Beschreibung möglicher Sicherheitsprobleme und Massnahmen zur Minderung dieser Risiken. • Implikationen für das Arbeitspaket 3.1 (Künftiger Rechtsrahmen) • Statistik für Mikro-Wechselrichter, die für Plug & Play-Systeme verwendet werden: Wie unterscheiden sie sich in Bezug auf die Sicherheit (z. B. Anti-Islanding und Erdschlusschutz)? 	Verantwortlich: BFH Beitragend: VSEK, Electrosuisse
2.6	Verteilnetzintegration <u>Arbeitsinhalte</u> <ul style="list-style-type: none"> • Integration von Plug & Play-Systemen in das Verteilnetz. Risiken und Chancen. • Bewerbungsverfahren, -prozesse. • Rückblick: Wie sehen die Prozesse heute aus? Wie sollten sie sein? Und wie werden sie in der Realität gelebt? Könnten sie vereinfacht werden? • Metering: Wie sollten Plug-and-Play-PV-Anlagen gemessen werden? Können Ausnahmen gewährt werden? (vgl. Intelligente Messsysteme, StromVV Art. 8a, 3bis) • Kosten-Nutzen-Analyse für die Vergütung von Plug & Play-Systemen (wie hoch sind die Kosten für die Rückspeisung der ins Netz eingespeisten Energie für VNB?) <u>Erwartete Lieferelemente</u> <ul style="list-style-type: none"> • Eingaben für die relevanten und entsprechenden Branchendokumente. • Entwickeln Sie Basiswissen für die Integration in andere Branchendokumente wie z.B. den Messcode oder Werkvorschriften. 	Verantwortlich: BFH Beitragend: VSEK, Electrosuisse
3.1	Künftiger regulatorischer Rahmen <u>Arbeitsinhalte</u> <ul style="list-style-type: none"> • Zusammenfassung der gewonnenen Feststellungen • Empfehlung eines zukünftigen regulatorischen Rahmens für den Einsatz von Plug and Play PV-Anlagen in der Schweiz <u>Erwartete Lieferelemente</u> <ul style="list-style-type: none"> • Eingänge für ein mögliches Update / Review des ESTI Info 2108 (RCD-Anforderungen, Leistungsgrenzen) • Implikationen für das Arbeitspaket 3.1 (künftiger Rechtsrahmen) • Vorläufige Eingänge für weitere NIN-Versionen (Platzhalter für das Thema "Plug & Play PV" in NIN 2025) 	Verantwortlich: Electrosuisse Beitragend: BFH, VSEK



3.2	Verbreitung	Verantwortlich:
	<u>Arbeitsinhalte</u> <ul style="list-style-type: none">• Schlussfolgerungen• Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse, Berichterstattung• Erarbeitung von Empfehlungen für die internationale Harmonisierung, Austausch der Ergebnisse mit internationalen Arbeitsgruppen• Veröffentlichungen schreiben	BFH
	<u>Erwartete Lieferelemente</u> <ul style="list-style-type: none">• Alle relevanten Parteien in der Schweiz sollen Zugang zu den Projektergebnissen haben und darüber informiert werden.• Zur Leistungsgrenze von Plug-and-Play-PV-Anlagen liegt eine konsolidierte Stellungnahme vor, die in der Schweiz sinnvoll ist.• Basisdokumente für die Integration in Normen, Branchendokumente oder Richtlinien liegen in konsolidierter Form vor. Das Projektteam gibt eine Empfehlung, welche regulatorischen Anforderungen am besten in welcher Form veröffentlicht werden.• Das Potenzial von Plug-and-Play-PV-Anlagen für die Schweiz ist bekannt.	Beitragend: Electrosuisse, Meteo-test, VSEK

2.2 Methoden

In der betrachteten Periode vom Projektstart bis zum 1. November 2024 wurden massgeblich nachfolgende Arbeitspakete bearbeitet¹. Die dazu verwendeten Methoden seien kurz beschrieben.

AP 0: Projektmanagement

Vorwiegend in monatlich stattfindenden Sitzungen, sogenannten jour fixe, wie auch mittels ad hoc Sitzungen (online) wird das Projekt durch die BFH geleitet und durch das gesamte Konsortium bearbeitet. In den jour fixe findet sowohl ein inhaltlicher Austausch wie auch das Projektcontrolling rollierend statt. Die verantwortlichen Konsortiums Mitglieder organisieren sich innerhalb der einzelnen Arbeitspakete selbstständig. Halbjährlich findet zudem ein jour fixe mit der Auftraggeberin und der kompletten Advisory Group statt. Letztmals fand das Treffen in hybrider Ausführung (vor Ort in Burgdorf und via MS Teams) am 16. Mai 2024 statt.

AP 1: Potenzialstudie

Basierend auf dem bekannten Potenzial für Fassaden-PV-Anlagen wird anhand einer zufälligen Stichprobe für verschiedene Gebäudekategorien untersucht, ob Balkone am Gebäude vorhanden sind und wie gross ihr Photovoltaik-Potenzial ist. Das Potenzial wird dann auf den Gebäudebestand der Schweiz hochgerechnet.

Als Grundlage für diese Auswertung wurde die bestehende Solardatenbank Sonnenfassade.ch verwendet. Zunächst wurde ein Stichproben Datensatz von 1000 zufällig ausgewählten Fassaden durch einen automatischen Algorithmus als Startpunkt definiert. Dabei wurden Fassaden auf Grund folgenden Faktoren ausgewählt:

Einstrahlung (über 600 kWh/m²y), Nutzung (Wohngebäude), Fläche (über 50 m²) und Anzahl der Stockwerke (mehr als 1 Stockwerk) (vgl. Abbildung 2). Mit dieser Auswahl ist die Stichprobe repräsentativ für alle Fassaden in der Schweiz in Bezug auf die Nutzung (nur Wohnen, hauptsächlich Wohnen und gemischt), Anzahl der Stockwerke, Baujahr, Fassadenfläche, Einstrahlung, Region (Kanton) und Bevölkerungsdichte.

¹ Die nachfolgenden Abschnitte beinhalten lediglich die durchgeführten Arbeiten und deren Methoden. Die Resultate sind im eigenständigen Kapitel 2.3 wiedergegeben.



Die Fassaden wurden manuell mit Hilfe von Schweizer topografischen Karten, Google Street View, Google Earth und Apple Maps analysiert, um ihre Eignung für die potenziellen Balkonanlagen zu beurteilen.

Nach der ersten Analyse musste die Stichprobe auf 1300 Fassaden vergrössert werden. Der Grund dafür war, dass nicht alle zuvor ausgewählten Gebäude analysiert werden konnten, da nicht von allen Fassaden Bildmaterial zur Verfügung stand. Damit die Parameter einer Fassade bestimmbar sind, muss ein Bild online verfügbar sein. Schliesslich konnten 950 von 1300 Fassaden (73 %) untersucht werden. Es ist nicht bekannt, ob sich die nicht untersuchten Gebäude in Bezug auf die analysierten Merkmale systematisch von den untersuchten Gebäuden unterscheiden. Ungefähr 60 % der Fassaden haben keine Balkone - ein höherer Prozentsatz als angenommen.

Die folgenden Parameter wurden für jede der 950 Musterfassaden bewertet. Die beiden letzteren wurden für die drei berechneten Optionen ausgewertet (siehe Kapitel 2.3):

- Anzahl der Balkone, Summe der Länge der Balkone (unter der Annahme, dass ein Balkon immer hoch genug ist, um ein PV-Modul zu platzieren (1 m x 2 m Fläche));
- Anzahl der Wohnungen (minimale und maximale Schätzung);
- mögliche Anzahl der Module auf allen Balkonen (minimale und maximale Schätzung, basierend auf Anzahl Wohnungen).

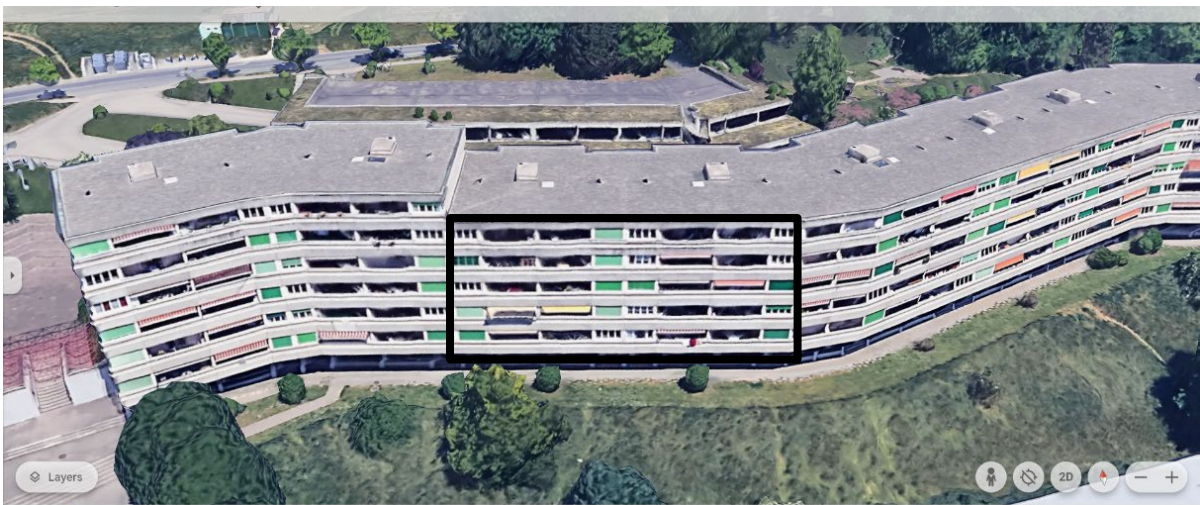


Abbildung 2 Beispielfassade eines Gebäudes mit 20 Balkonen, einer summierten Balkonlänge von 100m und einem Maximum von 40 Modulen (max. 2-3 Module pro Wohnung). Quelle: Google Maps.

Für jede Fassade ist die Produktion pro Fläche [$\text{kWh/m}^2\text{y}$] (PVrel) basierend auf Sonnenfassade.ch bekannt. Dieses Potenzial beinhaltet die Verschattung der Umgebung (Bäume, Gebäude und Topographie) sowie die Verschattung des Gebäudes selbst. Abbildung 2 zeigt ein Beispiel für eine Fassade mit vielen Balkonen.

Auf der Grundlage der oben genannten Zahlen wurde die potenzielle PV-Produktion der Module auf den Balkonen geschätzt. Dabei wurden die für Plug & Play-PV-Systeme auf Balkonen nutzbaren Flächen auf der Grundlage der aktuellen Vorschriften und der typischen Grösse von Modulen, wie sie zum Einsatz kommen könnten, definiert. Für die Module wurde eine DC-Nennleistung von 400 W bei STC mit einem Modulwirkungsgrad von 20% und bei einem benötigten Platzbedarf von 1 m x 2 m pro Modul angenommen. Ausser der Grenze von 600 W_{AC} pro Zählerstromkreis wurden bei dieser Analyse keine weiteren Anforderungen an die Elektroinstallation berücksichtigt. Ebenfalls blieben die raumplanerischen Aspekte unberücksichtigt.



Es wurden nur Module in Querformatausrichtung (Modul liegend) mit 90° Neigungswinkel an der Aussenseite von Balkonen berücksichtigt. Dies geschah mit der Upscaling-Methode, die auf dem bekannten Potenzial des zugrunde liegenden Fassadendatensatzes basiert.

Es wurden die folgenden drei Optionen modelliert:

1. 800 W P_{DC_STC} -System (2 Module) mit Begrenzung auf 600 W_{AC}-Wechselrichter-Nennleistung
2. 1200 W P_{DC_STC} -System (3 Module) mit Begrenzung auf 600 W_{AC}-Wechselrichter-Nennleistung
3. 1200 W P_{DC_STC} -System (3 Module) ohne AC-Begrenzung

Die PV-Produktion der Plug & Play-Module (PVpp) wurde wie folgt berechnet:

$$PV_{pp} = PV_{rel} \circ Area_{pp}$$

Wobei

$$Area_{pp} = 2m^2 \circ \frac{Max.nr + Min.nr\ modules}{2}$$

Es wurde die durchschnittliche Anzahl der potenziell montierbaren Module zugrunde gelegt.

Abbildung 3 zeigt die Fassade eines typischen kleinen Hauses in der Schweiz, für das das Potenzial für die Installation von Plug & Play PV-Systemen analysiert wurde.

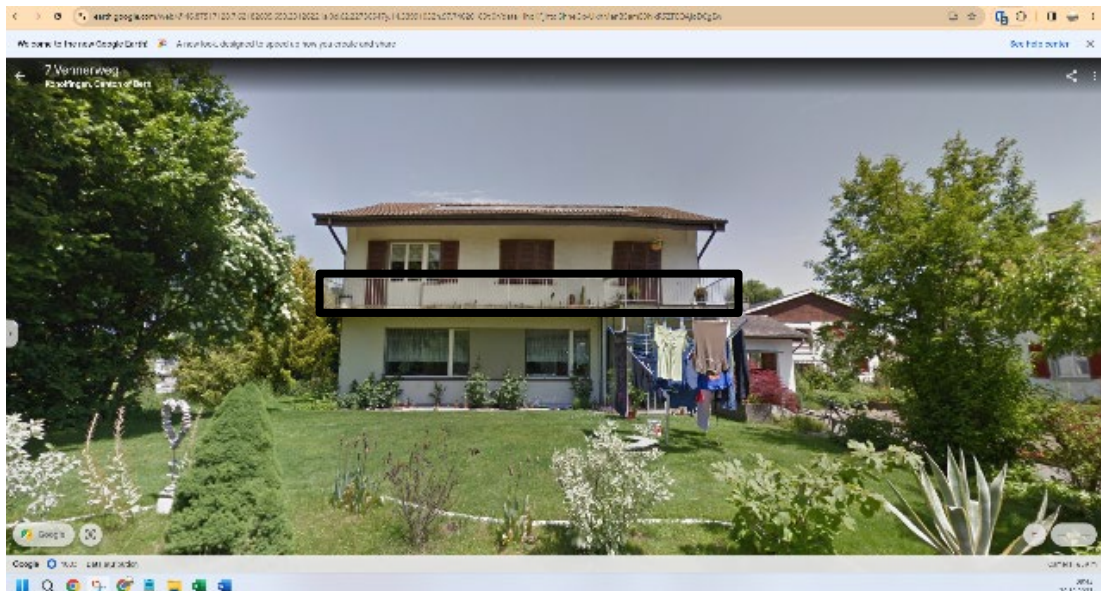


Abbildung 3 Beispiel einer Gebäudefassade mit 1 Balkon, einer summierten Balkonlänge von 7 m und maximal 2 bzw. 3 Modulen. Quelle: Google Maps. Für Option 1 wurde ein Produktionspotenzial von 605 kWh/Jahr berechnet, für Option 2 von 794 kWh/Jahr und für Option 3 von 908 kWh/Jahr. Quelle: Google Street View.

Zusätzlich wurde für jede der drei Optionen der Anteil der Energie berechnet, welcher aufgrund von Überschreitung der AC-Leistung aufgrund einer Unterdimensionierung des Wechselrichters verloren geht. Dies geschah auf der Grundlage eines typischen Jahres für die Einstrahlung in der Stadt Bern mit einer Auflösung von einer Minute auf der Grundlage der Software Meteonorm. Verschiedene Azimute



der Fassaden wurden auf der Grundlage der Anteile der Azimute, die in einer Analyse des gefilterten Fassadendatensatzes gefunden wurden, angewendet (Abbildung 4). Der Durchschnitt einer Südfassade und einer Fassade mit einem Azimut von 120° (60° Abweichung vom Süden) wurde stellvertretend verwendet, da diese Werte die gefundene Verteilung gut repräsentiert, wie die Abbildung 4 zeigt.

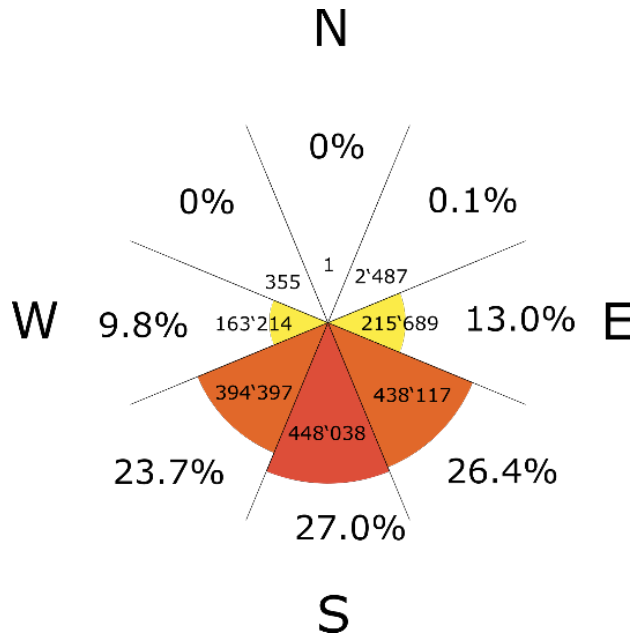


Abbildung 4 Verteilung der Fassadenazimute aller Fassaden.

Daraus ergaben sich die folgenden Anteile der abgeregelten Energie für die drei Optionen:

1. 800 W P_{DC_STC} / 600 W_{AC} Grenzwert: 1.45% der jährlichen Energie wird abgeregelt
2. 1200 W P_{DC_STC} / 600 W_{AC} Grenzwert: 12.7% der Jahresenergie wird abgeregelt
3. 1200 W P_{DC_STC} / keine AC-Begrenzung: keine Abregelung

Da der Anteil bei Option 1 nahe bei null liegt und geringer ist als die angenommenen Unsicherheiten, wurde für die Ergebnisse dieser Option schliesslich keine Abregelung berücksichtigt. Die Einschränkung für Option 2 ist im Sommer am geringsten und weist im Frühjahr und Herbst geringe Spitzenwerte auf. Die durchschnittlichen monatlichen Abregelungsanteile wurden auf die ursprünglichen - nicht abgeregelten - Daten angewandt, um die endgültige Produktion zu modellieren.

Um die Robustheit des Ansatzes zu testen, wurden verschiedene Gewichtungen auf die Extrapolation angewandt. Es wurde eine Mischung aus Gebäuden auf der Grundlage von Nutzung und Baujahr, Anzahl der Stockwerke und Nutzung sowie auf der Grundlage von Nutzung, Anzahl der Stockwerke und Baujahr und auf der Grundlage der Kantone allein verwendet. Alle vier Gewichtungsoptionen führen zu vergleichbaren Ergebnissen. Die Gewichtung nach Nutzung und Baujahr führt zu Ergebnissen, die den Ergebnissen ohne Gewichtung sehr nahe kommen. Aus Gründen der Einfachheit wurde deshalb die ungewichtete Analyse verwendet.

AP 2.1: Überprüfung von Normen

Mit einer umfassenden Recherche in nationalen Normen, Weisungen, Richtlinien und Empfehlungen wurde erörtert, was bereits für Plug & Play PV-Systeme gilt, was möglicherweise gilt und wo es Abweichungen oder sogar Widersprüche in den Anforderungen gibt. Die nationalen Regelwerke wurden in einer Normenübersichtstabelle gesammelt und mit den in AP 2.2 erarbeiteten Erkenntnissen ergänzt. Die Tabelle wird laufend mit neuen Erkenntnissen ergänzt. Es sei angemerkt, dass das Thema Plug & Play PV-System in den Normengremien viel zu diskutieren gibt und daher laufend Neuerungen in Kraft



treten können. Aktuell wird auf eine Publikation der Normenübersichtstabelle verzichtet, weil sie als Arbeitsdokument zu betrachten ist.

AP 2.2: Aktueller Stand und Trends im internationalen regulatorischen Umfeld

Der aktuelle Stand und die Trends zu Plug & Play PV-Systemen im internationalen regulatorischen Umfeld wurden durch Internetrecherche und den Austausch mit Experten, basierend auf Onlinebeiträgen und Meldungen von Gesetzgebern, Regulatoren, Normungsgruppen oder Interessensgesellschaften und Gesprächen ermittelt. Die recherchierten Informationen wurden nach den aktuellen Rahmenbedingungen (vorgeschriebene Anschlussleistung, Verfahren zur Meldung bzw. Genehmigung, Sicherheit) und den möglichen kurz bis mittelfristigen Änderungen kategorisiert. Die (möglicherweise²) anwendbaren Regeln wurden in der Normenübersichtstabelle aus AP 2.1 ergänzt.

Derzeit konnten die Informationen für Deutschland, Österreich, Schweiz, Belgien, Schweden und Polen ermittelt werden. Für die weitere EU-Länder wird aktuell eine Erhebung bei den zuständigen nationalen Regulierungsbehörden durchgeführt.

Mit einem Mitarbeiter von Electrosuisse/ CES ist die Schweiz im CENELEC vertreten und ist so jeweils über die neuesten Aktivitäten in der Normung, u.a. auch für Plug & Play PV-Systeme im Bild.

AP 2.3: Anlagensicherheit / Brandschutz

Die Schutz- und Sicherheitsbetrachtung beschränkt sich innerhalb dieses Projektes lediglich auf elektrotechnische Aspekte. Es wurde eine Sammlung von bisherigen Betrachtungen zur Anlagensicherheit und zum Brandschutz angelegt. Diese basiert einerseits auf Dokumenten, welche durch Recherche oder im Zuge von Expertenaustauschen gesammelt werden und andererseits auf eigenen Berechnungen. Insbesondere wurden Belastungssituationen von Endstromkreisen unterschiedlichen Alters respektive mit unterschiedlichen Generationen von zugrundeliegenden Installationsnormen analysiert. Ebenso wurden verschiedene Fehlerszenarien entwickelt und klassiert. Resultat dieser Analysen ist eine Risikotabelle mit zugehöriger Risikomatrix. Beide Dokumente werden laufend erweitert. Ein Auszug aus der Risikotabelle ist im Kapitel 2.3 ersichtlich.

AP 2.4: Schutz gegen elektrischen Schlag / zusätzlicher Schutz z.B. Fehlerstrom-Schutzschalter

Die Arbeiten im AP 2.4 zentrieren sich um die grundsätzlichen Massnahmen und Ausführungen der Schutzmechanismen im Zusammenhang mit Plug & Play PV-Systemen und im Besonderen der Wechselrichter. Dafür wurden Fehlerszenarien gesammelt und den gefundenen Schutzmassnahmen gegenübergestellt. Mittels statistischer Auswertung der in AP 2.5 gesammelten Wechselrichter respektive deren Schutzmassnahmen gegen elektrischen Schlag und den daraus resultierenden Eintrittswahrscheinlichkeiten wurden die in AP 2.3 erarbeitete Risikotabelle ergänzt.

AP 2.5: Sicherheitstests im Labor

Seit Projektstart wird durch die BFH eine Wechselrichterdatenbank für Modulwechselrichter, wie sie in Plug & Play PV-Systemen eingesetzt werden können, geführt. Aktuell beinhaltet diese Wechselrichterdatenbank über 290 Geräte. Kenngrössen wie die Nennleistung, die Anzahl PV-Eingänge sowie deren Arbeitsfenster, die elektrische Topologie, die Schutzmechanismen und die Einhaltung von erforderlichen Normen werden erhoben. Zweck dieser Datenbank ist es einerseits, statistische Auswertungen über die Gerätelandschaft am Markt machen zu können und andererseits eine Basis zu schaffen, nach welchen Kriterien die Sicherheitstests am Labor für Photovoltaiksysteme durchzuführen sind. Rund 25 Wechselrichter wurden ausgewählt und für die vorgesehenen Sicherheitstests bestellt.

Auf Basis der nationalen und internationalen Normenrecherche und der Wechselrichterdatenbank wurde ein Entwurf eines Testplans erstellt und erste Messungen an einzelnen bestellten Geräten durchgeführt. Die Erkenntnisse dieser Messungen, Experteninterviews sowie die der neueste Entwurf der DIN VDE V 0126-95 fliessen aktuell in den finalen Testplan ein, nach welchem sukzessive Tests an emulierten Plug & Play PV-Systemen mit den beschafften Wechselrichtern durchgeführt werden sollen.

² Z.T. sind Primärquellen nur eingeschränkt verfügbar



AP 2.6: Verteilnetzintegration

Zur Beurteilung der aktuellen Prozesse im Zusammenhang mit Plug & Play PV-Systemen (ohne baurechtliche Belange), erfolgten Interviews mit verschiedenen Verteilnetzbetreibern. Die Wahl der Verteilnetzbetreiber erfolgte anhand ihrer geographischen Verteilung in der Schweiz sowie ihrer Grösse (Netzgebiet). Es wurde darauf geachtet, dass Antworten aus allen Regionen der Schweiz von den grössten Verteilnetzbetreibern ausgewertet werden konnten. Die Umfrage erfolgte zu einem Teil telefonisch, zum anderen per E-Mail oder allenfalls in einer Mischform (VNB füllt Formular selbst auf Korrespondenzweg aus, Klärung von Unklarheiten/ fehlenden Informationen per Telefon). Befragt wurde in den Interviews zu folgenden Themen: An- und Abmeldung von Plug & Play PV-Systemen, Inbetriebnahme und Betrieb, Vergütung der Erträge und Ausblick, Wünsche, Schwierigkeiten.

AP 3.1: Künftiger regulatorischer Rahmen

Basierend auf den bisherigen Erkenntnissen aus den Arbeitspaketen AP 2.1 bis 2.5 wurde nach einer Strategie gesucht, nach welcher künftige Regularien sinnvoll und rasch eingeführt werden können. Das Konsortium kam zu Schluss, dass eine Nennung von Plug & Play PV-Anlagen im Kapitel 7.12 der NIN 2025 mit Verweis auf eine spätere Regelung adäquat sei. Diese Nennung wurde bereits umgesetzt und wird aktuell mit der Einführung der NIN 2025 verbreitet. Mit Konsortiumsbeschluss und nach Rücksprache im TK 82 (Sitzung vom 12.09.2024) ist geplant, eine SNG zum Thema «Plug & Play PV-Anlagen» zu lancieren (Titel freibleibend). Der Erstentwurf dieser SNG wurde innerhalb des Konsortiums gestartet und ist aktuell in Bearbeitung.

AP3.2: Dissemination

Die Projektkommunikation findet hauptsächlich über die Projektwebseite des Labors für Photovoltaiksysteme der BFH statt³. Wichtige inhaltliche Diskussionen finden sowohl im Konsortium als auch mit Vertretern der Advisory Group, dem BFE oder in anderen Gremien (z.B. TK 82) statt. Im September 2024 wurde das in diesem Projekt berechnete Potenzial für Plug & Play PV-Systeme (Balkonsysteme) erstmals als Posterbeitrag inkl. zugehörigem Paper an der EUPVSEC in Wien veröffentlicht. Auf diese Veröffentlichung wurde mit einem Post der BFH verwiesen.

³ Webseite: <https://www.bfh.ch/de/forschung/forschungsprojekte/2023-764-629-419/>



2.3 Zwischenergebnisse und Diskussion

Potenzialstudie

Das Potenzial aller Fassaden in der nach den Faktoren Einstrahlung, Nutzung, Fläche und Anzahl der Stockwerke ausgewählten Teilmenge summiert sich im nationalen Massstab auf 21.611 TWh / Jahr (Abbildung 5) [1, 2].

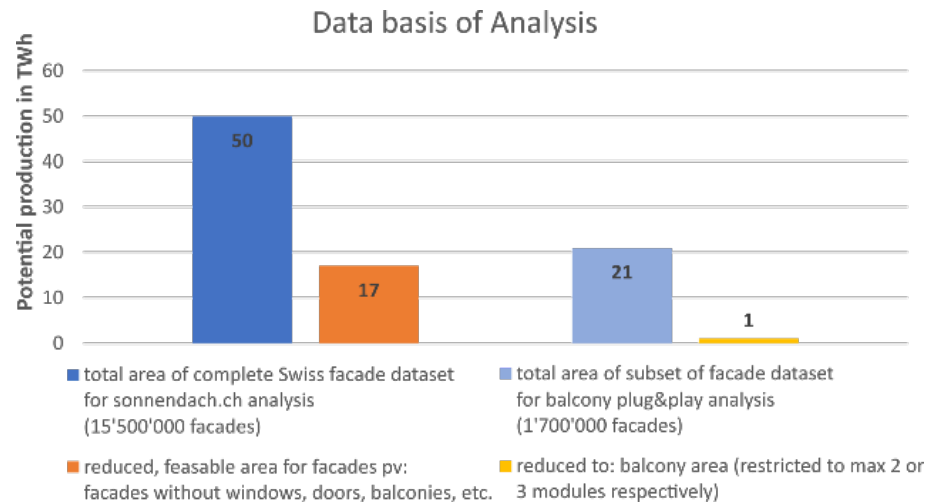


Abbildung 5 Überblick über die Datengrundlage und die daraus resultierenden Potenziale. Für die Plug & Play-Analyse wurde eine Teilmenge der Fassaden des gesamten Schweizer Fassadendatensatzes verwendet und auf den prozentualen Anteil der Balkonflächen unter Berücksichtigung der Einschränkungen der Plug & Play-Vorschriften angewendet.

Der Anteil der summierten Produktion der Plug & Play Systeme dividiert durch die summierte Produktion der gesamten Fassadenuntergruppe beträgt 4.1% für Option 1. Wendet man diesen Prozentsatz auf das Schweizer Fassadenpotenzial an, ergibt sich ein Gesamtvolumen von 895 GWh (Tabelle 2).

Tabelle 2 Ergebnisse der Schätzung der potenziellen Jahresproduktion in der Schweiz für die drei gewählten Optionen.

	Option 1	Option 2	Option 3
Maximale Anzahl Module	2	3	3
DC	800 W	1200 W	1200 W
Max. AC	600 W	600 W	no limit
Anteil der abgeregelten Energie	0%	12.7%	0%
Potentielle Produktion	895 GWh	1002 GWh	1048 GWh
Produktion im Winterhalbjahr (Anteil)	337 GWh (37,65 %)	379 GWh (37,82 %)	393 GWh (37,5 %)
Produktion im Sommerhalbjahr (Anteil)	558 GWh (62,35 %)	623 GWh (62,18 %)	655 GWh (62,5 %)

Für die Option 2 wurden insgesamt 1002 GWh berechnet (4,6 %). Für Option 3 ergab sich eine Gesamtmenge von 1048 GWh (4,9 %).

Die Produktion im Winterhalbjahr summierte sich auf 337, 379 bzw. 393 GWh, was je Option im Mittel 37 % Winterstromanteil bedeutet.

Die Optionen 2 und 3 mit 3 Modulen ergaben absolut eine höhere Produktion als Option 1 - aber nicht so viel, wie aufgrund der Anzahl der Module allein angenommen. Der Hauptgrund ist, dass auf vielen Balkonen aus Platzgründen nur 2 Module angebracht werden können. So hat der theoretische, mittlere



Abregelungsanteil von 12,7% einen relativ geringen Einfluss auf das effektive Potenzial, weil es nicht sehr viele Anlagen gibt, welche überhaupt abgeregelt werden.

Abbildung 6 zeigt die monatliche Verteilung der PV-Produktion für die Optionen 1 bis 3. Bei allen drei Optionen liegt der Anteil der Winterenergie bei etwa 37 %.

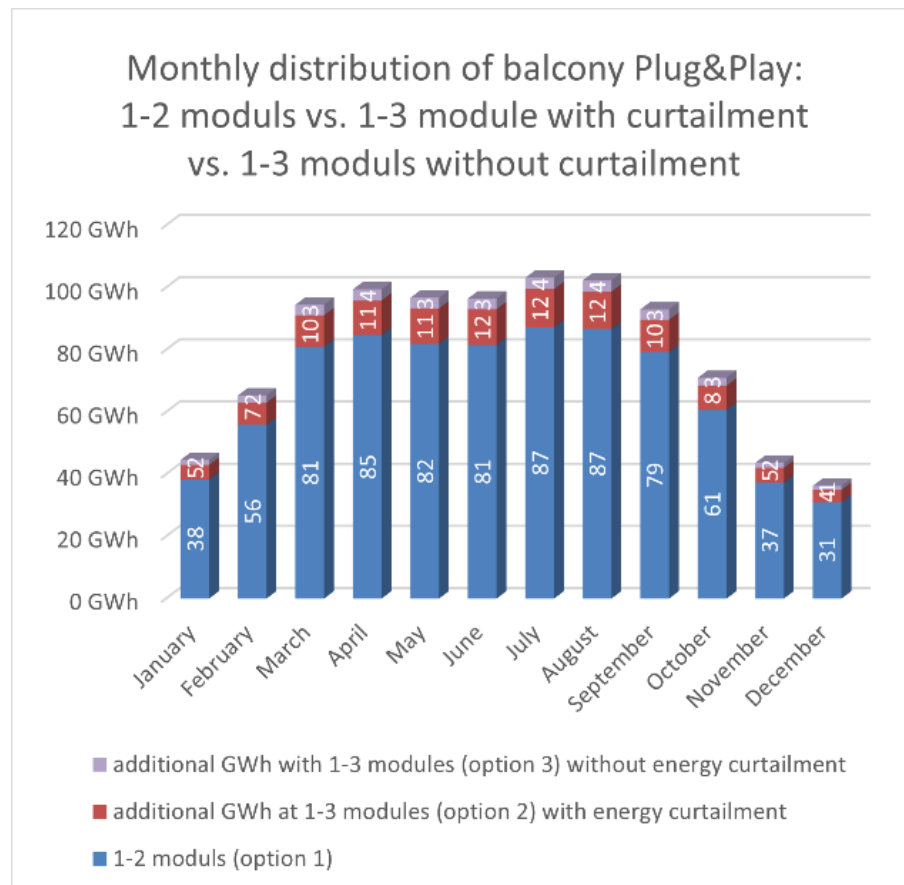


Abbildung 6 Monatliche Verteilung der potenziellen Stromproduktion mit PV Plug & Play Anlagen.

Schutz- und Sicherheitsbetrachtungen

In Tabelle 3 ist ein Auszug aus der Risikotabelle für die Beurteilung der Belastung von Leitungen der Hausinstallation für die Epochen ab 2005 bis heute und ab 1997 bis 2005 wiedergegeben. Tabelle 3 ist ein Auszug, die Betrachtung wurde auch für Installationen gemacht, die vor 1997 erstellt wurden. Die Betrachtung zeigt für gängige Verlegearten, dass die potenzielle Belastung respektive die Überlastung temporär tragbar zu sein scheint. Die Leitungen sind entweder durch die zusätzliche Einspeisung mit 800 W_{AC} nicht ausserhalb ihres Bemessungsbereichs oder nur bis maximal 10 % überbelastet⁴. Die Wahrscheinlichkeit, dass dauerhaft zusätzliche Leistung im Endstromkreis, in den eingespeist wird, bezogen wird ist sehr gering.

⁴ Der gelb oder grün markierte Wert in Tabelle 3 zeigt die maximale Leistung, die der Leiter bei der entsprechenden Verlegeart ohne Schaden führen kann. Unter Leistungsschutzschalter wird die Leistung spezifiziert, die ein Sicherungsautomat in die Installation fliessen lässt (ohne Berücksichtigung weiterer Faktoren). Die 800 W des Plug & Play PV-Systems werden zu diesem Wert addiert. Ein Vergleich der Werte zeigt: Die theoretische Überlastbarkeit der Leitung wird nicht erreicht oder liegt zwischen 1 % und 10 %.



Tabelle 3 Auszug aus der im Projekt erarbeiteten Risikotabelle; Betrachtung für die Belastungssituation der Hausinstallationsleitungen nach Verlegeart.

Risiko	Wahrscheinlichkeit	Auswirkung	Begründung
Überlastung der Leitung des Endstromkreises, da zusätzlich zum vom Netz bezogenen Strom der Strom aus der PV-Anlage direkt im Endstromkreis verbraucht wird (bei P_{\max} 800 W _{AC} 3,46 A) für Installationen ab 01.01.2005	tief	Sehr tief	Folgende Strombelastbarkeiten liegen den Querschnitten zu Grunde (NIN 2020 5.2.3 Tabelle 4): 1,5 mm ² Verlegeart A1 14,5 A (3'335 W bei 230 V) Leitungsschutzschalter 13A= 2'990 W 1,5 mm ² Verlegeart A2 14 A (3'220 W bei 230 V) Leitungsschutzschalter 13A= 2'990 W 1,5 mm ² Verlegeart B1 17,5 A (4'025 W bei 230 V) Leitungsschutzschalter 13 A= 2.990 W 1,5 mm ² Verlegeart B2 16,5 A (3'795 W bei 230 V) Leitungsschutzschalter 13 A= 2'990 W Die theoretische Überlastbarkeit wird nicht erreicht oder liegt zwischen 1 % und 10 %. Die Wahrscheinlichkeit, dass zusätzliche Leistung im Endstromkreis, in den eingespeist wird, bezogen wird ist sehr gering.
Überlastung der Leitung des Endstromkreises, da zusätzlich zum vom Netz bezogenen Strom der Strom aus der PV-Anlage direkt im Endstromkreis verbraucht wird (bei P_{\max} 800 W _{AC} 3,46 A) für Installationen von 1997- 2005	Sehr tief	Sehr tief	2,5 mm ² Verlegeart A1 19,5 A (4'485 W bei 230 V) Leitungsschutzschalter 16A= 3'680 W 2,5 mm ² Verlegeart A2 18,5 A (4'255 W bei 230 V) Leitungsschutzschalter 16 A= 3'680 W 1,5 mm ² Verlegeart B1 17,5 A (4'025 W bei 230 V) Leitungsschutzschalter 16 A= 3'680 W 1,5 mm ² Verlegeart B2 16,5 A (3'795 W bei 230 V) Leitungsschutzschalter 16 A= 3'680 W Die theoretische Überlastbarkeit wird nicht erreicht oder liegt zwischen 1 % und 18 %. Die Wahrscheinlichkeit, dass zusätzliche Leistung im Endstromkreis, in den eingespeist wird, bezogen wird ist sehr gering.

Bewusst wird zum Zeitpunkt dieses Zwischenberichtes nicht die gesamte Risikotabelle veröffentlicht. Sie wird im Zuge der weiteren Arbeiten vervollständigt und Annahmen/ Einschätzungen werden durch zusätzliche Analysen und die Sicherheitstests im Labor ergänzt.

Mit aktuell anwendbarer ESTI-Mitteilung zu Plug & Play PV-Systemen wird aktuell zwingend entweder eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (PRCD, Typ B, 30 mA) im Netzkabel oder im Netzstecker auf der AC-Seite des Erzeugnisses oder eine allstromsensitive Fehlerstrom-Überwachungseinheit (RCMU) im Wechselrichter/ der Netzschnittstelle gefordert. Im Unterschied zu konventionellen, fest angeschlossenen Wechselrichtern bei welchen auch die galvanische Trennung als Schutzmassnahme gegen elektrischen Schlag zugelassen ist, fehlt diese Möglichkeit bei Plug & Play PV-Systemen. Eine Statistik (Abbildung 7) über die in der Wechselrichterdatenbank gesammelten Geräte zeigt, dass die Mehrheit eine galvanische Trennung zwischen der Modulseite und der AC-Seite aufweist. Es liegt somit auf der Hand, die galvanische Trennung als anerkannte Basis für die Beurteilung der künftigen Schutzmassnahme für



Plug & Play PV-Systeme zu anerkennen. Weitere Analysen und die Sicherheitstests in diesem Projekt sollen Klarheit über die Eignung der galvanischen Trennung als zukünftige Schutzmassnahme schaffen.

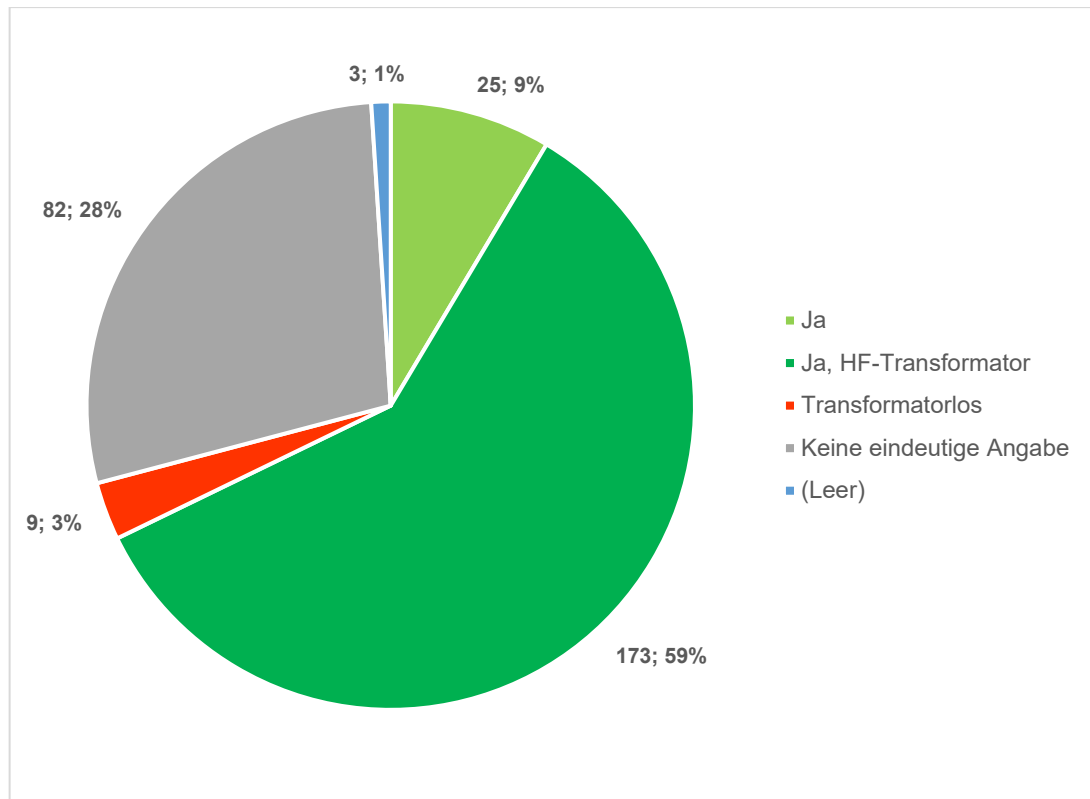


Abbildung 7 Statistische Auswertung über das Vorhandensein einer galvanischen Trennung im Wechselrichter. 68% der Stichprobe (n=292) haben eine galvanische Trennung, wobei bei 59% in den Datenblättern explizit ein Hochfrequenztransformator genannt wird.

Verteilnetzintegration

Befragt wurden die 10 grössten Verteilnetzbetreiber sowie ergänzend Betreiber aus der ganzen Schweiz mit städtischen und ländlichen Netzen (total 15 VNB). Ausstehend sind aktuell noch die Antworten von Services Industriels de Genève (SIG), Società Elettrica Sopracenerina SA (SES), OIKEN und Romande Energie SA. Zur Darstellung der schweizweiten Verteilung der befragten Unternehmen, sind diese im Bereich ihres Netzgebietes in Abbildung 8 auf einer Karte der Schweiz markiert.

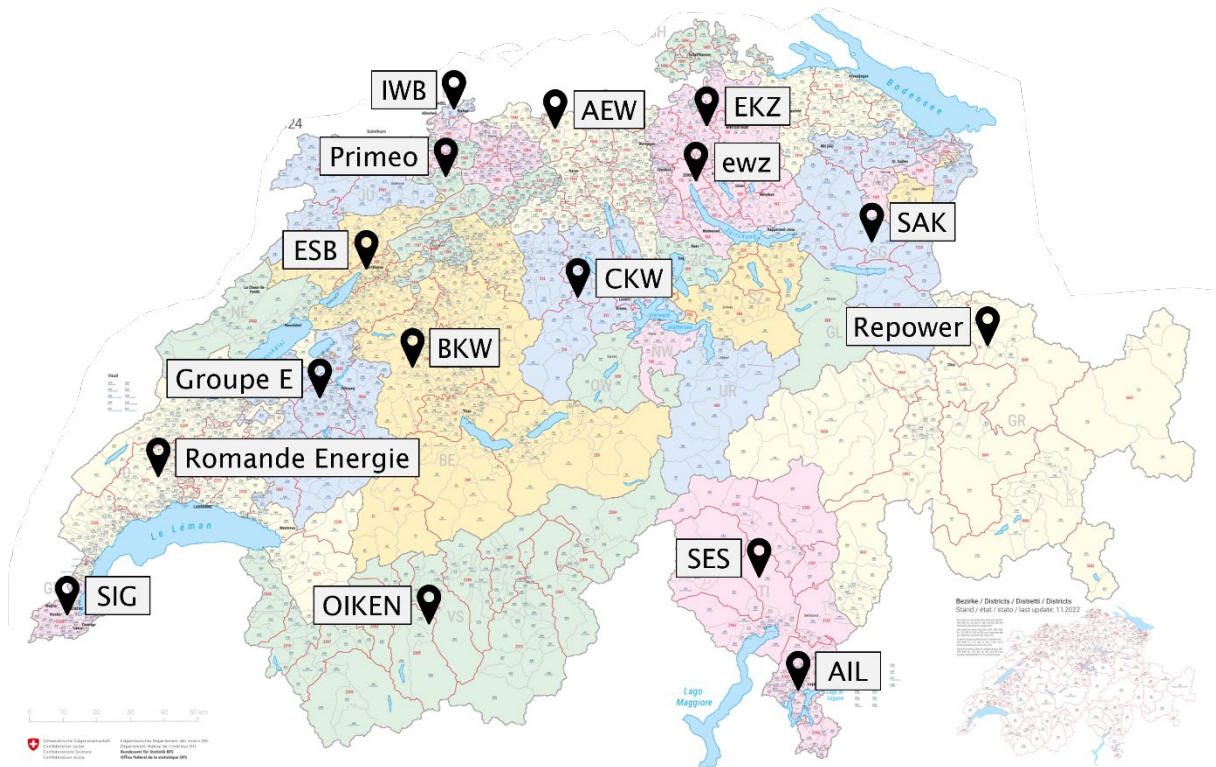


Abbildung 8: Schweizerkarte mit Markierung der befragten Verteilnetzbetreiber

Die Umfrage hat gezeigt, dass der Anmeldeprozess von Plug & Play PV-Systemen besonders bei den grossen Verteilnetzbetreibern strukturiert organisiert ist. Bei den meisten kann die Anmeldung über ein Online-Formular oder zumindest über ein PDF-Formular erfolgen. Für die Abmeldung einer Anlage gibt es deutlich seltener einen strukturierten Prozess. Oft muss sich der Kunde beim Kundendienst melden. Das Vorgehen, wenn ein Plug & Play PV-System an einen alten Stromzähler angeschlossen wird, unterscheidet sich stark zwischen den VNB. Während einige konsequent alle Stromzähler mit Smart Meter ersetzen, lassen andere auch alte unidirektionale Zähler bis zum ordentlichen Rollout in Betrieb.

Die Vergütung der Erträge erfolgt bei allen aufgrund des Zählerwertes mit Tarifen zwischen 6,18 und 16,25 Rp/CHF (Stand Juni 2024). Bei alten Zählern erfolgt bei den befragten VNB eine Pauschalvergütung⁵, welche vom VNB festgelegt ist. Der VSE hat dazu ein Berechnungsmodell vorgeschlagen [3]. In keinem Fall wurde eine Verweigerung der Vergütung der überschüssigen Energie festgestellt.

Was die Einforderung und Überprüfung der technischen Dokumentation zu den Anlagen betrifft, gibt es eine grosse Spannweite zwischen den VNB. Während einzelne VNB neben der Konformitätserklärung zusätzlich Datenblätter und Fotos des Systems vor Ort einfordern, reicht für andere das Anmeldeformular ohne Zusätze.

AP2.2: Aktueller Stand und Trends im internationalen regulatorischen Umfeld

Abbildung 9 visualisiert den erfassten Stand des regulatorischen Rahmens in Europa. Der regulatorische Rahmen ausserhalb von Europa wurde im aktuellen Projektstand noch nicht erfasst, da der Fokus derzeit auf Europa liegt. Begründet wird dies, da seitens des Verbundnetzes einheitliche Regelungen für Erzeugungsanlagen bestehen (Regulation for Generators) auf Europa-Ebene bestehen.

⁵ Gesetzlich geregelt ist, dass eine Pauschale zulässig ist, sofern noch kein SmartMeter installiert ist, siehe EnV, Art. 12, Abs. 3



In der Schweiz sind Plug & Play PV-Systeme für den Anschluss über eine Haushalts-Steckdose zugelassen. In Belgien, Österreich und Deutschland gibt es Einschränkungen bei der Nutzung der Haushalts-Steckdose für eine Einspeisung mittels Steckersolarargeräten, wobei sich die Voraussetzungen unterscheiden. In all diesen Ländern gibt es den Trend zur Vereinfachung der bisher gültigen Regeln, wobei noch Anpassungen an Gesetzen oder Normen pendent sind. In Polen ist die Situation für PV-Kleinstanlagen unter 800 W nicht geregelt. Weiters ist die Recherche von weiteren EU-Ländern noch in Arbeit, daher wird nachfolgend noch nicht auf die Plug & Play Rahmenbedingungen in diesen Ländern eingegangen.

Da es in jedem Land unterschiedliche Bezeichnungen für Plug & Play-Systeme gibt und sich der Komponentenumfang des Systems national unterscheiden kann, wird nachfolgend eine für diesen Bericht gültige Definition formuliert:

«Ein Plug & Play Photovoltaik System ist eine elektrische Kleinsterzeugungseinheit, welche auch für Laien bedienbar ist, bestehend aus mindestens einem Photovoltaikmodul und mindestens einem Wechselrichter. Die Ausgangseite des Wechselrichters verfügt über eine ortsveränderliche Leitung mit handelsüblichem Stecker, mit welchen das System direkt an eine fest installierte Steckdose am Endstromkreis angeschlossen werden kann. Das System kann als Kompaktsystem oder durch mehrere Komponenten realisiert werden.

»

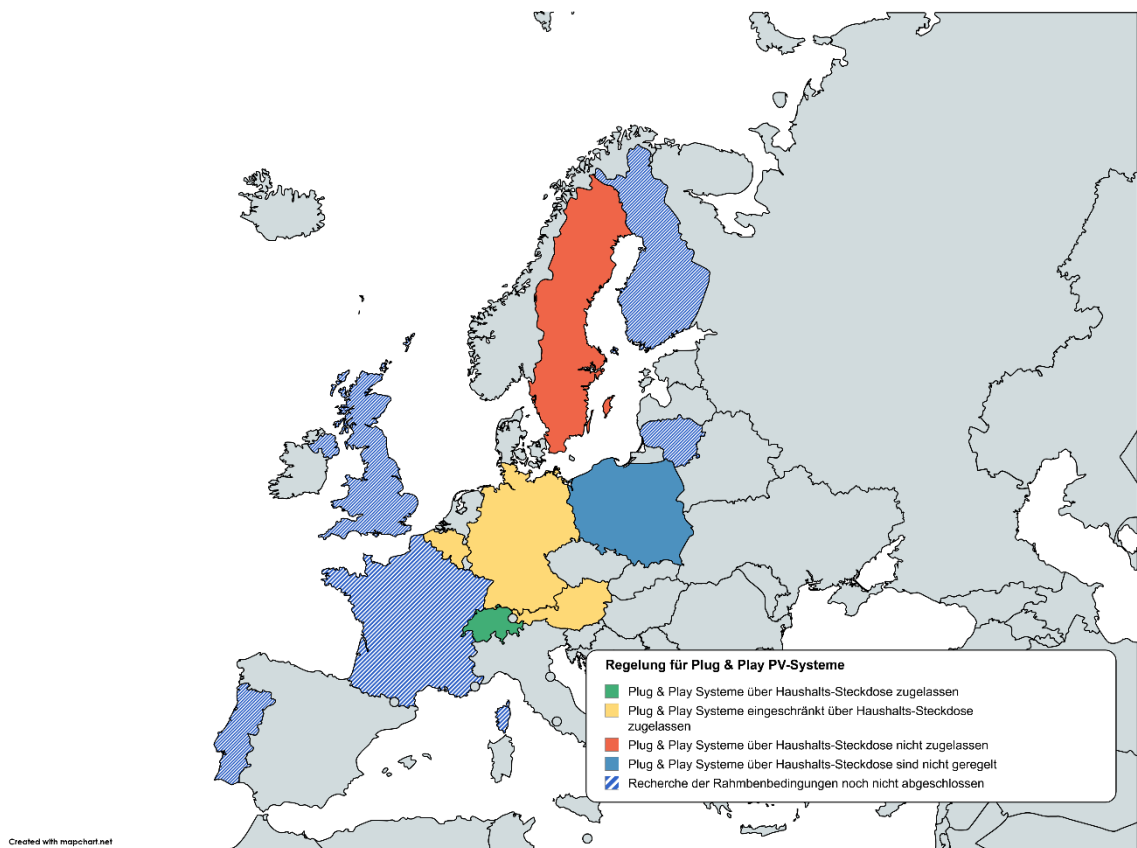


Abbildung 9 Überblick der Anschluss-Rahmenbedingungen von Plug & Play PV System in Europa



Schweiz

In der Schweiz sind pro Zählerstromkreis Plug & Play PV-Anlagen mit einer kumulierten AC-Leistung von maximal 600 W an Aussensteckdosen erlaubt [4]. Für die Plug & Play Anlage muss eine Konformitätserklärung gemäss Art 6. NEV mit der Aufführung aller relevanter Normen vorhanden sein. Zudem muss entweder eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (PRCD, Typ B, 30 mA) im Netzkabel oder im Netzstecker auf der AC-Seite des Wechselrichters vorhanden oder eine allstromsensitive Fehlerstrom-Überwachungseinheit (RCMU) im Wechselrichter nachweislich eingebaut sein. Vor der Inbetriebnahme muss der Verteilnetzbetreiber schriftlich informiert werden. Hinsichtlich der Vergütung der eingespeisten Energie wird auf das vorherige Kapitel verwiesen.

Belgien

Der Verband der belgischen Strom- und Gasnetzbetreiber (Synergrid) will den Einsatz von Plug & Play-Solarmodulen und Batteriesystemen erlauben, die wie gewöhnliche Haushaltsgeräte an die Steckdose angeschlossen werden können [5]. Diese Entscheidung erfordert eine Anpassung der Vorschrift C10/11, die bislang Plug & Play PV Systeme verbietet. Nach öffentlicher Konsultation wurde die überarbeitete Fassung den regionalen Energieregulierungsbehörden zur Genehmigung vorgelegt. Die geänderten Regeln sollen voraussichtlich im November 2024 durch die Regulierungsbehörden veröffentlicht und ab Mai 2025 wirksam werden. Nach der Veröffentlichung können Hersteller ihre mobilen Geräte von Synergrid zertifizieren lassen, um sicherzustellen, dass sie den belgischen Vorschriften entsprechen. Welche Normen für die Zertifizierung erfüllt werden müssen ist noch nicht spezifiziert und es ist daher unklar, ob diese auch Sicherheitsaspekte für Endkund*innen berücksichtigt.

Deutschland

In Deutschland sind Plug & Play PV-Anlagen (als Steckersolargeräte bezeichnet) mit einer installierten DC-Leistung von 2 kWp sowie einer maximalen AC-Leistung von 800 VA pro Zählpunkt erlaubt [6]. Die Anlage ist binnen einem Monat nach Inbetriebnahme im Marktstammdatenregister zu registrieren [7]. Eine Anmeldung beim Netzbetreiber entfällt, wenn für die ins Netz eingespeiste Energie keine Einspeisevergütung gewünscht wird. Es sei darauf verwiesen, dass in diesem Kontext noch ein Widerspruch zwischen der gesetzlichen Regelung (Solarpaket I) und dem normativen Rahmen (VDE-AR-N 4105) besteht. Die aktuell gültige VDE-AR-N 4105 fordert eine Anmeldung beim Netzbetreiber, unabhängig vom Wunsch nach Einspeisevergütung. Dieser Widerspruch sollte mit der Überarbeitung der VDE-AR-N 4105 behoben werden.

Der Netzanschluss der Plug & Play PV-Anlagen ist nur mit einer speziellen Energiesteckvorrichtung unter Berücksichtigung der Anforderungen nach DIN VDE 0100-551 und DIN VDE V 0100-551-1 oder einem festen Anschluss zulässig [7]. Ein Anschluss an eine Schutzkontaktsteckdose mit einem handelsüblichen Schutzkontaktstecker ist, ohne zusätzlichen Adapter bzw. Vorrichtungen am Stecker⁶, entsprechend dem normativen Rahmen nicht zulässig.

Es befindet sich jedoch derzeit eine deutsche Produktnorm (DIN VDE V 0126-95 [8]) für Plug & Play PV-Anlagen in Ausarbeitung, in welcher Lösungen für die Nutzung an einer Schutzkontaktsteckdose mit einem Schutzkontaktstecker festgelegt werden sollen. Weiter gibt es von der deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS) einen Sicherheitsstandard, der den sicheren Betrieb von Plug & Play PV-Systemen in normalen Haushaltsstromkreisen zulässt [9].

Österreich

In Österreich sind Plug & Play PV-Anlagen (auch als Kleinstenergieanlagen und Balkonkraftwerk genannt) mit einer Engpassleistung (AC) von 800 W pro Zählpunkt erlaubt [10]. Gemäss den technischen organisatorischen Regeln für Stromerzeugungsanlagen des Typs A und von

⁶ Eine Elektrisierung durch Anlegen einer Spannung an den Pins des Schutzkontaktstecker nach dem Abstecken der Plug & Play-Anlage soll dadurch verhindert werden.



Kleinstzeugungsanlagen ist der Netzbetreiber zwei Wochen vor Inbetriebnahme der Anlage zu verständigen [11]. Weiter darf die korrekte Erfassung des Energiebezuges nicht beeinträchtigt werden, was einen Smart Meter oder Stromzähler mit einer Rücklaufsperrung bedingt. Es ist kein separater Einspeisepunkt gemäss §66a ElWOG 2010 [10] erforderlich.

In Bezug auf den Netzanschluss der Plug-and-Play PV-Anlagen kann dieser über eine fest installierte Schutzkontaktsteckdose erfolgen, wenn «der Hersteller und die „Inverkehrbringer“ über die Risikoanalyse und -bewertung die „Freigabe“ erteilen» [12]. Somit ist, wie in der Schweiz, keine dedizierte Energiesteckvorrichtung notwendig, jedoch sind im Vergleich zur Schweiz die normativen elektrotechnischen Rahmenbedingungen komplizierter. Der österreichische Verband für Elektrotechnik (OVE) weist darauf hin, dass es derzeit keine harmonisierte Produktnorm für Plug & Play PV-Anlagen gibt, auf welche zurückgegriffen werden könnte. Das Statement der technischen Komitees für elektrische Niederspannungsanlagen lautet (in einfachen Worten):

«Eine Mini-PV-Anlage ist wie andere elektrische Betriebsmittel zu behandeln. Der Hersteller muss sie nach den Produktnormen bauen und prüfen sowie eine Bedienungsanleitung mit Sicherheitsinformationen erstellen und beilegen (dazu gehören auch die technischen Unterlagen mit einer geeigneten Risikoanalyse und -bewertung). Nur wenn das sichergestellt ist, kann die Anlage „rechtmässig in Verkehr gebracht“ werden.» [12] (Anmerkung: Mini-PV-Anlage = Plug-and-Play PV-Anlage)

Der Verweis auf die Risikoanalyse und -bewertung seitens OVE beruht darauf, dass zwar in der österreichischen Elektrotechnikinstallationsnorm OVE E 8101 (nationale Umsetzung der HD 60364 Reihe) unter 551.7.2 ii) eine Stromerzeugungsanlage nicht mittels Stecker mit dem Endstromkreis verbunden werden darf. Jedoch ist die OVE E 8101 in der österreichischen Elektrotechnikverordnung (ETV) [13] im Anhang II unter den kundgemachten elektrotechnischen Normen gelistet und nicht im Anhang I als verbindliche rein österreichische elektrotechnische Norm. Dies bedeutet, dass die OVE E 8101 ist, nicht verbindlich bei der Installation von elektrotechnischen Anlagen anzuwenden. Wird sie jedoch angewendet, ist das Schutzziel des österreichischen Elektrotechnikgesetzes [14] gewährleistet. Werden kundgemachte Normen nicht oder nicht vollständig angewendet, ist durch eine Risikobeurteilung (umfasst eine Risikoanalyse und -bewertung) festzustellen, ob das Schutzziel des ETGs gewährleistet ist.

Schweden

In Schweden ist der Anschluss von Plug & Play PV-Systemen an einer Haushaltsteckdose nicht gestattet, da es Bedenken zur Überlastung von Leitungen und Steckdosen gibt und der Stecker des Plug & Play Systems nicht berührungssicher ist [15].

Polen

In Polen ist die Situation für PV-Kleinstanlagen unter 800 W noch nicht national geregelt [15]. Dies ist möglicherweise auf die, im Vergleich zu anderen EU-Ländern (beispielsweise Deutschland und Österreich), noch geringe Verbreitung von Plug & Play Anlagen zurückzuführen.

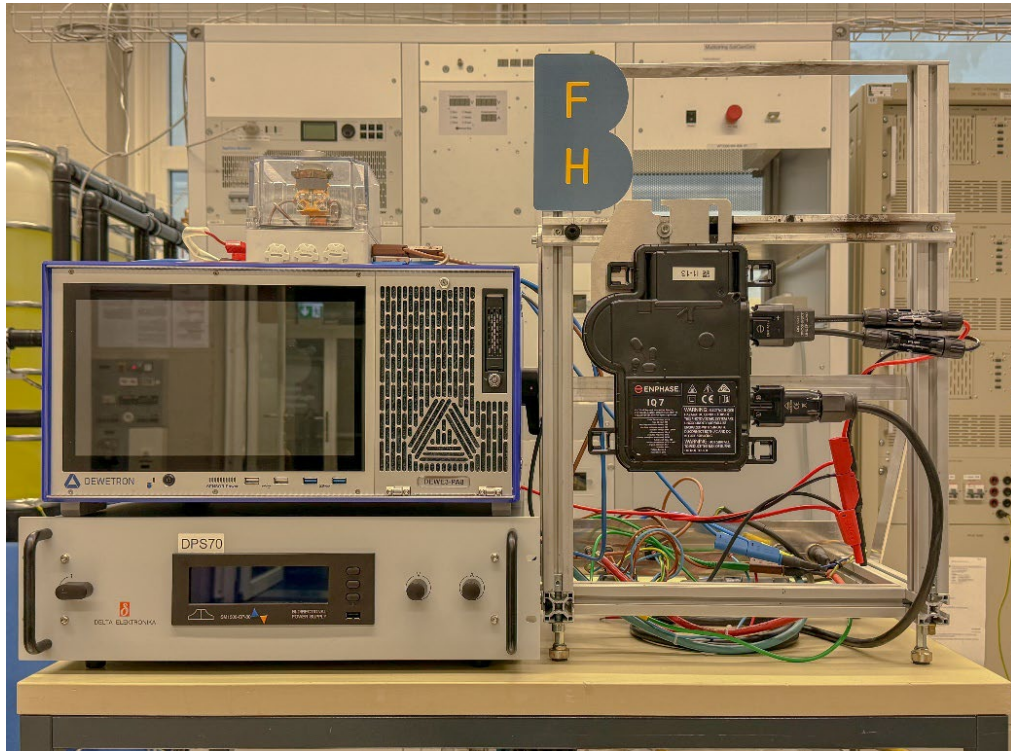


Abbildung 10 Testaufbau im Labor für Photovoltaiksysteme; Der Wechselrichter wird vom Netz getrennt und das Trennverhalten analysiert.

Sicherheitstests im Labor

Als Teil der ersten experimentellen, nicht systematischen Messungen an Modulwechselrichtern wurde das AC-seitige Verhalten der Geräte bei Steckertrennung genauer untersucht. Abbildung 10 zeigt den Testaufbau dieser Messung. Die erfasste Messgrösse ist die Restspannung zwischen Aussenleiter L und Neutraleiter N im belasteten und im unbelasteten Fall. Im belasteten Fall wird eine instantane Berührung (praktisch möglich, aber real sehr unwahrscheinlich) der Steckerkontakte mittels Zuschaltung eines Widerstandes ($1\text{ k}\Omega$) zwischen beiden Kontakten emuliert.

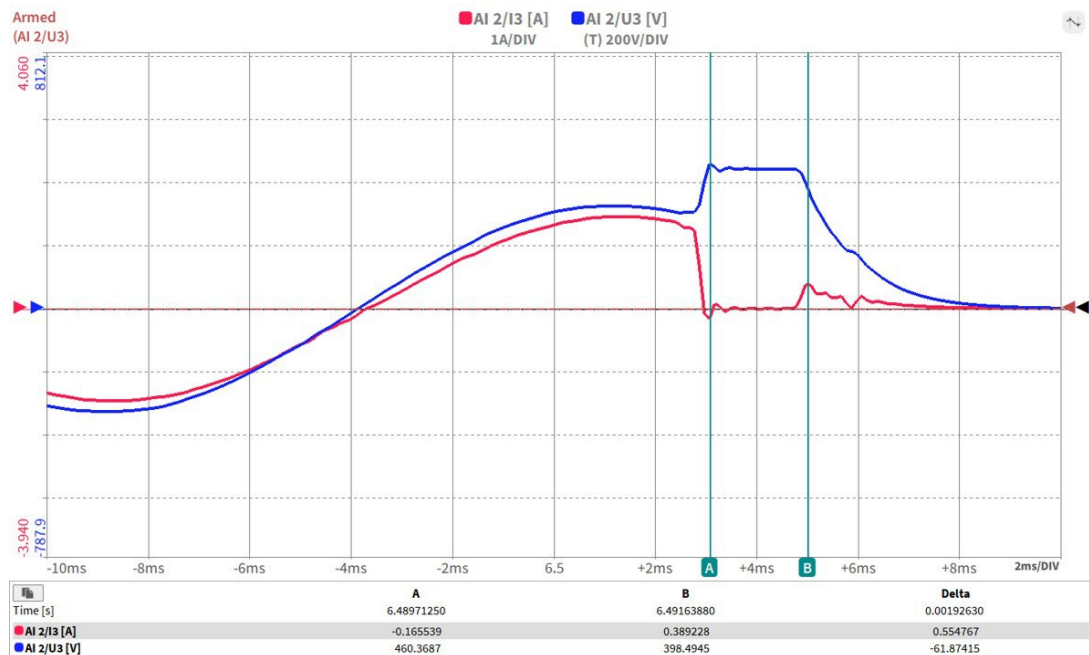


Abbildung 11 Spannungs- und Stromverlauf bei Emulation von Netztrennung des Modulwechselrichters mit instantaner Belastung von L und N mit einem Widerstand von 1 k Ω .

Die Messdatenkurve in Abbildung 11 zeigt, dass das Niveau der Spannung bereits innert 10 ms auf Null ist. Der Strom ist bereits viel früher auf das Null-Niveau gefallen, erhöht sich (< 0.5 ms) kurzzeitig in dieser Beispielmessung auf über 300 mA. Derartige Messungen werden im Rahmen der weiter fortgesetzten Sicherheitstests bei jedem Wechselrichter durchgeführt. Schliesslich wird bewertet, inwiefern die gemessenen Werte den geforderten Schutzmassnahmen gemäss NIN 2020 entsprechen.

Regelwerk und Anlagenkategorien

In der NIN 2025, welche aktuell von Electrosuisse eingeführt und per 2025 Gültigkeit erlangt, wird erstmals eine Aussage zu Plug & Play PV-Systemen gemacht. Der Wortlaut, wie er unter besondere Anlagen im Kapitel 7.12 steht, ist wie folgt:

«Steckbare PV-Anlagen, zum Beispiel Balkonkraftwerke, sind grundsätzlich als Erzeugnisse zu sehen und fallen damit nicht in den Zuständigkeitsbereich der NIN. Für diese Anlagen wird in den nächsten Jahren eine SNG publiziert. »

Es wird klar definiert, dass steckbare PV-Anlagen als Gesamtsystem als elektrische Erzeugnisse gelten und damit der NEV unterliegen. Die SNG soll dereinst als Regel der Technik in die Gesetzeslandschaft der Schweiz integriert werden (vgl. Abbildung 12).

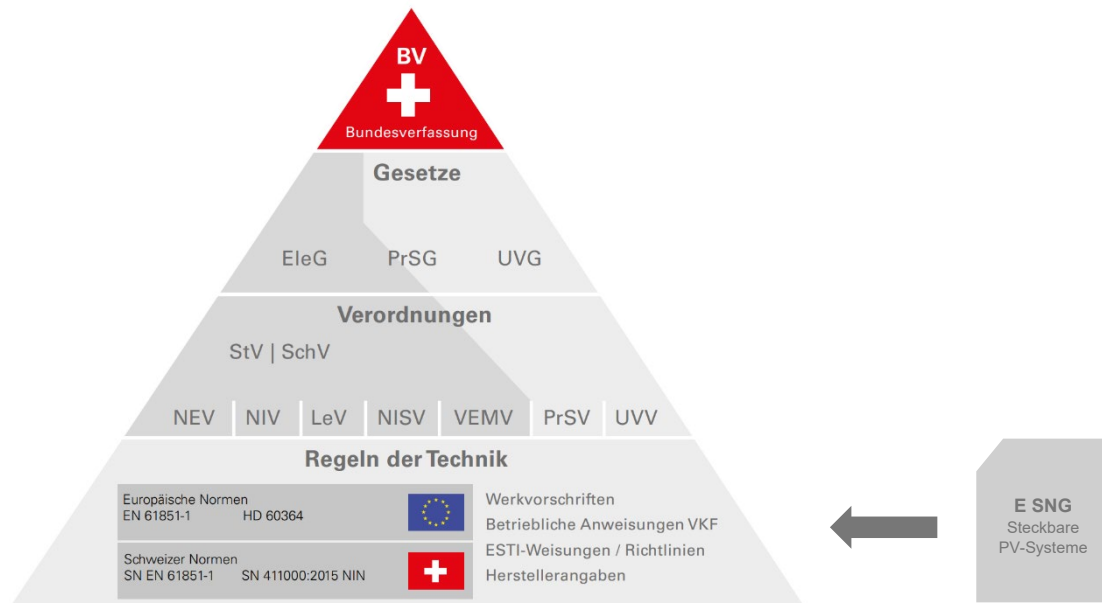


Abbildung 12 Gesetzespyramide mit Visualisierung der Eingliederung der SNG für Steckbare PV-Systeme
(Quelle Ausgangsgraphik: https://www.electrosuisse.ch/wp-content/uploads/2019/01/Electrosuisse_Mit_Normen_Zum_Erfolg_Broschuere.pdf)

Voraussichtlich wird die SNG Aussagen zum Anwendungsbereich, den Voraussetzungen für die Inverkehrbringung, den Sicherheitsanforderungen, zur Prüfung und zu den zugelassenen Anlagenkategorien machen. Aufgrund der laufenden Entwicklung, Diskussion und Wandlung der Inhalte für die SNG wird in diesem Bericht aktuell darauf verzichtet, weitere inhaltliche Details zu nennen.

Folgende Informationen sollen hier dennoch geteilt werden⁷:

- Indikativ deuten die bisherigen, noch nicht veröffentlichten Erkenntnisse im Projekt darauf hin, dass die Leistungsgrenze für die einphasige AC-seitige Rückspeisung auf 800 W_{AC} angehoben werden kann (Abbildung 13).
- Der Frage entsprechend, ob andere Anlagenkonfigurationen als die einphasige einföhrbar wären, begegnet das Konsortium mit der Auseinandersetzung über ein dreiphasiges steckbares PV-System. Dieses dürfte z.B. bis zu 2400 W_{AC} in geeignete Steckdosen einspeisen. Die Diskussionen über die Eignung eines solchen Konstrukts finden aktuell im Konsortium und der Advisory Group statt. (Abbildung 14).

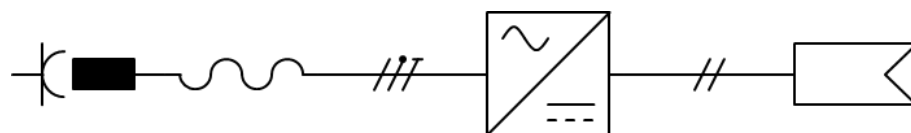


Abbildung 13 Prinzipstromlaufplan eines einphasigen Plug & Play PV-Systems mit bis zu 800 W_{AC} Einspeisung je Zählerstromkreis

⁷ Die Informationen bilden den aktuellen Stand der Arbeiten im Projekt «Plug & Play PV-Systems» sowie dessen Konsortium ab. Änderungen bleiben vorbehalten.

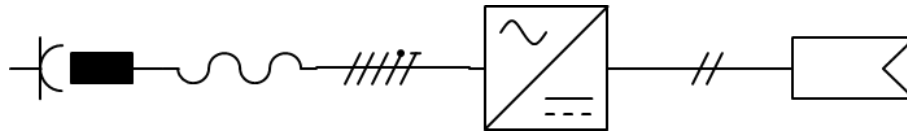


Abbildung 14 Prinzipstromlaufplan eines symmetrischen dreiphasigen Plug & Play PV-Systems mit bis zu 2400 W_{AC} Einspeisung je Zählerstromkreis

Die SNG wird in einem ordentlichen Verfahren für Normendokumente im TK 82 entworfen, vernehmlicht und publiziert werden.

Mit aktuellem Stand machen weder dieses Projekt noch die sich im Entwurf befindliche SNG eine Aussage zu raumplanerischen und baurechtlichen Aspekten von Plug & Play PV-Systemen.

3 Schlussfolgerungen und Ausblick

Erweiterte Potenzialstudie

Das Potenzial von Plug & Play PV-Anlagen in der Schweiz wurde in den 3 betrachteten Optionen auf 900-1000 GWh berechnet. Im Vergleich zum gesamten Dachpotenzial von 50 TWh [16] auf Dächern bzw. 17 TWh auf Fassaden ist diese Zahl zwar eher klein, aber immer noch bedeutend. Die Ergänzung von gut verteilten 1 TWh wäre sinnvoll, insbesondere die Erzeugung von etwa 0,37 TWh Strom im Winterhalbjahr. Der Vorteil des Potenzials von Plug & Play Anlagen ist ausserdem, dass diese Systeme von jedermann gebaut werden können und deren Einfachheit damit erfahren werden kann. Es sind keine ausgebildeten Fachleute erforderlich. Sie tragen daher zu einer breiteren und niederschwelligeren Unterstützung der Energiewende bei. Darüber hinaus stehen sie nicht in direkter Konkurrenz zu Dach- und Fassadensystemen, da sie deren Potenzial nicht mindern, sondern ergänzen.

Die Unsicherheit unseres Ansatzes für die Schätzung des Energiepotenzials von Plug & Play Systemen ist recht hoch, selbst wenn man bedenkt, dass die Grundlage - das Solarkataster der Schweiz - hinsichtlich Genauigkeit und Details einzigartig ist⁸. Die Sicht auf viele Fassaden ist eingeschränkt. Die benötigten Balkonabmessungen konnten nur teilweise gemessen werden. Die Fassaden sind meist nur von der strassenzugewandten Seite sichtbar. Dies kann zu Verzerrungen bei der Extrapolation führen.

Der Schwerpunkt dieser Analyse liegt auf der Anwendung von Plug & Play PV-Systemen speziell auf Balkonen. Die Einsatzmöglichkeiten solcher Systeme gehen jedoch über die Grenzen von Balkonanlagen hinaus (vgl. Abbildung 15). In der bebauten Umwelt gibt es zahlreiche Flächen, die dem Sonnenlicht ausgesetzt sind und Möglichkeiten für den Einsatz von PV-Systemen bieten. Die hohen Kosten, die mit konventionellen Elektroinstallationen verbunden sind, einschliesslich der Sicherheitszertifizierungen, machen PV-Anlagen auf diesen Flächen jedoch oft unrentabel. Die Einführung von Plug & Play-PV-Systemen für eine niedrighschwellige Einspeisung, die umfangreiche Elektroarbeiten überflüssig macht, verspricht jedoch erhebliche Kostensenkungen auf der Ebene der Endkunden.

⁸ Die Unsicherheit der Ergebnisse ist ohne grossen Aufwand nur indirekt herleitbar. Die Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers (RMSE) der Einstrahlungswerte dürfte im Bereich von 2-3 % liegen (für das schweizweite Potenzial). Als Wert für die Unsicherheit der Skalierungsmethode von der Stichprobe (750 Fassaden) zum Potenzial der ganzen Schweiz kann die Standardabweichung der fünf testeshalber angewendeten Methoden verwendet werden. Die Standardabweichung liegt im Bereich von fünf Prozent.



Abbildung 15 Beispiele für Nicht-Balkon-Plug & Play-PV-Systeme, deren Potenzial in der vorliegenden Potenzialstudie nicht berücksichtigt ist. Quelle: Solarblitz.ch

Potenzielle zusätzliche Flächen für Plug & Play PV-Systeme sind Fahrradunterstände, Carports, Zäune, Spielplatzunterstände, Sonnenschirme und Wetterschutz. Bei Anwendung einer einfachen Skalenanalyse für solche Systeme mit 0,5 - 1 kW P_{DC_STC} je System, hochskaliert auf 2 Millionen Gebäude, könnte eine gesamte installierte Gleichstromleistung P_{DC_STC} von 1-2 GW hinzugefügt werden. Das Energiepotenzial solcher nicht-balkonbasierter Plug & Play PV-Systeme wurde jedoch nicht im Detail analysiert, sondern wird grob auf zusätzliche 0,7-1,5 TWh pro Jahr geschätzt, basierend auf dem durchschnittlichen spezifischen Ertrag von 725 GWh/MW/a, der aus den Statistiken für das Jahr 2023 berechnet wurde (E2023, PV_{tot} : 4624 GWh, P_{DC_STC} tot: 6375 MW) [17].

Eine detailliertere Bestimmung des Energiepotenzials von Plug & Play PV-Systemen auf zusätzlichen Flächen im Zuge dieses Projektes wird aktuell zwischen dem BFE und dem Konsortium als weiteres Ergebnis dieses Projekts diskutiert.



Risikobeurteilungen, Sicherheitsmechanismen und Sicherheitstests im Labor

Aufgrund der Auswertung und Sammlung von Normen und möglichen Fehlerszenarien kommt das Konsortium zum Schluss, dass es in der überwiegenden Anzahl von bestehenden Installationen und bei Neuinstallationen zu keinem übermässigen Gefahrenpotenzial kommt, wenn die aktuell gültige Limite von $600 W_{AC}$ je Zählerstromkreis auf $800 W_{AC}$ angehoben wird. Anhand der Risikomatrix konnten relevante Fehlerszenarien erkannt und kategorisiert werden. Diese Kategorisierung dient für die anstehenden Labortests. Ebenso stellt sie die Basis für die Sicherheitsfunktionen und -mechanismen dar, welche in der künftigen SNG gefordert werden sollen. In einer kombinierten Analyse bestehend aus statistischer Auswertung der WR-Datenbank und Kontrollmessungen am Labor für Photovoltaiksysteme soll Klarheit geschaffen werden, ob der RCD Typ B nach wie vor gefordert werden muss oder ob von dieser Forderung abgesehen werden kann.

Schlussfolgerungen des internationalen regulatorischen Umfeldes

In den recherchierten internationalen Regularien, mit den derzeitigen Fokus auf Europa, zeigt sich, dass die nationalen Regularien zu Plug & Play Systemen mehr spezifiziert werden, je höher die installierte Gesamtleistung der Plug & Play Systeme ist. Hier sei erwähnt, dass Informationen zu den nationalen Plug & Play Installationszahlen gering sind, da in den Markterhebungen diese Systeme noch nicht bzw. nicht vollständig erfasst werden bzw. die Endkunden diese Anlagen den Netzbetreiber nicht melden oder in nationale Datenbanken (beispielsweise Stammdatenregister in Deutschland) nicht eintragen. Laut dem Stammdatenregister von Deutschland sind mit Stand 30.10.2024 Plug & Play PV Anlagen mit einer DC-Leistung von 303 MWp und einer AC-Leistung von 273 MW installiert. Ob diese Zahlen für Deutschland den vollständigen Markt repräsentieren, ist aufgrund der zuvor genannten Argumente zu hinterfragen.

Die recherchierten Regularien veranschaulichen, dass es in Europa unterschiedliche Grenzwerte für Plug & Play Systeme gibt. In der Schweiz und Österreich beziehen sich die Grenzwerte ausschliesslich auf die AC Engpassleistung, wohingegen in Deutschland auch Grenzwerte für die installierte Modulleistung bestehen.

In Bezug auf den Netzanschluss am Endstromkreis gibt es weitere nationale Unterschiede. In Deutschland ist derzeit eine eigene Energiesteckvorrichtung notwendig, jedoch gibt es Bestrebungen von normativer Seite den Anschluss über den Schutzkontaktstecker mit und ohne zusätzlicher Massnahmen zuzulassen. Der Anschluss an eine Steckdose im Endstromkreis ist in der Schweiz erlaubt, wohingegen für den Anschluss in Österreich an einer Schutzkontaktsteckdose (Schuko, CEE Typ F), welche Standard in Innenräumen ist, auf die Freigabe durch den Hersteller bzw. Inverkehrbringer verwiesen wird.

Im Kontext der nationalen Gerätezulassung wird ebenfalls eine differenzierte Herangehensweise gefordert. In Belgien und Österreich ist eine Prüfung/Zertifizierung durch den nationalen Verband der Energiewirtschaft/Netzbetreiber bzw. von diesem beauftragte Institutionen erforderlich. Geräte mit positiver Prüfung/Zertifizierung sind auf den nationalen Whitelists (Österreich [18], Belgien [19]) ersichtlich. Prüfungen zu den Sicherheitstechnischen Aspekten von Plug & Play Anlagen werden in der Zertifizierung, auf Basis der den Autoren vorliegenden Informationen, nicht durchgeführt. Deutschland und Schweiz sind im Vergleich dazu Beispiele, wo es keine Whitelists gibt, jedoch normative Rahmenbedingungen angedacht werden, um die offenen Fragen zu adressieren.

Künftiges Regulatorium inkl. Anlagenkategorien

Im Zuge der anderen Aktivitäten konnte bereits früh im Projekt mit dem Rohentwurf einer SNG innerhalb des Konsortiums begonnen werden. Dieser Rohentwurf soll nach fundierter Diskussion innerhalb des Projekts und mit einem soliden Stand dem TK 82 zur Weiterbearbeitung übergeben werden.

Die oben aufgeführten Punkte rund um die Erhöhung der Einspeiselimite auf $800 W_{AC}$ und der Erweiterung der Anlagenkategorien auf symmetrische dreiphasige Einspeisung werden sicherlich innerhalb des weiteren Entstehungsprozesses für viel Gesprächsstoff sorgen. Hinzu kommt das Thema der kompatiblen Speicher für Plug & Play PV-Systeme, welchem sich das Konsortium nicht verschliessen will. Denn dieses Thema wird unweigerlich ebenfalls bald behandelt werden müssen, weshalb es sinnvollerweise bereits in die jetzigen Überlegungen und idealerweise in die Entwicklung einer belastbaren SNG einfließt.



4 Nationale und internationale Zusammenarbeit

Nationale Aktivitäten

Die nationale Zusammenarbeit im Projekt beschränkt sich vorwiegend auf die Kollaboration innerhalb des Konsortiums und der Advisory Group. Bewusst wurden alle relevanten Anspruchsgruppen zur aktiven Mitarbeit im Projekt involviert, um eine breit abgestützte Lösung anstreben zu können.

Das Konsortium steht im aktiven Austausch mit folgenden nationalen Organisationen:

- BFE (Bundesamt für Energie)
- ESTI (Eidgenössisches Starkstrominspektorat)
- Swissolar (Schweizerischer Fachverband für Sonnenenergie)
- TK 82 (Technische Kommission 82, Photovoltaik der Schweiz)
- VSE (Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen)

Folgende Verteilnetzbetreiber wurden zu Ihren aktuellen Prozessen und Optimierungsvorschlägen im Zusammenhang mit Plug & Play Systemen befragt:

- BKW (BKW Energie AG)
- AEW (AEW Energie AG)
- AIL (Aziende Industriali di Lugano)
- CKW (Centralschweizerische Kraftwerke AG)
- EKZ (Elektrizitätswerke des Kantons Zürich)
- ESB (Elektrizitätswerk des Kantons Schaffhausen)
- Ewz (Elektrizitätswerk der Stadt Zürich)
- Groupe e (Groupe e SA)
- IWB (Industrielle Werke Basel)
- OIKEN (Walliser Stromanbieter)
- Primeo Energie (Energieversorger in der Nordwestschweiz)
- Repower (Bündner Energieunternehmen)
- Romande Energie (Energiedienstleister in der Westschweiz)
- SAK (St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke)
- SIG (Services Industriels de Genève)
- SES (Société Electrique des Forces de l'Aubonne)

Internationale Aktivitäten

Die internationalen Kontakte dienen dem Konsortium zur Sicherung von Wissen, der Plausibilisierung von Methoden und der Antizipierung von Trends im Umfeld von Plug & Play PV-Systemen.

Das Konsortium steht im aktiven Austausch mit folgenden internationalen Organisationen:

- IEC (International Electrotechnical Commission)



- VDE (Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik), DKE (Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik)

Das Konsortium steht im sporadischen Austausch mit folgenden internationalen Organisationen:

- AIT (Austrian Institute of Technology)
- BG-ETEM (Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse, Deutschland)
- TU Graz (Technische Universität Graz)
- ZEBAU (Zentrum für Energie, Bauen, Architektur und Umwelt, Deutschland)

5 Publikationen und andere Kommunikation

Publikationen:

- EUPVSEC 2024: The Potential of Balcony Plug & Play PV Systems in Switzerland; 4BV.4.30 (Proceeding publication expected Mid November 2024)
- (geplant, Abstract eingereicht) 40. PV-Symposium Bad Staffelstein, «Plug & Play PV: Wie gross ist das Energiepotential bei 800 W ?»

Webseite:

- Projektwebseite BFH «Plug & Play PV Anlagen»

Übrige Kommunikationskanäle:

- LinkedIn:
BFH Zentrum für Energiespeicherung, div. Posts

6 Literaturverzeichnis

- [1] J. Remund, S. Albrecht, und D. Stickelberger, «Das Schweizer PV-Potenzial basierend auf jedem Gebäude», gehalten auf der PV-Symposium Bad Staffelstein 2019, Staffelstein, Deutschland, März 2019.
- [2] Swiss Federal Office of Energy, Media communication, «Schweizer Hausdächer und -fassaden könnten jährlich 67 TWh Solarstrom produzieren». Zugriffen: 29. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/medienmitteilungen/mm-test.msg-id-74641.html#:~:text=Auf%20Basis%20dieser%20Daten%20sch%C3%A4tzt,Terawattstunden%20\(TWh\)%20pro%20Jahr](https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/medienmitteilungen/mm-test.msg-id-74641.html#:~:text=Auf%20Basis%20dieser%20Daten%20sch%C3%A4tzt,Terawattstunden%20(TWh)%20pro%20Jahr).
- [3] Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen, VSE, «Plug&Play-Photovoltaikanlagen / Pauschale Vergütung bei fehlendem Smart Meter». 2024. Zugriffen: 20. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.strom.ch/de/media/14619/download>
- [4] Eidgenössisches Starkstrominspektorat ESTI, «Plug-&-Play-Photovoltaikanlagen», [Online]. Verfügbar unter: https://www.esti.admin.ch/inhalte/pdf/MUB/Deutsch/Mitteilungen/2014_2013/2014-07_plug-play_d.pdf
- [5] Synergrid, «'Plug & play' devices soon to be allowed on the Belgian electricity distribution grids». 6. September 2024. Zugriffen: 29. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.synergrid.be/images/downloads/Synergrid_Communicu%C3%A9_Plug_Play_EN_20240909.pdf



- [6] Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz): EEG 2023. 2014. [Online]. Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/BJNR106610014.html
- [7] VDE, «Steckerfertige PV-Anlagen (Steckersolargeräte)». [Online]. Verfügbar unter: <https://www.vde.com/de/fnn/themen/tar/tar-niederspannung/erzeugungsanlagen-steckdose>
- [8] VDE, «Produktnorm für Balkonkraftwerke: VDE veröffentlicht zweiten Entwurf». [Online]. Verfügbar unter: <https://www.vde.com/de/presse/pressemitteilungen/2024-05-07-balkonkraftwerke-produktnorm-konsens-anschlussregeln>
- [9] DGS, «DGS-Sicherheitsstandard – DGS Infoportal zu steckbaren Solar-Geräten». [Online]. Verfügbar unter: <https://www.pvplug.de/standard/>
- [10] Bundesgesetz, mit dem die Organisation auf dem Gebiet der Elektrizitätswirtschaft neu geregelt wird (Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz 2010), BGBl. I Nr. 110/2010 idF BGBl. I Nr. 145/2023. 2010. [Online]. Verfügbar unter: <https://ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20007045>
- [11] E-Control, Technische und organisatorische Regeln für Betreiber und Benutzer von Netzen: TOR Stromerzeugungsanlagen: Anschluss und Parallelbetrieb von Stromerzeugungsanlagen des Typs A und von Kleinsterzeugungsanlagen. 2024.
- [12] Bernhard Spalt, «Normen und Richtlinien für Photovoltaik-Anlagen». [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ove.at/ove-news/details/normen-und-richtlinien-fuer-photovoltaik-anlagen/>
- [13] ETV 2020, Verordnung der Bundesministerin für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort über Sicherheit, Normalisierung und Typisierung elektrischer Betriebsmittel und elektrischer Anlagen (Elektrotechnikverordnung 2020 – ETV 2020), BGBl. II Nr. 308/2020 idF BGBl. II Nr. 329/2024. Zugriffen: 20. Januar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20011222>
- [14] ETG 1992, Bundesgesetz über Sicherheitsmaßnahmen, Normalisierung und Typisierung auf dem Gebiete der Elektrotechnik (Elektrotechnikgesetz 1992 – ETG 1992) BGBl. Nr. 106/1993 idF BGBl. I Nr. 204/2022. Zugriffen: 20. Januar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10012241>
- [15] PV4All, «Atlas on options for small-scale photovoltaics», Bd. 30. März 2023, Jan. 2023, [Online]. Verfügbar unter: https://interreg-baltic.eu/wp-content/uploads/2023/04/IBSR_Atlas_PV4All_Template_final.pdf
- [16] M. Portmann, D. Galvagno-Erny, P. Lorenz, D. Schacher, und Rolf Heinrich, «Sonnendach.ch und Sonnenfassade.ch: Berechnung von Potenzialen in Gemeinden», Bern, März 2019. Zugriffen: 29. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.e4plus.ch/fileadmin/files/documents/Bericht_Sonnendachch_Sonnenfassadech_Berechnung_von_Potenzialen_in_Gemeinden.pdf
- [17] Swissolar, «Statistik Sonnenenergie 2023: Nochmals über 50 Prozent Marktwachstum». Zugriffen: 29. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.swissolar.ch/de/news/detail/statistik-sonnenenergie-2023-nochmals-ueber-50-prozent-marktwachstum-60956>
- [18] Österreichs Energie, «Wechselrichter für PV-Erzeugungsanlagen in Österreich». Zugriffen: 30. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://oesterreichsenergie.at/publikationen/ueberblick/detailseite/wechselrichterliste-tor-erzeuger-typ-a>
- [19] Synergrid, «Homologation dezentraler Produktionseinheiten». Zugriffen: 30. Oktober 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.synergrid.be/nl/homologatie/elektriciteit/decentrale-productie-eenheden>

