

IEA Photovoltaik (PVPS) Task 14: Hohe Durchdringung von Photo- voltaik in elektrischen Netzen

Arbeitsperiode 2018 -2024

R. Bründlinger, T. Strasser,
H. Brunner

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

12/2025

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Leiter: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Autorinnen und Autoren:

DI Roland Bründlinger, Priv. Doz. DI Dr. Thomas Strasser, DI Helfried Brunner, MSC
AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Wien, 2024

IEA Photovoltaik (PVPS) Task 14:

Hohe Durchdringung von Photovoltaik in elektrischen Netzen

Arbeitsperiode 2018 - 2024

DI Roland Bründlinger, Priv. Doz. DI Dr. Thomas Strasser, DI Helfried Brunner, MSC
AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Wien, August 2024

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) initiiert, um österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchttechnologien und fossile Energieträger. Für die österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA-Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM
Leiter der Abt. Energie und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Inhalt

1 Kurzfassung	9
2 Abstract	11
3 Ausgangslage.....	13
3.1 Motivation und Hintergrund des Projekts	13
3.2 Netzintegration als zentrale Herausforderung	15
3.3 Stand der Technik.....	16
4 Projektinhalt	18
4.1 Das IEA Photovoltaic Power Systems Programme IEA-PVPS TCP	18
4.2 IEA-PVPS Task 14 – Photovoltaik im 100% Erneuerbaren Stromversorgungssystem.....	19
4.3 Arbeitsprogramm und Methoden.....	21
4.4 Partnernetzwerke und Zielgruppen	24
5 Ergebnisse	26
5.1 Übersicht und Darstellung der Ergebnisse.....	26
5.2 Leitung der internationalen Arbeitsgruppe im Rahmen der Rolle Österreichs als Task Manager 26	
5.3 Ergebnisse der Forschungsaktivitäten im Rahmen des IEA-PVPS Task 14.....	29
5.3.1 Datenmodelle und Datenerfassung für die Registrierung und den Netzanschluss von Photovoltaik [4]	30
5.3.2 Kommunikation und Steuerung für die Integration von Photovoltaik in einer Smart Grid- Umgebung [1]	32
5.3.3 Leistungsmanagement von Photovoltaikanlagen – Aktueller Stand der Technik und technische Lösungen [7]	34
5.3.4 Photovoltaik als Anbieter von Netzdienstleistungen [3].....	35
5.3.5 Blindleistungsmanagement in Verbindung mit dezentralen Stromerzeugungsanlagen und Photovoltaik [5]	37
5.3.6 Frequenzbezogene Netzdienstleistungen durch PV-Systeme [6]	39
5.4 Übersicht der Publikationen	41
5.4.1 Task Berichte	41
5.4.2 Wissenschaftliche Publikationen und Vorträge (Auswahl)	45
6 Vernetzung und Ergebnistransfer	46
7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen.....	49
7.1 Schlussfolgerungen aus dem Projekt	49
Trend 1: Übergang zu einem von erneuerbaren, dargebotsabhängigen Energieerzeugung dominiertem Stromversorgungssystem	49
Trend 2: Sicherung der Systemstabilität in umrichterdominierten Stromnetzen.....	50
Trend 3: Wachsende Bedeutung intelligenter Netze (Smart Grid)	51
Trend 4: Integrierte Betrachtung des Übertragungs- und Verteilsystems.....	52
7.2 Ausblick und Empfehlungen.....	52
Tabellenverzeichnis	54

Abbildungsverzeichnis	55
Literaturverzeichnis	56
Websites	56
Task 14 Berichte im Projektzeitraum (Arbeitsperiode 2018 bis 2024).....	56
Abkürzungen.....	58

1 Kurzfassung

Motivation und Forschungsfrage

Mit dem stetig wachsenden Anteil von Photovoltaik in den Stromnetzen wird das Verständnis für die wesentlichen technischen Herausforderungen von immer größerer Bedeutung für den reibungslosen Ausbau der Photovoltaik und damit nicht zuletzt der Erreichung der politisch festgelegten Ziele im Rahmen der Dekarbonisierung. Photovoltaiksysteme haben als dezentrale Energieerzeugungsanlagen besondere Merkmale, welche beim Anschluss an und beim Betrieb im elektrischen Netz berücksichtigt werden müssen und grundlegende Herausforderungen beim Übergang hin zu einer auf 100% Erneuerbaren basierenden Stromversorgung darstellen.

Ausgangssituation/Status Quo

Um diese Kernfragen auf internationaler Ebene zu diskutieren, Erfahrungen und Erkenntnisse auszutauschen und dieses Wissen zu transferieren, wurde 2010 im Rahmen des IEA-PVPS Programms unter Federführung der österreichischen VertreterInnen im IEA-PVPS ein Projekt initiiert, das speziell der Integration von Photovoltaik auf einem hohen Niveau Rechnung tragen sollte. Der von Österreich von Beginn an geleitete IEA PVPS Task 14 analysierte unter dem Titel „Hohe Dichte von Photovoltaik (PV) in elektrischen Netzen“ (High Penetration PV in Electricity Grids), verschiedene Aspekte der Photovoltaik in den elektrischen Netzen und erarbeitete Szenarien, Anforderungen und technische Rahmenbedingungen zur optimalen Netzintegration. Ziel war es, die Verwendung von netzgekoppelter Photovoltaik zu fördern.

Während der ersten beiden Arbeitsperioden (2010 – 2018) hat sich der Task 14 unter österreichischer Leitung nicht nur zu einer der zentralen Forschungsaktivitäten im Rahmen des IEA-PVPS Programms entwickelt, sondern konnte sich auch als anerkannte globale Plattform für die Zusammenarbeit von Expert:innen im Themenbereich Netzintegration von Photovoltaik etablieren. Inhaltlich standen in dieser Zeit vor allem der Erfahrungsaustausch rund um grundlegende Fragestellungen der Integration von hohen Dichten an Photovoltaik in die Stromnetze im Mittelpunkt.

Projekt-Inhalte und Zielsetzungen

Mit der Arbeitsperiode III wurde im Rahmen des vorliegenden Projekts der Fokus erweitert, wobei integrale Ansätze für den Betrieb und die Planung von Stromversorgungssystemen, die zu 100% auf photovoltaischer Solarenergie und anderen Erneuerbaren basieren, den Hintergrund für die Zusammenarbeit darstellen. Neben diesen, auf die Planung und den Betrieb von zukünftigen Stromversorgungsnetzen mit 100% Erneuerbaren Energien, bezogenen Aspekten bildete die Integration von photovoltaischer Solarenergie in zukünftige intelligente Netze (Smart Grid) den zweiten Schwerpunkt der Forschungs Kooperation auf internationaler Ebene. Im Detail haben sich die Expert:innen dabei zum Ziel gesetzt, insbesondere Barrieren und technische Hemmnisse abzubauen, die den weiteren Ausbau der Photovoltaik verzögern können.

Methodische Vorgehensweise

Die Rolle Österreichs als Task Manager umfasste neben der organisatorischen Verantwortung sowie der Repräsentation der internationalen Arbeitsgruppe gegenüber dem IEA-PVPS Exekutivkomitee auch die Koordination des Arbeitsplans sowie der Aktivitäten zur Verbreitung von Informationen und der Vernetzung. Dabei bildete vor allem die Erstellung und Publikation von Task-Berichten zu spezifischen Themen und technischen Aspekten der Integration von Photovoltaik in eine zukünftige, auf 100% Erneuerbaren Energien basierende Stromversorgung den Schwerpunkt der Arbeiten. Neben diesen inhaltlichen Tätigkeiten bildete die Organisation und Durchführung von Workshops und Konferenzsessions, einen zentralen Teil der Vernetzungsaktivitäten im Task 14.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

In der Phase III bzw. im Projektzeitraum wurde der IEA-PVPS Task 14 als zentrale Forschungsaktivität im IEA-PVPS Programms erfolgreich weiterentwickelt und als wichtiges Netzwerk zum Informationsaustausch rund um die Integration von Photovoltaik in das Stromversorgungssystem ausgebaut. Als Indikator für die erfolgreiche Koordination kann dabei die Umsetzung des Arbeitsprogramms sowie das nachhaltige Engagement des internationalen Teams von Expert:innen angesehen werden. Mit 18 veröffentlichten IEA-PVPS Reports (davon 7 im Projektzeitraum) und einer Vielzahl gemeinsamer Publikationen zählt der Task 14 im PVPS Programm zu den umfangreichsten und produktivsten Aktivitäten.

In Bezug auf die internationale Sichtbarkeit zeigt sich der Erfolg in den vom Task Management in Zusammenarbeit mit lokalen Expert:innen und Stakeholdern organisierten „Task 14 Grid Integration Workshops“ und Konferenzsessions. Diese von Task 14 initiierte Serie, die bereits 2010 gestartet wurde, brachte bis Ende 2023 in 24 Veranstaltungen (davon 8 im Projektzeitraum) in 18 Ländern weltweit über 1000 Teilnehmer:innen zusammen und ermöglichte den direkten Austausch von Erfahrungen und aktuellen Erkenntnissen.

Dank der Beteiligung an der Forschungskooperation konnte die Vernetzung der österreichischen Forschung auf internationaler Ebene weiter ausgebaut werden und darüber hinaus der Zugang zu einem weltweiten Netzwerk geschaffen werden. Der Erfahrungsaustausch im Rahmen des IEA-PVPS Programms bildete dabei eine einzigartige Möglichkeit, von internationalen Erfahrungen zu profitieren und gleichzeitig Österreich und speziell AIT als führenden Kompetenzträger im Bereich Netzintegration von Photovoltaik zu positionieren.

Ausblick

Der globale Wandel der Stromversorgungssysteme hin zu Erneuerbaren Energien stellt auch weiterhin eine große Herausforderung dar. Photovoltaik ist dabei unbestritten ein zentraler Player, dessen erfolgreiche Integration entscheidend für die Erreichung der nationalen Ziele sein wird. Auch nach dem Abschluss des IEA-PVPS Task 14 2024 hat Österreich, mit der Teilnahme am zukünftigen IEA-PVPS Task 19 die Chance auch weiterhin von den Erkenntnissen aus der internationalen Forschungskooperation zu profitieren und somit Forschung, Entwicklung und Implementierung von Photovoltaik Technologien effizienter umzusetzen.

2 Abstract

Motivation and research question

With the steadily growing share of photovoltaics in the electricity grids, understanding the key technical challenges is becoming increasingly important for the smooth expansion of photovoltaics and st for achieving the politically defined decarbonisation targets. As decentralised energy generation systems, photovoltaic systems have special characteristics that must be taken into account when connecting to and operating in the electrical grid and represent fundamental challenges in the transition to a power supply based on 100% renewables.

Initial situation/status quo

In order to discuss these key issues at an international level, exchange experiences and findings and transfer this knowledge, a project was initiated in 2010 as part of the IEA PVPS programme under the leadership of the Austrian representatives in the IEA PVPS, which was specifically intended to take into account the integration of photovoltaics at a high level. IEA PVPS Task 14, which was led by Austria from the start, analysed various aspects of photovoltaics in electricity grids under the title 'High Penetration PV in Electricity Grids' and developed scenarios, requirements, and technical framework conditions for optimal grid integration. The aim was to promote the use of grid-connected photovoltaics as a main source in the future electricity system.

During the first two working periods (2010 - 2018), Task 14 under Austrian leadership not only developed into one of the central research activities within the IEA PVPS programme, but also established itself as a recognised global platform for cooperation between experts in the field of grid integration of photovoltaics. In terms of content, the main focus during this time was on the exchange of experience on fundamental issues relating to the integration of high densities of photovoltaics into electricity grids.

Project content and objectives

Within the working period III 2018 to 2024, the focus of the Task was expanded, with integral approaches for the operation and planning of power supply systems based on 100% photovoltaic solar energy and other renewables forming the background for the collaboration.

In addition to these aspects relating to the planning and operation of future electricity supply grids with 100% renewable energies, the integration of photovoltaic solar energy into future smart grids formed the second focus of the research co-operation at international level. In particular, the experts have set themselves the goal of removing barriers and technical obstacles that could delay the further expansion of photovoltaics.

Methodical procedure

In addition to organisational responsibility and representation of the international working group towards the IEA-PVPS Executive Committee, Austria's role as Task Manager also included coordination of the work plan and activities for disseminating information and networking. The main focus of the work was the preparation and publication of task reports on specific topics and technical aspects of the integration of photovoltaics into a future electricity supply based on 100% renewable energies. In addition to these content-related activities, the organisation and implementation of workshops and conference sessions formed a central part of the networking activities in Task 14.

Results and conclusions

In Phase III during the project period, IEA-PVPS Task 14 was successfully further developed as a central research activity in the IEA-PVPS programme and expanded as an important network for the exchange of information on the integration of photovoltaics into the power supply system. The implementation of the work programme and the sustained commitment of the international team of experts can be seen as an indicator of successful coordination. With 18 published IEA PVPS reports (7 of which were published during the project period) and a large number of joint publications, Task 14 is one of the most extensive and productive activities in the PVPS programme.

In terms of international visibility, the success is reflected in the series of 'Task 14 Grid Integration Workshops' and conference sessions organised by the Task Management in cooperation with local experts and stakeholders. This series, which was first initiated by Task 14 back in 2010, brought together over 1,000 participants in 24 events (8 of which took place during the project period) in 18 countries worldwide by the end of 2023 and enabled the direct exchange of experiences and current findings.

Thanks to the participation in the research cooperation, the networking of Austrian research at an international level was further expanded and access to a global network was also created. The exchange of experience within the framework of the IEA-PVPS programme provided a unique opportunity to benefit from international experience and at the same time to position Austria, and AIT in particular, as a leading centre of expertise in the field of grid integration of photovoltaics.

Outlook

The global shift in electricity supply systems towards renewable energies continues to pose a major challenge. Photovoltaics is undoubtedly a key player in this, and its successful integration will be crucial to achieving national targets.

Even after the conclusion of IEA-PVPS Task 14 2024, Austria will have the opportunity to continue to benefit from the findings of international research cooperation by participating in the future IEA-PVPS Task 19 and thus to implement research, development and implementation of photovoltaic technologies more efficiently.

3 Ausgangslage

3.1 Motivation und Hintergrund des Projekts

Auf europäischer wie auch globaler Ebene ist derzeit ein grundlegender Umbau des gesamten Energieversorgungssystems im Gang. Unter dem Schlagwort der Dekarbonisierung erfordert dies einerseits einen massiven Ausbau erneuerbarer Energien sowie andererseits auch den Wechsel von fossilen Energieträgern hin zur vermehrten Nutzung von elektrischer Energie als Energieträger. Diese „Elektrifizierung“ vieler Sektoren, beginnend von der Bereitstellung von Wärme, eine Vielzahl industrieller Prozesse, bis hin zur Mobilität erfordert einen massiven Ausbau des gesamten Stromversorgungssystems. Dieser Um- bzw. Ausbau umfasst dabei sämtliche Bereiche des Stromversorgungssystems, beginnend von der Erzeugung, der Übertragung und Verteilung über die Stromnetze bis hin zur Nutzung beim Endkonsumenten bzw. industriellen und kommerziellen Anwendungen.

Im Bereich der Stromerzeugung spielt Photovoltaik dabei eine zentrale Rolle: Einerseits ist die Photovoltaik eine der Technologien, die aufgrund drastisch gesunkener Gestehungskosten mittlerweile eine der günstigsten Technologien zur Erzeugung elektrischer Energie darstellt. Andererseits ermöglicht Photovoltaik aufgrund ihrer universellen Anwendbarkeit auch Endkunden, Konsumenten wie auch gewerblichen Nutzern, lokal elektrische Energie zu erzeugen und diese vor Ort zu nutzen. Die in den letzten Jahren deutlich gewachsene Unsicherheit am Energiemarkt führten nicht zuletzt zu einem massiv steigenden Bewusstsein der Bedeutung einer sicheren, zuverlässigen und nachhaltigen Energieversorgung.

Diese Faktoren führten im Zusammenspiel mit politischen Zielsetzungen und Rahmenbedingungen zu einem enormen Wachstum bzw. Ausbau der Photovoltaik sowohl in Europa wie auch in vielen weiteren Regionen weltweit: So wuchs die weltweit installierte Photovoltaikleistung von 1,2 TW im Jahr 2022 auf 1,6 TW im Jahr 2023, was einer jährlich installierten Kapazität von mehr als 400 GW neuer Photovoltaikanlagen¹ entspricht. Weiters gehen die Expert:innen der IEA-PVPS davon aus, dass Ende 2023 schätzungsweise 150 GW an Modulen weltweit auf Lager liegen. Dies führte dazu, dass es nach Jahren der Anspannung bei den Lieferketten wieder zu einem erheblichen Preisreduktion bei Komponenten für Photovoltaik kommt, der die Wettbewerbsfähigkeit der PV auch weiter aufrechterhalten wird. Dies wird in weiterer Folge dazu führen, dass selbst bei fallenden Strompreisen Photovoltaik eine der attraktivsten Optionen zur Erzeugung elektrischer Energie darstellt.

¹ Quelle: IEA-PVPS Snapshot of Global PV Markets 2024, Report IEA-PVPS T1-42: 2024

Das Wachstum der Photovoltaik spielte damit nicht zuletzt eine wichtige Rolle bei der Verringerung der CO2-Emissionen des von Elektrizitätssektors 2023.

Global gesehen bilden dabei China sowie die Europäische Union die wichtigsten Märkte, sowohl in Bezug auf die jährlich installierte Leistung wie auch in Bezug auf die kumulierte Kapazität (Abbildung 1).

TABLE 1: TOP 10 COUNTRIES FOR ANNUAL AND CUMULATIVE INSTALLED CAPACITY IN 2023

FOR ANNUAL INSTALLED CAPACITY				FOR CUMULATIVE CAPACITY			
1		China	235.5 GW*	1		China	662.0 GW*
(2)		European Union	55.8 GW	(2)		European Union	268.1 GW
2		United States	33.2 GW	2		United States	169.5 GW
3		India	16.6 GW	3		India	95.3 GW
4		Germany	14.3 GW	4		Japan	91.4 GW
5		Brazil	11.9 GW	5		Germany	81.6 GW
6		Spain	7.7 GW	6		Spain	37.6 GW
7		Japan	6.3 GW	7		Brazil	35.5 GW
8		Poland	6.0 GW	8		Australia	34.6 GW
9		Italy	5.3 GW	9		Italy	30.3 GW
10		Netherlands	4.2 GW	10		Korea	27.8 GW

Note: The European Union grouped 27 European countries in 2023, out of which Germany, Spain, Poland, Italy and the Netherlands also appear in the Top Ten, either for the annual installed capacity or the cumulative installed capacity. The European Commission is a member of IEA-PVPS through its Joint Research Centre (EU-JRC).

*Official China reporting capacity, below IEA-PVPS preliminary assessment of 277 GW / 704 GW

Source: IEA PVPS

Abbildung 1 Top 10 Märkte für Photovoltaik weltweit (Quelle: IEA-PVPS Snapshot of Global PV Markets 2024, Report IEA-PVPS T1-42: 2024)

Mit dem Ausbau der Erzeugungskapazitäten stieg in den letzten Jahren auch der Anteil der Photovoltaik an der gesamten Stromproduktion bzw. am Stromverbrauch. Die Expert:innen der IEA-PVPS gehen dabei davon aus, dass Ende 2023 Photovoltaik bereits 8% des weltweiten Stromverbrauchs bereitstellt (Abbildung 2).

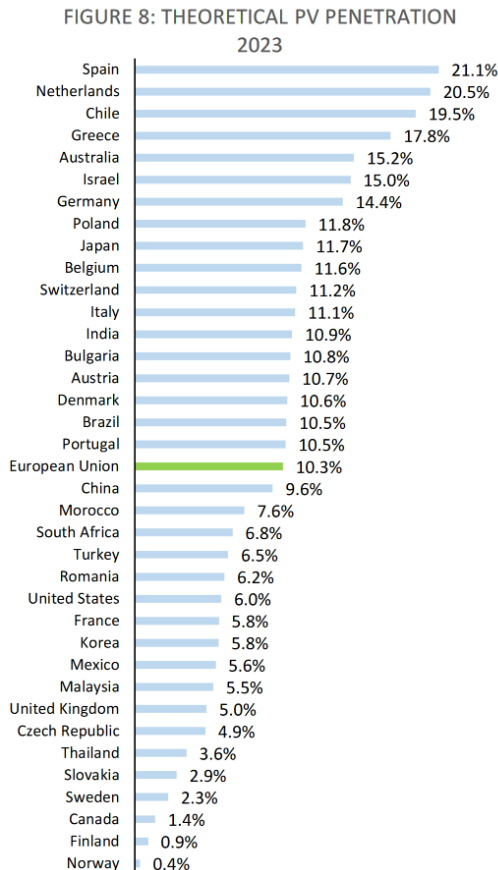


Abbildung 2 Geschätzter Anteil der Photovoltaik am nationalen Stromverbrauch in ausgewählten Ländern. (Quelle: IEA-PVPS Snapshot of Global PV Markets 2024, Report IEA-PVPS T1-42: 2024)

Für die weitere Zukunft gehen die meisten IEA-PVPS Ländern von einen zwar geringeren, aber weiterem signifikanten Ausbau der installierten Photovoltaikleistung aus. In einer Reihe von Ländern – unter anderem auch in Österreich – beeinflussen aber bereits derzeit Einschränkungen bzw. Engpässe in den Stromnetzen und damit verbundene Verzögerungen beim Netzanschluss neuer Anlagen die lokalen Märkte.

3.2 Netzintegration als zentrale Herausforderung

Angesichts des immer höheren Anteils der Photovoltaik in den Stromversorgungssystemen weltweit stehen insbesondere BetreiberInnen von Übertragungs- und Verteilnetzen vor großen Herausforderungen: In einzelnen Regionen hat mittlerweile die von den Photovoltaikanlagen produzierte Leistung ein Niveau erreicht, so dass zu bestimmten Zeitpunkten über Stunden der gesamte Stromverbrauch im Netz durch Photovoltaik abgedeckt wird. Dieser Zustand hat grundlegende Auswirkungen auf die Art und Weise, wie die Stromnetze betrieben werden und stellen große Herausforderungen für die Gewährleistung des stabilen und zuverlässigen Betriebs dar. Neben dem

notwendigen Netzausbau auf allen Ebenen, um die wachsende Leistung anschließen zu können, wird es in Zukunft auch unumgänglich sein, Photovoltaik aktiv zu steuern.

Bereits heute werden Fragen, wie die Kosten für Betrieb, Ausbau und die Erneuerung der Netzinfrastruktur in einem zukünftigen Szenario verteilt werden, diskutiert. So führt die wachsende Eigenstromerzeugung zu einer Verringerung der Einnahmen aus dem Verbrauch, während gleichzeitig die vorwiegende Stromproduktion in der Tagesmitte die Netze überlasten und den Netzausgleich beeinträchtigen kann. Um auch in Zukunft den Ausbau weiterführen zu können, wird es notwendig sein, neue Modelle zu entwickeln, die mit den markt- und klimapolitischen Ausbauzielen vereinbar sind, und nicht zuletzt die Integration der Photovoltaik zu gewährleisten.

3.3 Stand der Technik

Mit dem stetig wachsenden Anteil von Photovoltaik in den Stromnetzen wird das Verständnis für die wesentlichen technischen Herausforderungen von immer größerer Bedeutung für den reibungslosen Ausbau der Photovoltaik und damit nicht zuletzt der Erreichung der politisch festgelegten Ziele im Rahmen der Dekarbonisierung.

Photovoltaiksysteme haben als dezentrale Energieerzeugungsanlagen besondere Merkmale, welche beim Anschluss an und beim Betrieb im elektrischen Netz berücksichtigt werden müssen. Diesbezüglich zählen dabei folgende Aspekte zu den Kernfragen in Bezug auf die Netzintegration der Photovoltaik – die derzeit eine der größten Herausforderungen darstellt:

- Der variable, dargebotsabhängige Charakter der Stromerzeugung aus PV.
- Die Anbindung ans Netz und ihre Anpassung an Netze, die ursprünglich nicht für die Einspeisung verteilter Erzeugungsanlagen konzipiert wurden.
- Die Gewährleistung der Integrität des Versorgungsnetzes, die Energieversorgungsqualität und -verlässlichkeit sowie Sicherheitsaspekt.

Um diese Kernfragen auf internationaler Ebene zu diskutieren, Erfahrungen und Erkenntnisse auszutauschen und dieses Wissen zu transferieren, wurde 2010 im Rahmen des IEA-PVPS Programms erstmals ein Projekt initiiert, das speziell der Integration von Photovoltaik auf einem hohen Niveau Rechnung tragen soll: Inhalt der IEA PVPS Task 14 Aktivitäten rund um die „Hohe Dichte von Photovoltaik (PV) in elektrischen Netzen“ (High Penetration PV in Electricity Grids) ist die Stärkung der internationalen Zusammenarbeit um die Netzintegration einer großen Anzahl an Photovoltaikanlagen in elektrische Netze zu ermöglichen.

Der von Österreich von Beginn an als Operating Agent geleitete IEA PVPS Task 14 analysierte, im speziellen die Durchdringung von Photovoltaik-Erzeugungsanlagen in den elektrischen Netzen und

erarbeitet Szenarien, um Anforderungen und technische Rahmenbedingungen zur optimalen Netzintegration abzuleiten. Ziel war es, die Verwendung von netzgekoppelter Photovoltaik als zentralen, erneuerbaren Energieträger zu fördern und eine hohe Durchdringungsrate durch die Integration zu ermöglichen.

In den ersten beiden Phasen der internationalen Zusammenarbeit von 2010 bis 2018 lag der Fokus auf den Austausch der Erfahrungen, Projektergebnissen und Best Practises zu technischen Fragebündeln um Stromnetze mit einer hohen Durchdringung von Photovoltaik. Während dieser Zeit hat sich der Task 14 nicht nur zu einer der zentralen Forschungsaktivitäten im Rahmen des IEA-PVPS Programm entwickelt, sondern konnte sich auch als anerkannte Plattform für die Zusammenarbeit von Expert:innen im Themenbereich Netzintegration von Photovoltaik etablieren. Der Erfolg der von Task 14 organisierten „High Penetration PV und Utility Workshops“, die in einer Vielzahl von Ländern weltweit lokale Expert:innen mit der Task 14 Arbeitsgruppe zusammenbrachten zeigt die Notwendigkeit der Zusammenarbeit unterschiedlicher Stakeholder auf internationaler Ebene und den hohen Wert des koordinierten Austauschs von Erfahrungen und Best Practise.

Das vorliegende Projekt umfasst die Weiterführung dieser internationalen Zusammenarbeit von 2019 bis 2024 im Rahmen der Phase III des internationalen Tasks. Mit dem Ende der Phase II und dem neuen Arbeitsplan wurde dabei der Fokus der dritten Projektphase auf die integrale Betrachtung der Netzintegration von Photovoltaik zusammen mit anderen erneuerbaren Energieträgern vor dem Hintergrund eines zu 100% auf Erneuerbaren basierenden Stromversorgungssystem gelegt.

Österreich konnte dank der Fortführung seiner leitenden Rolle als Task Manager in der Phase III auch weiterhin von den gewonnenen Erkenntnissen profitieren: Der laufende Austausch mit ausgewiesenen Expert:innen sowohl aus Europa sowie außereuropäischen Ländern ermöglichte dabei frühzeitige und unerreichte Einblicke in die dortige Situation, die jeweiligen nationalen technischen und regulatorischen Rahmenbedingungen (Normen, technische Richtlinien, Netzanschlussregeln, und Gesetze).

Diese Informationen unterstützen die österreichischen Stakeholder aus verschiedenen Sektoren sowie die heimische Industrie rund um die Netzintegration der Photovoltaik. Ein weiterer wichtiger Mehrwert der Beteiligung an der internationalen Zusammenarbeit im IEA PVPS Task 14 ist die Präsentation Österreichs als internationaler Vorreiter im Bereich Photovoltaik und Netzintegration sowie die internationale Verbreitung nationaler Forschungs- und Entwicklungsergebnisse.

4 Projekthinhalt

4.1 Das IEA Photovoltaic Power Systems Programme IEA-PVPS TCP

Das IEA Photovoltaic Power Systems Programme (IEA PVPS) ist eines der Technology Collaboration Programme (TCPs) innerhalb der Internationalen Energieagentur (IEA) und wurde 1993 gegründet. Die Aufgabe des Programms ist es, „die internationale Zusammenarbeit zu fördern, die die Rolle der photovoltaischen Solarenergie als Eckpfeiler beim Übergang zu nachhaltigen Energiesystemen unterstützt.“ Dazu setzt sich das PVPS-Programm die folgenden Ziele:

- Entwicklung von PV-Technologien
- Förderung wettbewerbsfähiger PV-Märkte
- Eine ökologisch und wirtschaftlich nachhaltige PV-Industrie
- Politische Empfehlungen und Strategien
- Unparteiische und zuverlässige Informationen.

Um dieses Ziel zu erreichen, haben die Teilnehmer des Programms eine Vielzahl gemeinsamer Forschungsprojekte im Bereich der PV-Anlagen durchgeführt. Das Gesamtprogramm wird von einem Exekutivkomitee geleitet, das sich aus einem Delegierten pro Mitgliedsland oder -organisation zusammensetzt und verschiedene „Tasks“ definiert, bei denen es sich um Forschungsprojekte oder Tätigkeitsbereiche handeln kann.

Im Projektzeitraum (Stand 2024) nehmen folgende Länder am IEA-PVPS teil: Australien, Österreich, Belgien, Kanada, Chile, China, Dänemark, Finnland, Frankreich, Deutschland, Israel, Italien, Japan, Korea, Malaysia, Mexiko, Marokko, die Niederlande, Norwegen, Portugal, Südafrika, Spanien, Schweden, die Schweiz, Thailand, die Türkei und die Vereinigten Staaten von Amerika. Weitere Mitglieder sind die Europäische Kommission, SolarPower Europe, die Smart Electric Power Alliance, die Solar Energy Industries Association und die Copper Alliance.

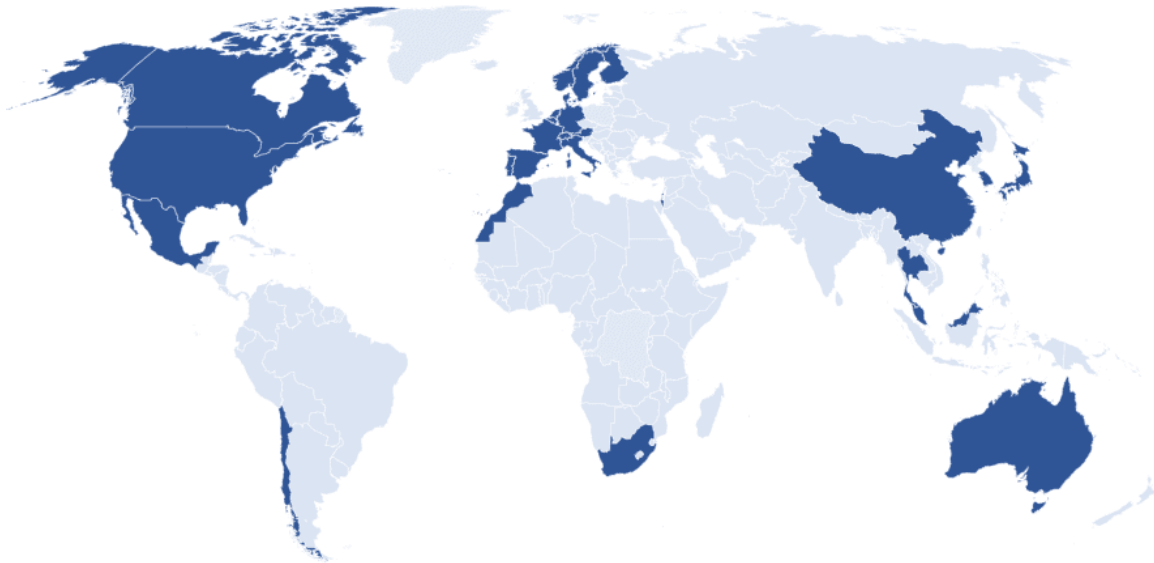


Abbildung 3 Überblick über die an IEA-PVPS beteiligten Länder Stand 2024 (Quelle: [IEA-PVPS](#))

Photovoltaiksysteme haben als dezentrale Energieerzeugungsanlagen besondere Merkmale, welche beim Anschluss an und beim Betrieb im elektrischen Netz berücksichtigt werden müssen. Dies betrifft insbesondere die typischen Eigenschaften von Photovoltaikanlagen, wie z.B. die hohe Anzahl der Anlagen mit kleiner Leistung, die Installation in Verbindung mit Kunden- bzw. Verbrauchsanlagen sowie die dezentrale Installationsdichte.

4.2 IEA-PVPS Task 14 – Photovoltaik im 100% Erneuerbaren Stromversorgungssystem

Der IEA-PVPS Task 14 wurde 2010 unter österreichischer Beteiligung gestartet, wobei Experten des AIT Austrian Institute of Technology von Beginn als Task Manager (früher: Operating Agents) die leitende Rolle übernahmen.

Wesentliches Ziel der internationalen Zusammenarbeit in den ersten beiden Phasen von 2010 bis 2018 war dabei der Erfahrungsaustausch rund um grundlegende Fragestellungen der Integration von hohen Dichten an Photovoltaik in die regionalen und auch überregionalen Stromnetze. Im Rahmen der Zusammenarbeit von Expert:innen aus den PVPS Mitgliedsländern und Vertretern von Institutionen wie der Europäischen Kommission wurden insbesondere technische Fragestellungen zur Integration von Photovoltaik in das Stromversorgungssystem, sowohl auf der lokalen Verteilnetz- wie auch der überregionalen Übertragungsebene, diskutiert, Best Practices präsentiert und Empfehlungen erarbeitet. Weiters war die Verbreitung von Informationen und Erfahrungen im Rahmen von Workshops, wissenschaftlichen Vorträgen sowie Publikationen ein zentrales Ziel der Arbeiten.

Während dieser Projektphasen etablierte sich Task 14 unter der Leitung Österreichs als globales Forum für den Erfahrungsaustausch zur Förderung der Netzintegration der Photovoltaik als wesentliche Säule in einem auf 100% Erneuerbaren basierenden Stromversorgungssystem.



Abbildung 4 Übersicht über die Arbeitsperioden des IEA-PVPS Task 14

Mit der Arbeitsperiode III, (2019 bis 2024) wurde der Fokus erweitert, wobei folgende übergeordnete Themen im Mittelpunkt der Arbeiten standen:

- **Integrale Ansätze für den Betrieb und die Planung von Stromversorgungssystemen**, die zu 100% auf Photovoltaischer Solarenergie und anderen Erneuerbaren, speziell Windenergie basieren. Im Detail haben sich die Expert:innen zum Ziel gesetzt, insbesondere Barrieren und technische Hemmnisse abzubauen, die den weiteren Ausbau verzögern können.
- **Integration von Photovoltaischer Solarenergie in Smart Grids** mit dem Ziel, die erzeugte Energie optimal und effizient zur Deckung des Verbrauchs zu nutzen. Dazu sollen vor allem einheitliche Datenmodelle und Konzepte entwickelt werden, um bestehende und im Aufbau befindliche Kommunikationsinfrastrukturen für die Photovoltaik zu nutzen sowie die Basis für neue Geschäftsmodelle und die Lieferung von Netzdienstleistungen zu schaffen.

Aktivitäten rund um die Verbreitung von Informationen und den Austausch von Erfahrungen zwischen den Expert:innen innerhalb und außerhalb des Task 14 stellten dabei einen zentralen Teil des Arbeitsprogramms in der Phase III dar:

- Kooperation mit Stromversorgern, Industriepartnern und anderen Stakeholdern, um Technologien und Methoden für die Integration erneuerbarer PV Technologien in die elektrischen Netze auf breiter Basis zu ermöglichen.
- Organisation und Durchführung von „Task 14 Netzintegrationsworkshops“ mit internationalen Expert:innen, Netzbetreibern und der Industrie.

- Gemeinsame Fachpublikationen, Keynote Vorträge und eigene IEA-PVPS Task 14 Sessions auf internationalen Konferenzen und in wissenschaftlichen Journalen.
- Intensiver Austausch mit Expert:innen aus anderen IEA Technologieprogrammen (TCP), insbesondere dem IEA-Wind Task 25, der sich mit der großflächigen Integration von Windenergie in das Stromversorgungssystem beschäftigt.

Zentrale Aufgabe der österreichischen Projektbeteiligung war dabei die Koordination des Task 14 als Task Manager in Zusammenarbeit mit dem Co-Task Management aus Deutschland. Konkret umfassten die Tätigkeiten das Management und die inhaltliche Koordination der internationalen Zusammenarbeit sowie die offizielle Vertretung des Expert:innenteams gegenüber dem IEA-PVPS Exekutivkomitee (ExCo Entscheidungsgremium).

Im Detail beinhaltete dies folgende Tätigkeiten:

- Organisation, Leitung und Durchführung der Expertmeetings.
- Koordination sämtlicher Verbreitungsaktivitäten im Rahmen des Tasks.
- Reporting an das PVPS-Executive-Committee (ExCo) durch halbjährliche Tätigkeits- und Ergebnisberichte.
- Lieferung von Beiträgen zu den PVPS-Jahresberichten.
- Teilnahme an den ExCo Meetings mit der Präsentation der Task14 Aktivitäten.
- Übergeordnete Koordination der technischen Berichte, die im Rahmen der Zusammenarbeit erstellt wurden, Koordination des Reviews mit den VertreterInnen des PVPS-Sekretariats und des ExCo.

4.3 Arbeitsprogramm und Methoden

Zu Projektbeginn wurden vier wesentliche Trends für die weitere Entwicklung und Integration von Photovoltaik in das elektrische Stromversorgungssystem identifiziert, die die Grundlage für das Arbeitsprogramm des IEA PVPS Task 14 in der Phase III bildeten:

- Trend 1: Das elektrische Energiesystem wird zunehmend von erneuerbaren, dargebotsabhängigen Energien dominiert. Die Netzintegration von Photovoltaik muss deshalb in Zukunft gemeinsam mit der Integration von z. B. Windenergie geplant und umgesetzt werden. Systemdienstleistungen, bereitgestellt von Photovoltaikanlagen gemeinsam mit anderen Erneuerbaren und auch Speichersystemen müssen einen wesentlichen Beitrag zur Netzstabilität liefern.
- Trend 2: Mit dem Rückbau von konventionellen Kraftwerkskapazitäten reduziert sich zunehmend der Anteil rotierender Generatoren und die von diesen bereitgestellte Schwungmasse, welche wesentlich zur Systemstabilität beiträgt. Mit neuen Grid Codes in Europa und den USA werden erstmals auch an erneuerbare Energiesysteme höhere Anforderungen zur Mitwirkung an der Systemstabilität gestellt.

- Trend 3: In vielen Ländern werden intelligente Netze (Smart Grids) als Antwort auf die Herausforderungen des Netzmanagements durch dezentrale Einspeisung und Veränderungen des Lastverhaltens durch Prosumer, Speicher und Elektromobilität vorangetrieben. Photovoltaiksysteme müssen sich deshalb frühzeitig an diesen Entwicklungen orientieren und in die neuen Strukturen integrieren.
- Trend 4: Eine integrierte Betrachtung des Übertragungs- und Verteilungsnetzes bzw. eine verbesserte Koordination von Übertragungs- und Verteilnetzbetrieb, wird insbesondere aufgrund der zunehmenden Systemrelevanz und der zunehmenden Bereitstellung von Markt- und Netzdienstleistungen durch dezentrale Erzeuger notwendig.

Auf Basis dieser Trends wurden die Arbeiten im IEA-PVPS Task 14 in der offiziellen Phase III (Arbeitsperiode 2019-2024), die sich auch mit der Laufzeit des vorliegenden Projekts deckt, in folgenden Subtasks organisiert:

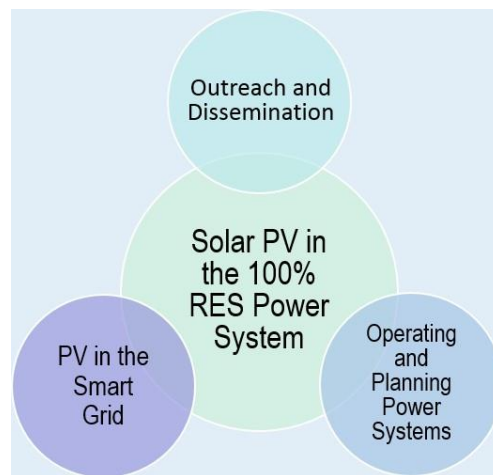


Abbildung 5 Organisation und Subtasks in der Arbeitsperiode III

Subtask A: Verbreitung und Öffentlichkeitsarbeit

Inhalt des Subtasks A war die koordinierte internationale Verbreitung der Ergebnisse des Task 14 sowie die Aufbereitung der Ergebnisse für die unterschiedlichen Zielgruppen. Aufgabe dabei ist es, den IEA PVPS Task 14 als globales Forum für die Netzintegration von Photovoltaik weiter zu etablieren und mit anderen relevanten internationalen Stakeholdernetzwerken zu kooperieren.

Der Subtask A umfasst weiters auch Leitung des Tasks durch die Task Manager, die Organisation von Workshops, Konferenzen und Präsentationen durch Task 14-Experten.

Subtask B: Planung und Betriebsführung von Elektrizitätssystemen mit hohem Anteil von Erneuerbaren Energie und im Speziellen Photovoltaik

Das Ziel von Subtask B war es, Forschungs- und Entwicklungsergebnisse zu ausgewählten Themenfeldern der Netzintegration von PV in Verteil- und Übertragungsnetzen zusammenzutragen, diese auszuwerten und deren wesentliche Erkenntnisse einem internationalen Fachpublikum sowie Entscheidungsträgern aus Politik und Wirtschaft in komprimierter Form zugänglich zu machen. Ein wesentlicher Teil dabei ist die Verwertung von Ergebnissen aus thematisch verwandten Forschungsprojekten, um diese im internationalen Kontext bzw. im Kontext der PV-Netzintegration zugänglich zu machen.

Dabei wurden im Subtask B folgende technische Fragestellungen betrachtet:

- Adressieren der zentralen Herausforderungen in Netzbetrieb und -planung auf dem Weg zu einem 100% Erneuerbaren-Szenario und zu umrichterdominierten Netzen
- Integrierte Betrachtung des Übertragungs- und Verteilungsnetzes aufgrund zunehmender Systemrelevanz und Bereitstellung von Markt- und Netzdienstleistung durch dezentrale Erzeuger
- Diskussion der Übertragbarkeit der entwickelten Lösungspfade in führenden Ländern im Bereich Photovoltaik-Netzintegration auf Inselnetze und "schwache" Netzinfrastrukturen in Entwicklungs- und Schwellenländern.

Subtask C: Photovoltaik im Smart Grid

Das Ziel von Subtask C war die Gestaltung und Anpassung der Integration von Photovoltaik in die derzeit in der Entwicklung befindlichen Smart Grids Konzepte. Eine wesentliche Rolle sollten dabei die Normung und Verbreitung von Kommunikationsstandards und Datenmodellen in den unterschiedlichen Ländern und Märkten spielen. Ein wesentliches Teilziel bestand damit darin, intelligente Umrichter zu einem wesentlichen Baustein von Smart Grids werden zu lassen.

Im Detail wurden im Subtask C folgende technische Fragestellungen betrachtet

- Sammlung und Analyse des Standes der Kommunikations- und Steuerungskonzepte für PV-Anlagen
- Intelligente Wechselrichter und Stromschnittstellen
- IT-bezogene Aspekte der Smart-Grid-Integration von PV, inkl. Internet-Sicherheit
- PV im Smart Grid -Empfehlungen für aktuelle und zukünftige Anwendungen und Infrastrukturen.

4.4 Partnernetzwerke und Zielgruppen

In der Phase III bzw. im Projektzeitraum waren folgende Länder offiziell am IEA-PVPS Task 14 beteiligt:

Tabelle 1: Am Task 14 beteiligte Länder und Institutionen in der Arbeitsperiode 2019-2024

Land	Partner	Art der Institution
Australien	University of NSW	Universität
Austria	Austrian Institute of Technology	Forschungsinstitut
Canada	Canadian Solar Industry Association	Verband
China	Chinese Academy of Sciences	Forschungsinstitut
Denmark	Kenergy	Industrie
European Commission	JRC	Forschungsinstitut
SolarPowerEurope	SolarPowerEurope	Verband
Germany	Fraunhofer IWES/IEE	Forschungsinstitut
Germany	Hochschule Ulm	Universität
Italy	ENEA-Portici Research Centre	Forschungsinstitut
Japan	NEDO	Agentur
Japan	University of Tokyo	Universität
Malaysia	SEDA	Verband
Portugal	EDP - Energias de Portugal	Industrie
Singapur	SERIS	Forschungsinstitut
Spain	Universidad La Laguna	Universität
Switzerland	Planair	Agentur
Switzerland	Berner Fachhochschule	Universität
U.S.A.	EPRI	Forschungsinstitut

Als globales Netzwerk arbeitete Task 14 im Projektzeitraum weiters auch intensiv mit Partnern aus weiteren relevanten Netzwerken (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**), nationalen und internationalen Standardisierungsgremien und Arbeitsgruppen zusammen:

- IEA Wind Task 25 “Design and operation of power systems with large amounts of wind power”
- IEC TC 8 (System aspects of electrical energy supply): JWG 10 (Distributed energy resources connection with the grid)
- CENELEC TC8X (System aspects of electrical energy supply): WG03 (Requirements for connection of generators to distribution networks).
- CENELEC TC82 (Solar photovoltaic systems) WG 2 BOS components and systems
- IEEE Committee SASB/SCC21 – SCC21 - Fuel Cells, Photovoltaics, Dispersed Generation, and Energy Storage
- SunSpec/Sandia National Laboratories Cyber Security Working Group DER interoperability and cyber security.
- Nationale Gremien: Österreich, Deutschland, Dänemark, Schweiz, USA, Japan, Spanien, Italien

Die von Task 14 adressierten Zielgruppen umfassen dabei Betreiber von Stromversorgungssystemen bzw. Stromnetzen, Verbände, Regulierungsagenturen, Forschung und Entwicklung sowie Hersteller von Systemkomponenten für Photovoltaikanlagen.

5 Ergebnisse

5.1 Übersicht und Darstellung der Ergebnisse

Neben der Leitung des Task 14 als verantwortlicher Task Manager als zentrale Aufgabe im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden im österreichischen Teilvorhaben auch umfassende Beiträge zu den im Rahmen der internationalen Kooperation erstellten Berichten geliefert, sowie Ergebnisse nationaler Forschungsprojekte, für die im Rahmen des Task 14 durchgeführten Forschungsaktivitäten aufbereitet.

Um die umfangreichen Ergebnisse der im Rahmen der österreichischen Beteiligung am IEA-PVPS Task 14 im Projektzeitraum 2019 bis 2024 übersichtlich darzustellen, werden diese Ergebnisse in folgenden Abschnitten strukturiert:

- 5.2 Leitung der internationalen Arbeitsgruppe im Rahmen der Rolle Österreichs als Task Manager
- 5.3 Präsentation der Ergebnisse der Forschungsaktivitäten im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit und daraus gewonnene Erkenntnisse und Schlussfolgerungen
- 5.4 Übersicht über die im Rahmen des IEA-PVPS Task 14 erarbeiteten Publikationen inkl. Synopses.

Die folgenden Abschnitte dokumentieren die Ergebnisse und präsentieren Highlights sowie Erkenntnisse und deren Relevanz für die nachhaltige und sichere Integration von Photovoltaik in einem zukünftigen 100% Erneuerbaren Szenario.

5.2 Leitung der internationalen Arbeitsgruppe im Rahmen der Rolle Österreichs als Task Manager

In der Phase III bzw. im Projektzeitraum wurde unter der gemeinsamen Leitung des österreichischen und des deutschen Task Manager der IEA-PVPS Task 14 als zentrale Forschungsaktivität im Rahmen des IEA-PVPS Programms erfolgreich weiterentwickelt. Damit konnte die Rolle des Tasks als wichtiges Netzwerk zum Informationsaustausch und weltweit anerkannte Plattform für die Zusammenarbeit von Expert:innen rund um die Integration von PV in das Stromversorgungssystem weiter ausgebaut werden.

Als Indikator für die erfolgreiche Koordination des internationalen Teams von Expert:innen kann dabei die erfolgreiche Umsetzung und Abarbeitung des geplanten Arbeitsprogramms sowie das nachhaltige Engagement der Gruppe von Expert:innen im Task angesehen werden. Mit 18 veröf-

fentlichten Reports (davon 6 in der Phase III bzw. im Projektzeitraum) und einer Vielzahl gemeinsamer Publikationen zählt der Task 14 im PVPS Programm zu den umfangreichsten und produktivsten Aktivitäten.

In Bezug auf die internationale Sichtbarkeit und Verbreitung der Ergebnisse zeigt sich der Erfolg auch in den vom Task Management in Zusammenarbeit mit lokalen Expert:innen und Stakeholdern organisierten „Task 14 Grid Integration Workshops“ und Konferenzsessions. Diese von Task 14 initiierte Serie, die bereits 2010 (damals unter dem Titel „High Penetration PV Workshops“) gestartet wurde, brachte bis Ende 2023 in 24 Workshops und Konferenzsessions (davon 8 im Projektzeitraum) in 18 Ländern weltweit über 1000 Teilnehmer:innen mit den Expert:innen der Task 14 Arbeitsgruppe zusammen und ermöglichte den direkten Austausch von Erfahrungen und aktuellen Erkenntnissen.



Abbildung 6 Übersicht über die im Rahmen des IEA-PVPS Task 14 organisierten Workshops und Konferenzsessions

Im Projektzeitraum wurden unter Koordination durch die Task Manager die folgenden Workshops, Konferenzsessions im Rahmen des IEA PVPS Task 14 organisiert, durchgeführt bzw. inhaltliche Beiträge geliefert:

Tabelle 2: Übersicht über die im Rahmen von Task 14 organisierten Veranstaltungen, Workshops und Konferenzsessions in der Phase III bzw. im Projektzeitraum 2018-2024

Jahr	Ort / Land	Titel	Art der Veranstaltung
2018	Stockholm, Schweden	Solar Integration Workshop	Konferenzsession, organisiert von Task 14
2018	Webinar	Recommended Practices for Wind and PV Integration	Webinar organisiert in Zusammenarbeit mit dem TCP Wind Task 25
2019	Xian, China	Workshop at TBEA on Central and String-Inverter Task 14 session im Rahmen der PVSEC Konferenz	Industrieworkshop organisiert von Task 14 in Zusammenarbeit mit den chinesischen Task 14 VertreterInnen Konferenzsession, organisiert von Task 14
2020	Online	IEA InterTCP-Meeting on Integrated Energy Systems	Veranstaltung (online) organisiert von den IEA TCPs, Beiträge durch Task 14
2021	Online	IEA InterTCP-Meeting Digitalization and decentralization	Veranstaltung (online) organisiert von den IEA TCPs, Beiträge durch Task 14
2021	Berlin, Deutschland	Solar Integration Workshop – Session: PV as an Ancillary Service Provider – Laboratory and Field Experiences from different IEA PVPS countries	Konferenzsession, organisiert von Task 14
2021	Online-Workshop	Data Model for PV Systems, PVPS Task 1 and Task 14	Online-Workshop organisiert in Zusammenarbeit mit dem IEA-PVPS Task 1
2022	EU PVSEC, Mailand, Italien	Session: PV as an Ancillary Service Provider	Konferenzsession, organisiert von Task 14
2022	Tokyo, Japan	NEDO/IEA PVPS T14 Workshop, Integrating DER	Industrieworkshop organisiert von Task 14 in Zusammenarbeit mit den japanischen Task 14 VertreterInnen (NEDO)
2023	Online-Workshop	Integrating PV into the Smart Grid mit France Solaire Association	Industrieworkshop organisiert von den französischen IEA-PVPS VertreterInnen, Beiträge und Diskussion durch Task 14 Task Manager.
2023	Neapel, Italien	Italian Stakeholder Workshop	Industrieworkshop organisiert von Task 14 in Zusammenarbeit mit den italienischen Task 14 VertreterInnen (ENEA)

Jahr	Ort / Land	Titel	Art der Veranstaltung
2023	Online/ Denver, USA	TOPICAL EXPERT MEETING; Hydro- gen in a 100% Renewable Energy System	Expert:innen-Workshop organisiert im Rah- men des IEA WIND TCP. Beiträge und Diskus- sion durch Task 14 VertreterInnen.
2023	Adelaide, Australien	Australien Stakeholder Day	Industrieworkshop organisiert von den aust- ralischen IEA-PVPS VertreterInnen, Beiträge und Diskussion durch Task 14 Task Manager.

Das große Interesse der Teilnehmer:innen und die Vielzahl der Aktivitäten zeigt die Notwendigkeit der Zusammenarbeit unterschiedlicher Stakeholder auf internationaler Ebene und den Stellenwert des koordinierten Austauschs von Erfahrungen und Best Practises.

Neben dieser Vernetzung mit den direkten Zielgruppen auf lokaler Ebene arbeitet Task 14 auch mit intensiv mit Expert:innen und Teams im Rahmen der IEA Forschungsk Kooperation zusammen.

In der Phase III der Arbeitsperiode auf internationaler Ebene bzw. dem Projektzeitraum umfasste dies insbesondere die Zusammenarbeit mit Expert:innen aus den IEA-PVPS Tasks 1 (Strategic PV Analysis & Outreach) und 16 (Solar Resource for High Penetration and Large Scale Applications), sowie dem Task 25 („Design and Operation of Power Systems with Large Amounts of Wind Power“) des IEA-WIND Programms, der sich mit der Netzintegration von Windanlagen beschäftigt.

Im Rahmen dieser Zusammenarbeit lieferten Task 14 Expert:innen 2024 auch Beiträge zur 3. Ausgabe des Berichts zu Empfehlungen für die Durchführung von Wind und Photovoltaik-Netzintegrationsstudien (Expert Group Report On Recommended Practices 16. Wind/PV Integration Studies 3rd Edition, 2024) erstellt, der als Kooperation des IEA-WIND mit dem IEA-PVPS Programm im Laufe des Jahres 2024 veröffentlicht wird.

Im Rahmen der Rolle als Task Manager war Österreich in Zusammenarbeit mit dem deutschen Task Manager dabei für die Gesamtkoordination und die effektive Verbreitung der Ergebnisse und Erfahrungen aus dem Task 14 Expert:innenteam verantwortlich.

5.3 Ergebnisse der Forschungsaktivitäten im Rahmen des IEA-PVPS Task 14

Im Projektzeitraum wurden im Rahmen von Task 14 auf Basis des Arbeitsplans für die Phase III (Arbeitsperiode 2018-2024) eine Reihe gemeinsamer Forschungsaktivitäten zu wesentlichen Themen rund um die Netzintegration von Photovoltaik umgesetzt und die Ergebnisse als Task 14 Berichte präsentiert. Entsprechend der nationalen Zielsetzungen konzentrierten sich die österreichischen

Beiträge insbesondere auf die Integration der Photovoltaik auf der lokalen Verteilernetzebene sowie das Management von Stromversorgungssystemen mit einem hohen Anteil variabler Erzeugung aus Photovoltaikanlagen

Die folgenden Abschnitte präsentieren die im Projektzeitraum erstellten Berichte und fassen die Ergebnisse zusammen, die unter direkter Beteiligung der österreichischen Expert:innen, erarbeitet wurden. Weiters werden auch die inhaltlichen Schlussfolgerungen und Empfehlungen, die ein wesentlicher Teil jeder Aktivität bzw. jedes Berichts sind, präsentiert.

5.3.1 Datenmodelle und Datenerfassung für die Registrierung und den Netzanschluss von Photovoltaik [4]

Hintergrund

Die stark wachsende Zahl an dezentralen Stromerzeugungsanlagen, insbesondere – aufgrund der hohen Anzahl – Photovoltaikanlagen vor allem in den Verteilnetzen, bringt neue Herausforderungen für das administrative und organisatorische Management der Stromnetze mit sich. Anstatt eine begrenzte Zahl großer Kraftwerke zu koordinieren, hat die Anzahl der dezentralen Photovoltaikanlagen in einzelnen Ländern bereits die Millionengrenze überschritten, was die traditionellen administrativen Prozesse an ihre Grenzen bringt und einen hohen Aufwand für die Organisation und die erforderliche Systemdokumentation verursacht.

Ergebnisse der Arbeiten im Task 14

Im Rahmen des Task 14 Subtasks C (Photovoltaik im Smart Grid) wurde im Detail untersucht, wie Task 14 Länder mit der Datenerfassung, speziell in Bezug auf Photovoltaikanlagen, umgehen, welche Rahmenbedingungen jeweils festgelegt sind und wie Registrierung und Datenerfassung umgesetzt werden. Der Bericht bietet auch einen vollständigen Überblick über alle relevanten Aspekte, die behandelt werden müssen, und gibt einen Ausblick auf Informationen, die in Zukunft von Bedeutung sein werden. Weiters wird auf die verschiedenen Anwendungsfälle eingegangen und es werden Empfehlungen für die Implementierung von Registrierungsschemata, Datenmodellen sowie Datenbanken gegeben.

Aktuell gibt es in der Mehrzahl der Task 14 Länder die Verpflichtung, Anlagen in einer zentralen Datenbank zu registrieren. Das hinterlegte Datenmodell und damit der Detaillierungsgrad der einzelnen Register ist jedoch sehr unterschiedlich, wie in der folgenden Übersicht ersichtlich ist:

Tabelle 3 Übersicht über die in ausgewählten Task 14 Ländern eingesetzten Datenbanken zur Registrierung und Dokumentation von Photovoltaikanlagen (Quelle: [4])

Parameter	Australia	Austria	Canada	Denmark	Finland	Germany	Italy	Japan	Malaysia	South Korea	Spain	Switzerland	USA
Allgemeine Informationen über die Datenbank													
Nationale Datenbank für PV-Anlagen verfügbar und in Betrieb	✓	(✓)		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
PV-Anlagen müssen in der nationalen Datenbank registriert werden				✓		✓	✓	✓			✓		
Bestimmte Anlagen (z. B. Anlagen, die einen FIT beanspruchen oder Anlagen über einer bestimmten Kapazität) müssen in der nationalen Datenbank registriert werden	✓	✓			✓				✓	✓		✓	
Redundante Datenerfassung obligatorisch (z. B. FIT-Datenbank, Datenbank der Aufsichtsbehörde und Datenbank der DSO)		✓			(✓)			✓		✓	✓	✓	
DSO verwenden harmonisiertes Datenmodell für PV-Anlagen in ihrem Netz				✓				✓					
Die Datenbank ist größtenteils für Dritte (z. B. die Öffentlichkeit) zugänglich	✓					✓		✓			✓		✓
Die Datenbank ist streng vertraulich					✓		✓	✓				(✓)	

Empfehlungen

Auf Basis der Arbeiten im Projektteam wurden folgende allgemeine Empfehlungen für die Umsetzung eines effizienten, universell nutzbaren Registrierungsschemas ausgearbeitet:

- Relevante PV-Anlagendaten innerhalb eines Landes sollten in einer zentralen Datenbank vorhanden und sämtlichen beteiligten Stakeholdern zugänglich sein.
- Die Struktur, der Inhalt und die Anforderungen der Datenbank sollten in Zusammenarbeit mit der Industrie, den politischen Entscheidungsträgern und anderen relevanten Interessengruppen entwickelt werden.
- Ziel der Datenbank sollte sein, den Verwaltungsaufwand im Zuge des gesamten Prozesses zu reduzieren und unterschiedliche administrative Vorgänge möglichst über die gleiche Datenbank zu verwalten.
- Es wird empfohlen, dass mehrere Interessengruppen Zugang zur Datenbank haben. Z. B. sollte DSO vollen Zugang zu den technischen Details der Anlagen in ihrem Netzgebiet haben. Eine begrenzte Anzahl von Daten wie z. B. die Größe der Anlage und die Gemeinde, in der sie installiert ist, sollten der Öffentlichkeit zugänglich sein. Die Daten sollten in geeigneter Form für Forschungszwecke verfügbar sein.
- Sämtliche Daten sollten im Eigentum des Anlagenbetreibers/Eigentümers bleiben – jedoch mit der Auflage, die Anlagen im System zu registrieren und die Daten gemäß den Anforderungen des Registers zu aktualisieren. Die Daten der PV Systeme sollten während der gesamten Lebensdauer der Anlage aktualisiert werden.

- Fragen des Datenschutzes und der Datensicherheit müssen angemessen bewertet und behandelt werden. Jeder Nutzer der Datenbank darf nur Zugang zu den Daten in der Datenbank haben, die er benötigt, um bestimmte Aufgaben zu erfüllen.

Vor diesem Hintergrund sind entsprechende Datenmodelle und eine effiziente Datenerfassung entscheidend, um auch in einem zukünftigen Szenario mit einer noch wesentlich höheren Zahl von dezentralen Stromerzeugungsanlagen zuverlässige Daten zu den installierten Anlagen sowie deren Betrieb bereitstellen zu können, die insbesondere in einem zukünftigen Smart Grid entscheidend sein werden. Detaillierte Daten zu den installierten Photovoltaikanlagen sind darüber hinaus für eine Reihe von Anwendungsfällen erforderlich: Entscheidungsträger sollten die Auswirkungen Maßnahmen auf den Markt kennen, Aggregatoren und Systembetreiber müssen wissen, welche Anlage wie viel Energie produziert.

5.3.2 Kommunikation und Steuerung für die Integration von Photovoltaik in einer Smart Grid-Umgebung [1]

Hintergrund

In der übergeordneten Stromnetzinfrastruktur spielen Kommunikationssysteme bereits seit langem eine zentrale Rolle, z. B. beim Betrieb von Übertragungsnetzen, bei Markttransaktionen, bei der Sicherheit und bei der Integration von großen Erzeugern. Auf der Ebene der Verteilnetze hingegen waren bisher hauptsächlich Lasten angeschlossen, was wenig oder keine Kommunikation erforderte.

Die zunehmende Durchdringung der Stromnetze mit dezentralen Photovoltaikanlagen hingegen stellt nun einen Paradigmenwechsel dar, der für den effizienten Betrieb die Interaktion zwischen Verbrauchern, Erzeugern und dem Markt erfordert – was mit derzeitigen Konzepten im Stromnetz nicht oder nur begrenzt machbar ist.

Ergebnisse der Arbeiten im Task 14

In Rahmen der Arbeiten im Task 14 Subtask C (Photovoltaik im Smart Grid) wurden vor diesem Hintergrund die Modelle der Kommunikations- und Steuerungssystemarchitektur für die Integration dezentraler PV-Anlagen in die künftige Smart-Grid-Umgebung untersucht. Außerdem werden die bestehenden Kommunikationstechnologien, Protokolle und aktuellen Praktiken für die Integration von PV-Anlagen vorgestellt. Der Task 14 Report „Communication and Control for High PV Penetration under Smart Grid Environment“ erläutert dazu Kommunikationstechnologien und Regelstrategien im Smart Grid und liefert einen Überblick zu Forschungs- und Demonstrations-Projekten aus diesem Themenfeld in den beteiligten Ländern.

Ein zukünftiges Stromversorgungssystem, das Smart-Grid-Technologien einsetzt, wird aufgrund dieser bedeutenden technologischen Entwicklung nicht mehr, wie ein traditionelles physikalisches System organisiert sein, sondern in Form eines cyber-physischen Systems: Der Übergang dorthin stellt jedoch die gesamte Energiebranche vor verschiedene Herausforderungen, nicht zuletzt, da

Marktteilnehmer, Endkunden sowie Systembetreiber auf allen Spannungsebenen involviert sind. In den verschiedenen Szenarien, die im Rahmen des Task 14 untersucht wurden, konnte ein klarer Trend zur Verlagerung eines Teils der Erzeugungskapazität von wenigen Kraftwerken im GW-Leistungsbereich zu Millionen dezentraler Systeme im Leistungsbereich von wenigen kW (z.B. Balkonkraftwerke) bis hin zu Anlagen in der Größenordnung von 100 MW festgestellt werden.

Die zunehmende Verbreitung der Photovoltaik und die damit verbundenen Schwankungen der Erzeugung erfordern, dass die künftige Steuerung in Echtzeit und mit geschlossenem Regelkreis erfolgen muss. Der großflächige Einsatz von Sensoren, bidirektionaler Kommunikationsinfrastrukturen und fortschrittlichen Photovoltaik-Wechselrichtern ist dazu entscheidend, um in Zukunft eine verteilte Echtzeit-Regelungsarchitektur zu realisieren.

Empfehlungen

Verteilnetze mit hoher Auslastung benötigen detaillierte Informationen über den Netz- und Gerätezustand. Dementsprechend muss der Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologiesystemen erfolgen, um die zunehmende Anzahl dezentraler Stromerzeugungsanlagen in Stromnetzen zu koordinieren, und den Informationsaustausch zwischen Netzbetreiber und Erzeugern zu ermöglichen.

Für die effiziente Umsetzung ist es notwendig, eine zielgerichtete, effiziente und auch zuverlässige Kommunikations- und Systemarchitektur zu definieren, die auf Basis verschiedener Anwendungsumgebungen die Anforderungen erfüllen kann. Die Auswahl und Implementierung von Kommunikationstechnologien wird dabei maßgeblich durch administrative, physikalische und logistisch Randbedingungen definiert.

Die Ergebnisse der Arbeiten zeigen, dass sowohl das Bewusstsein wie auch der Einsatz von Kommunikations- und Steuerungssystemen für dezentrale Photovoltaiksysteme zunimmt. Die tatsächliche Umsetzung von Kommunikations- und Steuerungssystemen für verteilte Photovoltaikanlagen hingegen befindet sich jedoch noch in einem frühen Stadium: So befanden sich viele IKT-Komponente und Steuerungsfunktionen für verteilte Photovoltaikanlagen zum Zeitpunkt der Veröffentlichung des Reports noch in der Versuchs- oder Demonstrationsphase.

Anmerkung: Im Rahmen des zukünftigen IEA-PVPS Task 19 ist geplant, umfassende Design-Empfehlungen für die Integration von Photovoltaik in einem Smart Grid Umfeld zu erarbeiten.

5.3.3 Leistungsmanagement von Photovoltaikanlagen – Aktueller Stand der Technik und technische Lösungen [7]

Hintergrund

Um das Ziel einer auf 100% Erneuerbaren basierenden Stromversorgung zu erreichen, müssen Erzeugungsleistungen, insbesondere in Form von Photovoltaik-Anlagen an die Stromnetze angeschlossen werden, deren installierte Leistung die Aufnahmekapazität des Netzes bei weitem überschreiten wird. Um eine Überlastung zu vermeiden, sind weitgehende Maßnahmen zum Management der in die Netze eingespeisten Leistung erforderlich.

Ergebnisse der Arbeiten im Task 14

Im Rahmen des Task 14 Subtask B (Planung und Betrieb von Stromversorgungssystemen mit Photovoltaik) wurden verschiedene Methoden zum Management der Photovoltaikleistung und ihre Anwendung in elektrischen Anlagen und Stromnetzen vorgestellt und diskutiert. Es werden verschiedene Lösungen, die in verschiedenen Ländern verwendet werden, aufgezeigt und die geltenden Normen sowie regulatorische Rahmenbedingungen vorgestellt. Das aktive Leistungsmanagement ist dabei kein Ziel, sondern die Methode, um die Auslastung der Stromnetze zu erhöhen, ohne ihre physikalischen Grenzen zu überschreiten.

Auf Basis unterschiedlicher Anwendungsfälle wurden internationale Ansätze für die Steuerung von Photovoltaikanlagen durch Verteilnetzbetreiber verglichen und generelle Empfehlungen für das aktive Management der Einspeisung erläutert. Dabei werden Methoden für das aktive Leistungsmanagement vorgestellt, deren Potential, Möglichkeiten sowie die praktische Umsetzung präsentiert. Die Ergebnisse der Arbeiten zeigen auch mögliche alternative Maßnahmen zur Leistungsbegrenzung auf, wie z.B. den Einsatz von dezentralen Energiespeichersystemen, Eigenverbrauch hinter dem Zähler oder Netzverstärkung.

Empfehlungen

Das Verhältnis von Jahresenergieertrag zu Spitzenleistung ist bei PV-Anlagen kleiner als bei vielen anderen Erzeugungstechnologien. Deshalb würden PV-Anlagen im Verhältnis zum Energieertrag große Netzkapazitäten benötigen. In den Leistungsspitzen der Photovoltaik ist jedoch nur wenig Energie enthalten, weshalb es nicht wirtschaftlich wäre, die Stromnetze auf die Nennleistung der PV-Anlagen auszubauen.

Eine der zentralen Schlussfolgerungen dabei ist, dass der Wert von elektrischer Energie in der Regel gleich Null oder sogar negativ werden kann, wenn sie nicht benötigt wird - abgeregelte Energie hat somit nur einen geringen Marktwert. Der verbleibende Solarstrom wird demgegenüber wertvoller. So kann die Einspeiseleistung einer abgeregelten PV-Anlage jederzeit und hochdynamisch sowohl erhöht als auch weiter reduziert werden.

Aktives Leistungsmanagement kann auf verschiedene Weise umgesetzt werden, wobei bereits die heutigen Photovoltaikanlagen viele dieser Methoden unterstützen. Die Wahl der Methode sollte sich an der jeweiligen Anwendung orientieren, um optimale Ergebnisse zu erzielen.

Neben der Erhöhung der Aufnahmekapazität eröffnet aktives Leistungsmanagement noch eine Reihe neuer Möglichkeiten: So kann der überschüssige Strom gespeichert oder für weniger effiziente Anwendungen genutzt werden. Die Einspeisung kann hochdynamisch hoch- und runtergefahren werden, wodurch die Bereitstellung von Systemdienstleistungen zur Stabilisierung des Stromnetzes möglich wird.

In Verbindung mit dem aktiven Leistungsmanagement gewinnen Kommunikationssysteme immer mehr an Bedeutung und der Wert steigt mit zunehmendem Anteil von Photovoltaikstrom. Zwar können autonome Regelungen wie statische Einspeisebegrenzung, dynamische Spannungsbegrenzung oder auch Frequenzregelung auch dezentral ohne Kommunikation realisiert werden. Werden Photovoltaikanlagen jedoch in das Gesamtsystem integriert und zur Optimierung des Verteil- und Übertragungsnetzes betrieben, sind Kommunikationssysteme notwendig.

Das aktive Wirkleistungsmanagement von Photovoltaikanlagen ist damit eine der effektivsten und mächtigsten Methoden, um mehr Photovoltaikkapazität in das Netz integrieren zu können und damit die Ziele eines zu 100% auf Erneuerbaren basierenden Stromversorgungssystems erreichen zu können.

5.3.4 Photovoltaik als Anbieter von Netzdienstleistungen [3]

Hintergrund

Mit ihrem wachsenden Anteil an der Stromerzeugung und dem gleichzeitigen Rückgang des Anteils konventioneller Stromerzeugung auf Basis rotierender Generatoren müssen Photovoltaikanlagen Systemverantwortung übernehmen, indem sie Netzdienstleistungen bereitstellt. Netzdienstleistungen „sind Dienstleistungen, die für den Betrieb eines Übertragungs- oder Verteilungssystems erforderlich sind“. Diese Dienstleistungen können von Netznutzern wie konventionellen Kraftwerken, erneuerbaren Erzeugungsanlagen, Speichern oder auch flexiblen Lasten erbracht werden, um einen sicheren und zuverlässigen Betrieb des Stromsystems zu unterstützen oder zu gewährleisten. Die Spezifikationen, Arten, Bedürfnisse und Beschaffungsverfahren der Netzdienstleistungen werden dabei in verschiedenen Ländern bzw. Regionen unterschiedlich gehandhabt. Mit dem Fortschritt der Energiewende in vielen Ländern ändern sich die Rahmenbedingungen ebenfalls in vielen Ländern grundlegend.

Ergebnisse der Arbeiten im Task 14

Im Rahmen der Aktivitäten im IEA-PVPS Task 14 Subtask B (Planung und Betrieb von Stromversorgungssystemen mit Photovoltaik) wurde diese Thematik im Detail untersucht. Auf Basis der Erfahrungen in verschiedenen Ländern war das Ziel, den aktuellen Status sowie das Potenzial von Photovoltaik und Photovoltaik-Hybridssystemen als Anbieter von Netzdienstleistungen aufzuzeigen.

Der 2021 veröffentlichte Task 14 Bericht „PV as an ancillary service provider - Laboratory and field experiences from different IEA PVPS countries“ (Netzdienstleistungen von Photovoltaiksystemen -

Labor- und Felderfahrungen aus verschiedenen IEA PVPS-Ländern) enthält eine Sammlung Fallstudien, aus verschiedenen IEA PVPS-Ländern und unterschiedlicher Netzdienstleistungen. Zielgruppen dieser Publikation sind vor allem Netzbetreiber und Entscheidungsträger, die sich des Status und des Potenzials von Photovoltaik und Photovoltaik-Hybridsystemen als Anbieter von Netzdienstleistungen möglicherweise nicht bewusst sind. Der Fokus liegt vor allem auf Good-Practice-Beispielen. Weiters werden auch Verbesserungs- und Weiterentwicklungspotenziale und -bedarfe für den Einsatz von Photovoltaik als Lieferant von Netzdienstleistungen angesprochen und diskutiert.

In den letzten Jahren haben Wechselrichter, die zentrale Komponente einer Photovoltaikanlage in Bezug auf den Netzanschluss sich technologisch bedeutend weiterentwickelt. Photovoltaikanlagen haben sich von passiven Netznutzern, die lediglich maximale Wirkleistung einspeisen und sich bei Netzstörungen sofort abschalten, zu aktiven Netznutzern entwickelt, die bei normalem und gestörtem Netzbetrieb verschiedene Netzstützungsfunktionen bereitstellen können. Die heute weit verbreiteten Funktionen sind z.B. autonome Netzstützungsfunktionen wie Spannungs- oder Frequenzregelung.

Auf dem Weg zu einem auf 100% Erneuerbaren und von Wechselrichtern dominiertem Stromversorgungssystem werden jedoch neue Herausforderungen für den Betrieb des Stromnetzes immer relevanter. Photovoltaik als Anbieter von Hilfsdiensten wird dabei eine zentrale Rolle einnehmen.

Empfehlungen

Die Praxiserfahrungen und Fallstudien, die im Rahmen des Task 14 untersucht wurden, demonstrieren, dass Photovoltaikanlagen und Photovoltaik-Hybridsysteme zukünftig zusätzliche netzunterstützende Funktionen und Hilfsdienste bereitstellen können, die weit über die derzeitigen technischen und regulatorischen Anforderungen hinausgehen.

Aus den Fallstudien lassen sich dazu die folgenden wesentlichen Schlussfolgerungen und Empfehlungen ableiten:

- Frequenzregelung - In Zukunft können PV-Anlagen an den Märkten für Frequenzregelungsreserven teilnehmen. Allerdings müssen die Präqualifikationsverfahren und Produktspezifikationen möglicherweise angepasst werden, um die Teilnahme von PV-Anlagen zu ermöglichen.
- Wirkleistungsregelung - Die PV-Leistungsbeschränkung kann eine wirksame und wirtschaftliche Maßnahme sein, um einen sehr hohen PV-Durchdringungsgrad in Stromnetzen zu erreichen. Wirksame Abregelungsverfahren müssen auch für PV-Anlagen in Privathaushalten entwickelt werden.
- Spannungsregelung - Neben der lokalen Spannungsunterstützung kann die dezentrale PV den Blindleistungsbedarf der Verbraucher kompensieren und für Blindleistungsflexibilität an der Schnittstelle zwischen Übertragungs- und Verteilnetzen sorgen
- Verbesserung der Spannungsqualität - Intelligente PV-Anlagenkonzepte können Oberschwingungsstromemissionen reduzieren und damit die Spannungsqualität verbessern.

- Neue Dienstleistungen - PV-Wechselrichter können zusätzliche Dienstleistungen in hybriden DC/AC-Stromsystemen erbringen.

Feldtests und Feldanwendungen in diesem Bericht zeigen den Nachweis des Konzepts und der technischen Fähigkeiten von Photovoltaikanlagen und Photovoltaik-Hybridsysteme. Die technischen und regulatorischen Rahmenbedingungen in vielen Ländern müssen jedoch weiterentwickelt werden, um die Anwendung zusätzlicher Netzstützungsfunktionen und Netzdienstleistungen auch durch den Netzbetreiber zu ermöglichen.

Im Folgenden werden die zentralen Empfehlungen des Berichts zusammengefasst:

- Die Entwicklung von Standards für fortschrittliche Netzstützungsfunktionen, wie z. B. die Bereitstellung synthetischer Schwungmasse oder netzbildernder Funktionen von Photovoltaikanlagen ist entscheidend, um eine Basis für technische Entwicklungen und die umfassende Anwendbarkeit dieser Funktionen sicherzustellen.
- Testverfahren und Qualitätskriterien für fortschrittliche Netzstützungsfunktionen, die auf internationaler Ebene harmonisiert sind müssen entwickelt werden.

Die derzeit bestehenden Verfahren zur Beschaffung von Netzdienstleistungen müssen überarbeitet werden, um die Teilnahme von Photovoltaikanlagen und Photovoltaik-Hybridsysteme zu ermöglichen, z. B. für Frequenzregelungsdienste. Entscheidend dabei ist eine weitere Diskussion und Klärung der Fragen rund um die Bereitstellung von Netzdienstleistungen durch die verschiedenen erneuerbaren Energietechnologien. In diesem Zusammenhang kann es auch erforderlich werden, neue „Produkte“ von Netzdienstleistungen und marktbasierter Beschaffungsverfahren zu entwickeln.

5.3.5 Blindleistungsmanagement in Verbindung mit dezentralen Stromerzeugungsanlagen und Photovoltaik [5]

Hintergrund

Ein funktionierendes Blindleistungsmanagement ist entscheidend für den stabilen Betrieb des Stromversorgungssystems, die Spannungsregelung in den Netzen und die Gewährleistung einer hohen Versorgungsqualität. Während das Blindleistungsmanagement heute großteils durch zentrale, konventionelle Kraftwerke und Einrichtungen in den Netzen bereitgestellt wird, werden in einem zukünftigen Szenario auf Basis erneuerbarer Energien dezentrale Energieressourcen mehr und mehr Verantwortung übernehmen, indem sie die Funktionen zur Blindleistungsregelung übernehmen.

Für die Umsetzung des Blindleistungsmanagements kommen derzeit verschiedene Lösungen zum Einsatz, die auf die spezifischen lokalen und überregionalen Bedürfnisse des Netzbetriebs angepasst sind. Blindleistungsmanagement und insbesondere die Spannungsregelung müssen dabei auf das lokale Umfeld zugeschnitten werden: Bei unkoordinierter Umsetzung kann somit ein nicht funktionierendes Blindleistungsmanagement auch negative Auswirkungen haben.

Ergebnisse der Arbeiten im Task 14

Im Rahmen der Arbeiten im Task 14 Subtask B (Planung und Betrieb von Stromversorgungssystemen mit Photovoltaik) wurden die unterschiedlichen Aspekte des Blindleistungsmanagements in Verbindung mit dezentralen Stromerzeugungsanlagen und Photovoltaik im Detail untersucht, sowie Vor- und Nachteile unterschiedlicher Lösungsansätze beleuchtet. Der 2024 veröffentlichte Bericht zu diesem Thema (Reactive Power Management with Distributed Energy Resources) [5] gibt einen Überblick über das Blindleistungsmanagement im Zusammenhang mit dezentralen erneuerbaren Energien.

Der Schwerpunkt liegt auf einem Überblick über die Blindleistungsregelungen in mehreren IEA PVPS Task 14-Ländern, einschließlich Netzkodizes und Rahmenbedingungen, die die Anforderungen an angeschlossene dezentrale Energiequellen für die Blindleistungsregelung bestimmen. Im Rahmen einer umfassenden Übersicht wurden unterschiedliche Regulierungsansätze und beispielhafte Strategien zur Bewältigung der komplexen Herausforderungen in den Task 14 Ländern untersucht, die sich aus der Integration von dezentralen Ressourcen, insbesondere Photovoltaikanlagen, ergeben.

Darüber hinaus erörtert der Task 14 Bericht das Potenzial zur Unterstützung der Blindleistungsregelung mit Hilfe von dezentralen Erzeugungsanlagen anhand der Ergebnisse von Forschungs- und Demonstrationsprojekten aus den Task 14 Ländern.

Empfehlungen

Die Standardisierung dezentraler Lösungen für ein effektives Blindleistungsmanagement ist entscheidend für die breite, systemweite Nutzung und Anwendung der Funktionen in Verbindung mit erneuerbaren Energien. Daher spielen Blindleistungsregelungen eine grundlegende Rolle bei der Gestaltung des Stromnetzbetriebs in einem zukünftigen auf 100% erneuerbaren Energien basierenden Szenario.

Eine Besonderheit der Photovoltaik stellt dabei die typischerweise große Anzahl kleiner Anlagen dar, die eine Harmonisierung und Standardisierung unabdingbar macht. Dies ist die Voraussetzung dafür, dass Netzbetreiber die entsprechenden Steuerungsfunktionen effizient einbeziehen, und die Möglichkeiten, die diese Flexibilität mit sich bringt, nutzen können. Demgegenüber kann bei größeren Anlagen oft eine Einbindung in ein zentrales Blindleistungsmanagement vorteilhaft sein.

Es lassen sich somit mehrere Erfordernisse für die Weiterentwicklung des Blindleistungsmanagements im Rahmen des Übergangs hin zu einem zu 100% auf Erneuerbaren Energien basierenden Stromversorgungssystem aufzeigen:

- Ein effektives Blindleistungsmanagement durch dezentrale Erzeugungsanlagen ist ein entscheidender Aspekt des zukünftigen Netzbetriebs, vor allem für die Aufrechterhaltung der Spannung und die Gewährleistung der Netzstabilität.
- Blindleistungsregelung spielen eine fundamentale Rolle bei der Gestaltung des Stromnetzbetriebs bei zunehmender Integration erneuerbarer Energien.

- Die Standardisierung dezentraler Lösungen für ein effektives Blindleistungsmanagement ist entscheidend für die systemweite Nutzung und Anwendung.

Um den kosteneffizienten Betrieb der Stromnetze auch in Zukunft zu gewährleisten, müssen die rechtlichen Rahmenbedingungen für das Blindleistungsmanagement den zukünftigen Anforderungen an die sich entwickelnde Situation, angepasst werden. Dazu ist insbesondere eine verstärkte Zusammenarbeit zwischen Übertragungs- und Verteilnetzbetreibern notwendig, um ein effektiveres Blindleistungsmanagement zu ermöglichen. Nicht zuletzt sollten auch die Möglichkeiten zur Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien genutzt werden, um die Koordination zwischen ÜNB und VNB beim Blindleistungsmanagement zu verbessern.

5.3.6 Frequenzbezogene Netzdienstleistungen durch PV-Systeme [6]

Hintergrund

In einem auf 100% Erneuerbaren basierenden Stromversorgungssystem wird der Anteil konventioneller Kraftwerke mit rotierenden Generatoren stark zurückgehen, was die Art und Weise des Netzbetriebs grundlegend verändern wird. Im heutigen Stromsystem besteht ein direkter Zusammenhang zwischen Netzfrequenz und Wirkleistungsbilanz. Um die Netzfrequenz in solchen Stromversorgungssystemen stabil zu halten, ist es zwingend erforderlich, zu jedem Zeitpunkt eine ausgeglichene elektrische Wirkleistungsbilanz im gesamten Versorgungsgebiet sicherzustellen.

In diesem zukünftigen Szenario müssen Photovoltaikanlagen sowie andere wechselrichtergekoppelte Generatoren und Speichersysteme netzstützende Aufgaben von konventionellen Kraftwerken übernehmen, um einen sicheren und stabilen Betrieb der elektrischen Energiesysteme zu jeder Zeit zu ermöglichen. Die zentrale Aufgabe dieser Funktionen bestehen darin, die Spannung und Frequenz des Stromnetzes nicht nur im Normalbetrieb, sondern auch bei Systemstörungen in den zulässigen Bereichen zu halten.

Ergebnisse der Arbeiten im Task 14

Im Rahmen des Task 14 Subtasks B (Planung und Betrieb von Stromversorgungssystemen mit Photovoltaik) wurden dazu die aktuellen Anforderungen an die Frequenzregelung in ausgewählten Task 14 Ländern zusammengetragen und Unterschiede sowie Zugänge dokumentiert. Die im 2024 veröffentlichten Bericht „Provision of frequency related services from PV systems“ (Bereitstellung von frequenzbezogenen Dienstleistungen aus PV-Anlagen) [6] dokumentierten Arbeiten fokussierten sich dabei insbesondere auf frequenzbezogene Dienstleistungen in Verbindung mit dezentralen Stromerzeugungsanlagen, Photovoltaik- und Batteriespeicher-Systemen. Weiters wurden im Rahmen der Aktivitäten auch ausgewählte, aktuelle Forschungs- und Demonstrationsprojekte zu diesem Thema analysiert und deren Ergebnisse und Schlussfolgerungen zusammengefasst.

Die Erfahrungen aus den ausgewählten Projekten zeigen deutlich, dass Photovoltaiksysteme – allein oder insbesondere in Kombination mit Batteriespeicher-Systemen – bereits heute technisch in der Lage sind, verschiedene Arten von frequenzbezogenen Netzdienstleistungen zu erbringen:

- So müssen Photovoltaikanlagen in vielen Ländern bereits seit langem ihre Wirkleistungserzeugung im Falle von Überfrequenzsituationen bei Überschreitung bestimmter Schwellwerte reduzieren.
- In Kombination mit Batteriespeichersystemen wird von ihnen in verschiedenen Ländern außerdem verlangt, ihre Wirkleistungsabgabe bei Unterfrequenz aktiv zu erhöhen.
- Die möglichen Reaktionszeiten von Photovoltaikanlagen und Batteriespeichersystemen sind durch die Wechselrichtertechnologie im Vergleich zu rotierenden Erzeugungseinheiten deutlich kürzer. Diese kurzen Reaktionszeiten ermöglichen es somit auch weitere schnellere Frequenzeregelfunktionen (wie beispielsweise Fast Frequency Response) bereitzustellen.
- Die von rotierenden, synchronen Erzeugungseinheiten bereitgestellte Schwungmasse ist für die Frequenzstabilisierung in Stromsystemen von großer Bedeutung. Die Projekterfahrungen zeigen dabei, dass die Nachbildung eines vergleichbaren Verhaltens mit Wechselrichtern in Photovoltaik- und Speichersystemen (Synthetische Schwungmasse) zuverlässig möglich ist und damit zukünftig eine zentrale Funktion sein wird.

Die Bereitstellung zusätzlicher, schneller Frequenzdienstleistungen durch PV-Anlagen (mit oder ohne Batterien) wird in naher Zukunft eine zentrale Voraussetzung werden, insbesondere in Versorgungsgebieten, die von wechselrichter-gekoppelten Generatoren dominiert werden.

Empfehlungen

Zusammenfassend können aus den Arbeiten folgende Empfehlungen abgeleitet werden:

- Die Bereitstellung umfassender Frequenzdienstleistungen durch PV-Anlagen (sowohl mit also auch ohne lokalen Speichersystemen) wird in Zukunft von zentraler Bedeutung sein, insbesondere in Versorgungsgebieten, die von wechselrichter-gekoppelten Generatoren dominiert sind.
- Klar definierte Anforderungen in den Netzanschlussrichtlinien sowie harmonisierte Prüfverfahren sind dabei ein Schlüssel für die Sicherstellung der Bereitstellung frequenzbezogener Dienstleistungen.
- Erweiterte Frequenzdienstleistungen sind derzeit of nur eine obligatorische Anforderung für sehr große Photovoltaikanlagen, die an Hoch- oder Höchstspannungsnetze angeschlossen sind. Aufgrund der wachsenden Relevanz dezentraler Anlagen wird es zukünftig erforderlich sein, diese Anforderungen auch auf diesen Bereich auszuweiten.

Die Ergebnisse der Fallstudien, Forschungs- und Demonstrationsprojekte zeigen anschaulich die Möglichkeiten zur Bereitstellung von frequenzbezogenen Netzdienstleistungen durch dezentrale Photovoltaiksysteme. In Bezug auf die umfassenden erweiterten Möglichkeiten für die Implementierung dieser frequenzbezogenen Dienstleistungen, die mit netzbildenden Wechselrichtern (GFI)

einhergehen werden jedoch noch weitere Forschungsarbeiten erforderlich sein, bevor diese breit ausgerollt und umgesetzt werden können.

5.4 Übersicht der Publikationen

5.4.1 Task Berichte

Im Rahmen der Phase III bzw. der Projektlaufzeit des vorliegenden Projekts entstanden unter Mitwirkung der österreichischen Projekt-Teilnehmer:innen bzw. der Verantwortung Österreichs als Task Manager insgesamt 7 offizielle Task 14 Berichte, die im Folgenden präsentiert und kurz zusammengefasst werden:

Titel (original/deutsch):

„Data Model for PV Systems – Data Model and Data Acquisition for PV registration schemes and grid connection – Best Practice and Recommendations“

(Datenmodell für PV-Anlagen - Datenmodell und Datenerfassung für PV-Registrierungssysteme und Netzanschluss - Best Practice und Empfehlungen)

Report IEA-PVPS T1/T14-01:2020, 2020. ISBN: 978-3-906042-98-5

Autor:innen (fett: österreichische Projekt-Teilnehmer:innen)

Christof Bucher, Gaetan Masson, Giovanna Adinolfi, Ricardo Guerrero-Lemus, K.H.B. Frederiksen, Gerd Heilscher, Naomi Stringer, N. Haghdadi, **Roland Bruendlinger**, Yuzuru Ueda, Giorgio Graditi, Barry Mather, Hubert Fechner, W. Johnston, G. Neubourg, P. Ahm, G. Altenhöfer-Pflaum, F. Tilli, P. Hüsser, J. Ahola, K.K. Sen, T. Choi

Synopsis:

Daten über installierte PV-Anlagen und deren Charakteristika sind für eine Reihe von Anwendungsfällen und beteiligten Stakeholdern von großer Bedeutung. Der im Rahmen einer Zusammenarbeit zwischen den PVPS Tasks 1 und 14 erstellte Bericht gibt eine Übersicht über die verschiedenen Anwendungsgebiete von PV Daten und präsentiert die aktuelle Praxis in PVPS Mitgliedsländern zu ihrer Erfassung und Anwendung. Auf Basis der Erfahrungen werden umfassende Empfehlungen für die Implementierung eines Modells zur Datenerfassung gegeben.

Titel (original/deutsch):

„Communication and Control for High PV Penetration under Smart Grid Environment - Overview on Control Strategies and Communications Technologies“

(Kommunikation und Steuerung für eine hohe PV-Durchdringung unter Smart Grid-Umgebung - Überblick über Steuerungsstrategien und Kommunikationstechnologien“)

Report IEA-PVPS T14-12:2020, 2020. ISBN: 978-3-907281-00-0

Autoren (fett: österreichische Projekt-Teilnehmer:innen)

Gerd Heilscher, Thomas Reindl, Y. Zhan, Basem Idlbi, Kenn H. B. Frederiksen, Markus Kraiczy, Martin Braun, Falko Ebe, Shuo Chen, Christoph Kondzialka, Ricardo Guerrero Lemus, Christof Bucher, Tom Key, **Roland Bründlinger**

Synopsis:

Der Bericht präsentiert die aktuelle Praxis für Kommunikation und Steuerung dezentraler PV Anlagen in einer Reihe von Ländern und präsentiert Modelle für die Architektur von Kommunikations- und Steuerungssystemen, mit denen verteilte PV-Anlagen in eine zukünftige Smart-Grid-Umgebung integriert werden können. Die Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz von entsprechenden Systemen sowie das Bewusstsein für die Notwendigkeit der Kommunikation und Steuerung von netzgekoppelten PV-Solaranlagen stetig zunimmt, wobei die Potentiale und Möglichkeiten derzeit jedoch noch bei Weitem nicht ausgeschöpft werden.

Titel (original/deutsch):

„Best practices for high penetration PV in insular power systems“

(Bewährte Praktiken für eine hohe PV-Durchdringung in Inselstromsystemen)

Report IEA-PVPS T14-13:2021, ISBN: 978-3-907281-20-

Autoren (fett: österreichische Projekt-Teilnehmer:innen)

Ricardo Guerrero-Lemus, Kenn H. B. Frederiksen, Lionel Perret, Iain MacGill, Yuzuru Ueda, Gunter Arnold, Les. E. Shephard, Julieta Giraldez, Andy Hoke, Brad W. Rockwell, Dale Philip

Synopsis:

Dieser Bericht fasst internationale Erfahrungen mit der Integration von Photovoltaik in Inselversorgungssystemen zusammen und präsentiert Best Practices für die Transformation dieser Systeme hin zu 100% Erneuerbaren Energien.

Titel (original/deutsch):

„PV as an ancillary service provider“

(PV als Anbieter von Netzdienstleistungen)

Report IEA-PVPS T14-14:2021, 2021. ISBN: 978-3-907281-24-6

Autoren (fett: österreichische Projekt-Teilnehmer:innen)

Markus Kraiczy, **Roland Bründlinger**, Brij Lal, Ian McGill, Stefan Siegl, Jonathan Schütt, Christof Bucher, Gerd Heilscher, Shuo Chen, Christoph Kondzialka, Falko Ebe, Heiko Lorenz, Jeromie Morris, Basem Idlbi, Polichronis Muratidis, Holger Ruf, David Langer, Marine Cauz, Lionel Perret, Sebastian Wende-von Berg, Andreas Knobloch, Daniel Premm, Ricardo Guerrero Lemus, Gunter Arnold, Giorgio Graditi, Giovanna Adinolfi, Tom Key, Kenn H. B. Frederiksen, Yuzuru Ueda, Arnulf Jäger-Waldau, Martin Braun, Denis Mende:

Synopsis:

Dieser Bericht präsentiert internationale Erfahrungen mit der Lieferung von Systemdienstleistungen durch Photovoltaikanlagen und gibt Empfehlungen für deren Bereitstellung in Stromversorgungssystemen auf Basis 100% Erneuerbarer Energien.

Titel (original/deutsch):

„Active Power Management of Photovoltaic Systems – State of the Art and Technical Solutions“
(Leistungsmanagement von Photovoltaiksystemen – Stand der Technik und Lösungen)

Report IEA-PVPS T14-15:2024, 2024. ISBN: 978-3-907281-46-8.

Autoren (fett: österreichische Projekt-Teilnehmer:innen)

Christof Bucher, Shuo Chen, Giovanna Adinolfi, Ricardo Guerrero-Lemus, Yuka Ogasawara, Gerd Heilscher, Ian McGill, M.Said El Hamaoui, Christoph Kondzialka, Denis Mende, Jan Wiemer, Roland Bruendlinger, A. Ghennioui, M. Said Elhamaoui, K. Ogimoto, Eitaro Omine, Yuzuru Ueda, Jan Remund, A. Benazzouz, Giorgio Graditi, Tom Key:

Synopsis:

In diesem Task Bericht werden verschiedene Methoden zum aktiven Management der PV-Leistung und ihre Anwendung im elektrischen Energieversorgungssystem erörtert. Unterschiedliche Lösungen, die in den PVPS Ländern verwendet werden, sowie die geltenden Normen werden vorgestellt.

Titel (original/deutsch):

„Reactive Power Management with Distributed Energy Resources“
(Blindleistungsmanagement mit verteilten Energieressourcen)

Report IEA-PVPS T14-16:2024, 2024. ISBN: 978-3-907281-51-2.

Autoren (fett: österreichische Projekt-Teilnehmer:innen)

Abdullah Altayara, Denis Mende, Christof Bucher, Yuka Ogasawara, Eitaro Omine, Yuzuru Ueda, **Roland Bründlinger**, Giovanna Adinolfi, Giorgio Graditi, David Sebastian Stock, Markus Kraiczy, Hanan Wang, Gerd Heilscher

Synopsis:

Blindleistungsmanagement ist ein wesentlicher Faktor für die Gewährleistung der Netzstabilität und Spannungsqualität. Der Bericht präsentiert dazu Fallstudien und aktuelle Erkenntnisse aus PVPS Ländern.

Titel (original/deutsch):

„Provision of frequency related services from PV systems“

(Bereitstellung von frequenzbezogenen Dienstleistungen aus PV-Anlagen)

Report IEA-PVPS T14-17:2024.

Autor:innen (fett: österreichische Projekt-Teilnehmer:innen)

Gunter Arnold, **Adolfo Anta**, **Perter Jonke**, **Roland Bründlinger**, Siddhi Shrikant Kulkarni, Nils Schäfer, Giovanna Adinolfi, Giorgio Graditi, Yuzuru Ueda, Yuka Ogasawara, Eitaro Omine:

Synopsis:

Dieser Bericht des IEA PVPS Task 14 befasst sich mit dem Potenzial von dezentralen Photovoltaik- und Photovoltaik-Hybridsystemen für die Bereitstellung von frequenzbezogenen Netzdienstleistungen. Die Erkenntnisse unterstreichen die wachsende Bedeutung erneuerbarer Energien für die Aufrechterhaltung stabiler und sicherer elektrischer Energiesysteme, da die Abhängigkeit von konventionellen, mit fossilen Brennstoffen betriebenen Kraftwerken abnimmt.

5.4.2 Wissenschaftliche Publikationen und Vorträge (Auswahl)

Neben den offiziellen IEA-PVPS Task Berichten wurden im Rahmen des Projekts auch Beiträge zu weiteren Publikationen geliefert bzw. Präsentationen erstellt. Im Folgenden wird eine Auswahl dieser Publikationen chronologisch aufgelistet:

- [1] A. Jäger-Waldau, **Christoph Mayr et al.**, "Electricity produced from photovoltaic systems in apartment buildings and self-consumption: Comparison of the situation in various IEA PVPS countries," *2019 IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, Chicago, IL, USA, 2019, pp. 1701-1710, doi: 10.1109/PVSC40753.2019.8980484.
- [2] **Roland Bründlinger** "An Overview of Global Grid Codes for the Integration of High Penetration of Solar PV systems", PVSEC29, Xi'an, China, November 2019
- [3] **Roland Bründlinger**, Markus Kraicz, Alexander Scheidler, „Advanced Inverter Functions and Hosting Capacity – Recent Development in Europe“, IEEE Power & Energy Society Meeting 2020, Online, 2020.
- [4] Markus Kraicz, Stefan Siegl, Jonathan Schütt, Gunter Arnold, Sebastian Wende-von Berg, Denis Mende, Martin Braun, Brij Lal, Ian McGill, **Roland Bründlinger**, Marine Cauz, Lionel Perret, Andreas Knobloch, Daniel Premm, Arnulf Jäger-Waldau, Gerd Heilscher, Shuo Chen, Ricardo Guerrero Lemus, Christof Bucher, Giovanna Adinolfi, Giorgio Graditi: „PV as an ancillary service provider – Laboratory and field experiences from IEA PVPS countries“, 11. Solar & Storage Integration Workshop, Berlin, 2021.
- [5] **Roland Bründlinger**: "Overview on the current DER Integration in Europe", NEDO/IEA PVPS Task14 Workshop about DER integration": 1 November 2022, Tokyo, Japan
- [6] **Roland Bründlinger**: „Netzintegration von dezentralen Erneuerbaren, Herausforderungen und Erfahrungen“, IMH Energietage: Netze der Zukunft, November 2022, Wien
- [7] Abdullah Altayara, Denis Mende, Haonan Wang, David Sebastian Stock, Markus Kraicz, Christof Bucher, Giovanna Adinolfi, Giorgio Graditi, **Roland Bründlinger**, Yuka Ogasawara, Eitaro Omine, Yuzuru Ueda, Gerd Heilscher, Shuo Chen: "Reactive Power Management with Decentralized Renewable Energy Sources", 22. Wind and Solar Integration Workshop, Kopenhagen, 2023. <https://doi.org/10.1049/icp.2023.2788>.
- [8] Jason Taylor, Jouni Peppanen, Josh Snodgrass, Denis Mende, **Thomas Strasser**, Mark McGnaghan, Daniel Fonseca, Shengen Chen, Markus Kraicz, A. Baitch: "Distributed Energy Resource Benchmark Models for Quasi-Static Time-Series Power Flow Simulations", Cigré WG C6.36 „Active distribution systems and distributed energy resources“, Technical Brochure 906, 2023. ISBN: 978-2-85873-611-9.

6 Vernetzung und Ergebnistransfer

Im Rahmen des Projektes erfolgten Vernetzung und Ergebnistransfer auf nationaler wie auch auf internationaler Ebene unter Einbeziehung der relevanten Stakeholder: Betreiber von Stromnetzen und Anlagen, Hersteller von Systemkomponenten für Photovoltaikanlagen, insbesondere Wechselrichter, Normungs- und Standardisierungsgremien und nicht zuletzt der Forschung.

Auf internationaler Ebene erfolgte die Vernetzung insbesondere im Rahmen der operativen Rolle Österreichs als einem der beiden offiziellen Task Manager. Dies umfasste unter anderem die Organisation und Leitung sämtlicher offizieller Task 14 Expert:innentreffen, sowie die strategische Planung, Koordination und Unterstützung der Verbreitungs- und Vernetzungsaktivitäten im Rahmen des Task 14 Arbeitsprogramms. Die Treffen des IEA-PVPS Executive Committees, an denen der österreichische Task Manager im Rahmen des Projekts teilgenommen hat, wurden weiters genutzt, um auch mit internationalen Stakeholdern aus dem Policy-Bereich Erfahrungen auszutauschen und damit den Task 14 als wichtiges Netzwerk im Bereich Photovoltaik und Netzintegration zu positionieren.

Neben den Aktivitäten in der Rolle als Task Manager wurden von den österreichischen Projekt-Teilnehmer:innen auch Aktivitäten rund um die Verbreitung von Informationen und den Wissensaustausch auf internationaler Ebene aktiv unterstützt: Hervorzuheben dabei sind vor allem die österreichischen Beiträge zu internationalen Veranstaltungen, Workshops, Konferenzsessions sowie Podiumsdiskussionen. Durch Vorträge und Präsentationen im Rahmen von Fachkonferenzen, bei denen VertreterInnen der für den Task 14 relevanten Zielgruppen präsent waren, unterstützten die österreichischen Task 14 Expert:innen dabei die zielgruppenorientierte Verbreitung der Ergebnisse.

Durch die Präsenz auf internationaler Ebene konnten darüber hinaus auch neue Kontakte zu relevanten Stakeholdern geknüpft und das internationale Netzwerk der österreichischen Projekt-Teilnehmer:innen erweitert werden. Aus österreichischer Sicht stand dabei insbesondere die Positionierung als Kompetenzträger und Forschungspartner im Bereich Photovoltaik Netzintegration im Mittelpunkt, die dank des vorliegenden Projekts auch erfolgreich umgesetzt werden konnte.

Neben der internationalen Vernetzung und dem Wissensaustausch bildete im Rahmen des IEA-Kooperationsprojekts auch die nationale Vernetzung und der Transfer von Erfahrungen und Wissen nach Österreich einen wichtigen Teil der österreichischen Partizipation am IEA-PVPS Task 14.

Diese Tätigkeiten erfolgten unter anderem durch die Einbringung der Erkenntnisse aus dem internationalen Vorhaben in laufende wie auch in Vorbereitung befindliche Forschungs- und Entwicklungsprojekte auf nationaler Ebene mit Beteiligung des Austrian Institute of Technology. In Bezug

auf den F&E Bereich wurden in Abstimmung mit den VertreterInnen der nationalen Technologieplattformen für Photovoltaik (TPPV) und Smart Grids (Smart Grids Austria) auch relevante Ergebnisse präsentiert und Erfahrungen ausgetauscht.

Die auf internationaler Ebene gewonnenen Erkenntnisse in Bezug auf die Themen der Photovoltaik Netzintegration flossen dabei einerseits in nationale Projekte mit Beteiligung des AIT ein. Andererseits wurden im Rahmen des Projekts auch Ergebnisse der nationalen Forschungsaktivitäten für die Präsentation auf internationaler Ebene aufbereitet, womit die nationalen Projekte international erfolgreich positioniert werden konnten.

Ergebnisse aus dem internationalen Projektvorhaben wurden als Teil des Kooperationsprojekts auch auf nationalen Veranstaltungen und Konferenzen präsentiert und in diesem Rahmen mit Expert:innen aus verschiedenen Bereichen diskutiert.

Im Rahmen der bestehenden Kontakte zu VertreterInnen aus den Bereichen Netzbetrieb, Netzplanung und Verbänden erfolgte während der Projektlaufzeit ein laufender bilateraler Austausch, um internationale Trends und Entwicklungen aus dem IEA Task zu kommunizieren und deren Relevanz für Österreich zu diskutieren. Konkret umfasste der Austausch unter anderem folgende Stakeholder:

- Netzbetreiber (Verband Österreichs Energie)
- Interessensverbände (insbesondere PV Austria)
- Komponentenherstellern
- Nationale Standardisierungsgremien

Erfahrungen, die als Teil der internationalen Zusammenarbeit gewonnen wurden, flossen darüber hinaus auch in die Arbeit der Gremien der nationalen Standardisierung (ÖVE) ein.

Aus österreichischer Sicht konnte dank des Projekts ein umfassender Mehrwert für die nationale Forschung und Entwicklung im Bereich Photovoltaik und Netzintegration erreicht werden:

- Direkter Zugang zu aktuellen Ergebnissen und Erfahrungen aus anderen Ländern sowie führender internationaler Forschungseinrichtungen. Dies unterstützt in weiterer Folge u.a. die nationalen Ziele bei der Integration von Photovoltaik in die Elektrizitätsnetze effizienter erreichen zu können.
- Internationale Harmonisierung rund um die Entwicklung innovativer Konzepte und Lösungsansätze für die Photovoltaik Netzintegration in Hinblick auf ein zukünftiges, auf 100% Erneuerbarer Energien basierendes Stromversorgungssystem in Österreich.
- Umfassender Wissensaustausch zwischen Österreich und der internationalen Forschungscommunity, wodurch Erkenntnisse in die laufenden und geplanten Projektvorhaben in Österreich eingebracht werden konnten bzw. die zukünftige strategische Entwicklung des Themas unterstützen.

Im Rahmen der internationalen Forschungskooperation im IEA-PVPS in der Arbeitsperiode 2018 bis 2024 entstanden eine Reihe von Veröffentlichungen gemeinsam mit renommierten internationalen Partnern. Diese trugen wesentlich zur erfolgreichen internationalen Positionierung der österreichischen Forschung im Bereich Photovoltaik-Netzintegration bei. Damit wurde die Zusammenarbeit mit Partnern auch außerhalb des PVPS Programms unterstützt und die Vernetzung Österreichs in der internationalen Forschungscommunity vorangetrieben.

Die Forschungskooperation im Rahmen des IEA-PVPS Programms und die österreichische Rolle als Task Manager des Task 14 sicherte damit die Sichtbarkeit und die internationale Vernetzung der nationalen Forschung rund um das Thema Netzintegration von Photovoltaik.

Nicht zuletzt aufgrund der globalen Relevanz von Photovoltaik und den unterschiedlichen Erfahrungen und Ansätzen rund um das Thema Netzintegration, die in den einzelnen Ländern verfolgt werden, war der internationale Erfahrungsaustausch im Rahmen des IEA-PVPS Task 14 eine einzigartige Möglichkeit, von Ländern außerhalb Europas zu lernen und auf Basis dieses Wissens die Forschung, Entwicklung und Implementierung der Technologie effizienter umzusetzen.

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

7.1 Schlussfolgerungen aus dem Projekt

Der IEA-PVPS Task 14 wurde 2010 unter österreichischer Beteiligung gestartet, wobei Expert:innen des AIT Austrian Institute of Technology von Beginn als Task Manager (früher Operating Agents) eine führende, koordinierende Rolle im Rahmen der internationalen Forschungskooperation übernahmen. Auch in der dritten Arbeitsperiode des internationalen Tasks und dem Titel „Photovoltaik in einer 100% Erneuerbaren Stromversorgung“ konnte der IEA-PVPS Task 14 seine Funktion als globales Forum für den Austausch von Erfahrungen zur nachhaltigen Integration der Photovoltaik in ein zukünftiges Stromversorgungssystem etablieren.

Damit konnte einerseits die Vernetzung der österreichischen Forschungsaktivitäten und Expert:innen auf internationaler Ebene weiter ausgebaut und darüber hinaus der Zugang zu einem weltweiten Netzwerk im Themenbereich Photovoltaik Netzintegration geschaffen werden. Der internationale Erfahrungsaustausch im Rahmen globaler Netzwerke wie dem IEA-PVPS Programm ist dabei eine einzigartige Möglichkeit, von internationalen Erfahrungen zu profitieren und gleichzeitig Österreich und speziell AIT international als führenden Kompetenzträger im Bereich der Netzintegration von Photovoltaik zu positionieren.

In Hinblick auf die zukünftigen Entwicklungen rund um die Netzintegration von Photovoltaik können zum Abschluss des IEA-PVPS Task 14 anhand der vor Projektbeginn identifizierten Trends (siehe dazu auch Abschnitt 4.3) folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Trend 1: Übergang zu einem von erneuerbaren, dargebotsabhängigen Energieerzeugung dominiertem Stromversorgungssystem

Dieser Trend bildete die Basis für das Arbeitsprogramm in der Phase III der Forschungskooperation auf internationaler Ebene. Dementsprechend wurden in den technischen Reports (siehe 5.4.1) nicht nur Photovoltaik-spezifische Aspekte betrachtet, sondern sämtliche Technologien in die Betrachtungen einbezogen, um so die Integration von Erneuerbaren als Gesamtheit voranzutreiben.

Diese gesamtheitliche Betrachtung zeigt sich unter anderem in den Arbeiten rund um das Wirk- und Blindleistungsmanagement ([5][4]) in zukünftigen Netzen. Darüber hinaus wurden z.B. in den Berichten zum Thema „Bereitstellung von Netzdienstleistungen aus dezentralen Anlagen“ ([3], [6]) im Detail die erweiterten Möglichkeiten zur Bereitstellung dieser Services in Verbindung mit lokalen Speichersystemen, auch im Rahmen von konkreten Fallstudien, beleuchtet.

Zusammenfassend betrachtet zeigen die Ergebnisse der Arbeiten und im Speziellen die Erfahrung aus internationalen Fallstudien, dass bereits heute die technologischen Voraussetzungen für den Betrieb eines zu 100% auf Erneuerbaren basierenden Stromversorgungssystems gegeben sind. Die wesentliche Herausforderung – eine zentrale Schlussfolgerung aus der Betrachtung unterschiedlicher Aspekte der Thematik – liegt jedoch in der Gestaltung der regulatorischen Rahmenbedingungen und technischen Anforderungen, die neben der Technologie, eine Voraussetzung für die Umsetzung in die Praxis und somit das Erreichen der festgelegten Ziele darstellen.

Trend 2: Sicherung der Systemstabilität in umrichterdominierten Stromnetzen

Mit dem Ausbau erneuerbarer und dem gleichzeitigen Rückbau konventioneller Kraftwerkskapazitäten reduziert sich zunehmend der Anteil rotierender Generatoren und damit der „Schwungmasse“, welche wesentlich zur Systemstabilität im Stromnetz beiträgt. Gleichzeitig ist auch auf der Lastseite ein Trend zur Anbindung über Stromrichter zu beobachten. Damit diese Systemstabilität auch zukünftig gewährleistet werden kann, müssen Photovoltaik- und Windanlagen sowie Anlagen in Verbindung mit Speichersystemen frequenzstützende Netzdienstleistungen übernehmen, um jederzeit einen sicheren und stabilen Betrieb der elektrischen Energiesysteme zu ermöglichen.

Im Rahmen der Arbeiten im Task 14 wurden in der Phase III der Forschungskooperation auf internationaler Ebene die Weiterentwicklung der Netzanschlussrichtlinien und Nachweisverfahren in verschiedenen Ländern begleitet. Dabei zeigt sich vor allem seit 2021 ein sich beschleunigender Trend zur Festlegung von entsprechenden technischen Anforderungen in den jeweiligen Netzanschlussrichtlinien, wie z.B. den Europäischen Netzkodizes (European Network Codes). Die zentrale Komponente in Photovoltaik- und auch Wind- oder Speichersystemen sind dabei die Umrichter, über die diese Funktionen bereitgestellt werden. Dabei werden zukünftig „netzbildende“ Umrichtertechnologien eine wesentliche Rolle spielen. Im Projektzeitraum wurden bereits in einer Reihe von Ländern diese Technologien im Rahmen von Forschungs- und Demonstrationsprojekten weiterentwickelt und auf ihre Praxistauglichkeit getestet. An einer Reihe dieser Projekte waren sowohl die österreichischen wie auch die internationalen Projekt-Teilnehmer:innen direkt beteiligt, womit deren Erfahrungen auch die Arbeiten des Task 14 direkt einfließen. Der aktuelle Stand der Technik, Ergebnisse von F&E Projekten sowie Empfehlungen sind im aktuellen IEA-PVPS-T14 Bericht [6] dokumentiert.

Auch in diesem Bereich zeigen die Ergebnisse, dass bereits heute die Technologie vorhanden ist, um auch in Zukunft die Netzstabilität in einem umrichterdominierten System gewährleistet werden kann. Die zentrale Herausforderung wird aber, wie bereits zuvor erwähnt, die detaillierte Definition der entsprechenden technischen Anforderungen sowie die Koordination zwischen Umrichterbasierter Erzeugung und konventionellen Kraftwerken darstellen.

Trend 3: Wachsende Bedeutung intelligenter Netze (Smart Grid)

Die Planung und der Betrieb von Verteilernetzen basierte bisher auf einer bekannten Lastcharakteristik, die durch synthetischen Lastprofile beschrieben wird. Die Auslastung der Verteilernetze war dabei üblicherweise so gering, dass keine Informationen über die tatsächliche Netzbelastung erforderlich waren. Mit der massiv wachsenden Anzahl und Kapazität von verteilten Stromerzeugungsanlagen, die an die Verteilernetze angeschlossen werden, verändert sich die Belastung grundlegend und der zuvor unidirektionale Leistungsfluss wird bidirektional. In vielen Netzabschnitten hat bereits die installierte Leistung die Kapazitätsgrenze erreicht und stellt somit ein Hemmnis für den weiteren Ausbau Erneuerbarer Energien und die Erreichung der Ziele einer 100% erneuerbaren Stromversorgung dar.

Um den weiteren Ausbau von Erneuerbaren auf der Ebene der Verteilernetze zu ermöglichen – das zeigen die Arbeiten im Task 14 deutlich – bestehen damit zwei Möglichkeiten, Erhöhung der Aufnahmekapazität durch Ausbau und Verstärkung der Netzinfrastruktur sowie die verbesserte Ausnutzung der bestehenden Infrastruktur durch Digitalisierung der Infrastruktur mit Smart-Grid-Technologien und Aktivierung der sektorübergreifenden Energieoptimierung auf lokaler Ebene. Um dies zu erreichen, benötigen Verteilernetze detaillierte Informationen über den Zustand des Netzes sowie der angeschlossenen Verbrauchs- und Erzeugungseinrichtungen. Die Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien ist dabei entscheidend, um den Informationsaustausch zwischen Netzbetreibern und Netzbenutzern zu ermöglichen.

Die Arbeiten im Task 14, die im Bericht „Communication and Control for High PV Penetration under Smart Grid Environment“ zusammengefasst sind, beschreiben dazu einen Pfad hin zu einem zukünftigen Stromversorgungssystem, in dem Smart-Grid-Technologien breit eingesetzt werden. Dieses wird dann nicht mehr nur wie ein traditionelles, physikalisches System organisiert sein, sondern vielmehr in Form eines cyber-physikalischen Systems.

Die wachsende Zahl von Erzeugern in den Verteilernetzen bringt neben technischer Herausforderungen auch einen wachsenden administrativen Aufwand mit sich. Insbesondere in Hinblick auf ein zukünftiges Szenario eines Smart Grid bekommt damit die effiziente Registrierung sowie das Datenmanagement rund um dezentrale Energiesysteme eine entscheidende Bedeutung. Im Task 14 Bericht „Data Model for PV Systems“ [7] wurden dazu die Umsetzungen nationaler Registrierungsvorgaben in 13 Ländern verglichen und Empfehlungen für eine erfolgreiche Implementierung ausgearbeitet.

Eine der zentralen Schlussfolgerungen aus dem Task 14 stellt damit die Bedeutung des internationalen Austauschs von Erfahrungen dar, der es ermöglicht die unterschiedlichen Lösungsansätze in den verschiedenen Ländern zu vergleichen und auch länderübergreifende Standards und eine Harmonisierung der Rahmenbedingungen zu erreichen.

Trend 4: Integrierte Betrachtung des Übertragungs- und Verteilsystems

Mit der zunehmenden Systemrelevanz und der zunehmenden Bereitstellung von Markt- und Netzdienstleistungen durch dezentrale Erzeuger und den damit verbundenen verstärkten bidirektionalen Wirk- und Blindleistungsflüssen an der Schnittstelle zwischen Übertragungs- und Verteilnetzen wird die verbesserte Koordination von Übertragungs- und Verteilnetzbetrieb notwendig.

Praktische Erfahrungen aus Forschungs- und Entwicklungsprojekten zu diesem Thema wurden bereits in der Phase II der internationalen Forschungskooperation im Detail beleuchtet. In der Phase III des Task 14 wurde in diesem Zusammenhang der Schwerpunkt auf den Blindleistungsaustausch an der Schnittstelle zwischen Verteiler- und Übertragungsnetzen gelegt. Dabei flossen auch Ergebnisse österreichischer Forschungsaktivitäten ein. Als Teil der gemeinsamen Betrachtung von Übertragungs- und Verteilnetzthemen im Rahmen der Zusammenarbeit mit dem IEA-WIND Task 25 wurde dieses Thema aus Verteilnetz-sicht adressiert und in die aktuell in die kommende Ausgabe des Reports zu „Recommendations for Wind/PV Integration Studies“ eingebracht.

7.2 Ausblick und Empfehlungen

Der globale Wandel der Stromversorgungssysteme hin zu Erneuerbaren Energien stellt auch weiterhin eine große Herausforderung in vielen Aspekten dar. Photovoltaik ist dabei unbestritten ein zentraler Player, dessen erfolgreiche Integration entscheidend für die Erreichung der nationalen Ziele einer zu 100% auf Erneuerbaren basierenden Stromversorgung sein wird.

Die Arbeiten im Task 14 zielten dabei insbesondere darauf ab, die Entwicklung der Photovoltaik als zentrale Technologie in Stromnetzen mit einer hohen Dichte erneuerbarer Energien zu fördern. Primäres Ziel war dabei, technische Barrieren zu überwinden, die mit der Integration von dezentralen Erzeugern verbunden sind. Task 14 arbeitete dazu mit relevanten Stakeholdern zusammen, um Technologien und Methoden für den flächendeckenden Einsatz von dezentraler, netzgekoppelter Photovoltaik voranzutreiben.

Mit dem massiven Ausbau der Photovoltaik in den letzten Jahren und dem Aufkommen neuer Technologien, insbesondere im Bereich Speichersysteme, elektrischer Fahrzeuge, der zunehmenden Elektrifizierung und Vernetzung sämtlicher Systeme und Komponenten durch fortschrittliche Kommunikationstechnologien hat sich die Landschaft weiter grundlegend verändert. Intelligente Stromnetze (Smart Grids) werden dabei zukünftig eine entscheidende Rolle spielen.

Vor diesem Hintergrund hat sich der von einem Team rund um die Expert:innen aus dem Task 14 Netzwerk initiierte IEA-PVPS Task 19 das Ziel gesetzt, durch internationale Zusammenarbeit Hindernisse zu identifizieren und den erforderlichen Paradigmenwechsel in den globalen Stromversorgungssystemen zu unterstützen. Die im Task 14 gewonnenen Erkenntnisse bilden dabei die Grundlage.

Im Rahmen einer Reihe von Workshops mit externen Expert:innen aus verschiedenen Sektoren sowie Diskussionen im Kreis der Task 14 Expert:innen wurden die folgenden Schwerpunkte identifiziert, die die Basis für das Arbeitsprogramm des Task 19 bilden werden:

- Entwicklung universeller Lösungen zur Netzintegration auf Basis intelligenter Netze und neuer Technologien
Task 19 wird sich mit der Nutzung von intelligenten Zählerdaten, der Integration von intelligenten Wechselrichtern, der Erforschung von Anwendungen der künstlichen Intelligenz und der Cybersicherheit befassen. Auf technologischer Ebene werden netzbildende Umrichter in Zukunft entscheidend, um die Systemstabilität zu gewährleisten.
- Energiemanagement und Marktintegration von Photovoltaik:
Strategien für das Energiemanagement werden entscheidend für die Integration von PV-Anlagen in den Markt. Auf der Grundlage von Erfahrungen in Vorreiterländern zielt Task 19 darauf ab, effektive Maßnahmen zu entwickeln, die es PV-Anlagen ermöglichen, optimal an den Energiemärkten teilzunehmen.
- Netzdienstleistungen und technische Innovation:
Durch die Zusammenführung von Erfahrungen aus verschiedenen Ländern zielt Task 19 darauf ab, Innovationen im Bereich der Bereitstellung von Netzdienstleistungen durch erneuerbare Energien, speziell dezentraler Photovoltaik zu fördern und damit durch technische Innovationen die Voraussetzungen für den zuverlässigen Betrieb eines umrichterdominierten Stromsystems zu schaffen.

Der IEA-PVPS Task 19 unterstreicht damit die Bedeutung einer globalen Zusammenarbeit auf Basis einer breiten Expertise aus unterschiedlichen Bereichen auf dem Weg.

Die vom IEA-PVPS ExCo Anfang 2024 erfolgte Freigabe für den Task 19 erfolgt dabei an einem entscheidenden Punkt, an dem der Erfolg der Energiewende von der erfolgreichen Systemintegration von Photovoltaik und weiteren erneuerbaren Energietechnologien abhängt.

Österreich, hat mit der geplanten Teilnahme am zukünftigen IEA-PVPS Task 19 die Chance auch weiterhin von den Erkenntnissen aus der internationalen Forschungskooperation zu profitieren und somit Forschung, Entwicklung und Implementierung von Photovoltaik Technologien effizienter umzusetzen.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Am Task 14 beteiligte Länder und Institutionen in der Arbeitsperiode 2019-2024.....	24
Tabelle 2: Übersicht über die im Rahmen von Task 14 organisierten Veranstaltungen, Workshops und Konferenzsessions in der Phase III bzw. im Projektzeitraum 2018-2024	28
Tabelle 3 Übersicht über die in ausgewählten Task 14 Ländern eingesetzten Datenbanken zur Registrierung und Dokumentation von Photovoltaikanlagen (Quelle: [4])	31

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Top 10 Märkte für Photovoltaik weltweit (Quelle: IEA-PVPS Snapshot of Global PV Markets 2024, Report IEA-PVPS T1-42: 2024)	14
Abbildung 2 Geschätzter Anteil der Photovoltaik am nationalen Stromverbrauch in ausgewählten Ländern. (Quelle: IEA-PVPS Snapshot of Global PV Markets 2024, Report IEA-PVPS T1-42: 2024) .	15
Abbildung 3 Überblick über die an IEA-PVPS beteiligten Länder Stand 2024 (Quelle: IEA-PVPS) ...	19
Abbildung 4 Übersicht über die Arbeitsperioden des IEA-PVPS Task 14	20
Abbildung 5 Organisation und Subtasks in der Arbeitsperiode III	22
Abbildung 6 Übersicht über die im Rahmen des IEA-PVPS Task 14 organisierten Workshops und Konferenzsessions	27

Literaturverzeichnis

Websites

- [1] IEA PVPS Website: <http://www.iea-pvps.org>
- [2] IEA PVPS Task 14 Website: <https://iea-pvps.org/research-tasks/solar-pv-in-100-res-power-system/>
- [3] BMK Programmwebsite: [IEA PVPS Task 14: Photovoltaische Solarenergie im 100% Erneuerbaren Stromversorgungssystem \(Arbeitsperiode 2018 - 2024\) - IEA Forschungskooperation \(nachhaltigwirtschaften.at\)](#)

Task 14 Berichte im Projektzeitraum (Arbeitsperiode 2018 bis 2024)

- [1] Gerd Heilscher, Thomas Reindl, Y. Zhan, Basem Idlbi, Kenn H. B. Frederiksen, Markus Kraiczy, Martin Braun, Falko Ebe, Shuo Chen, Christoph Kondzialka, Ricardo Guerrero Lemus, Christof Bucher, Tom Key, Roland Bründlinger: „*Communication and Control for High PV Penetration under Smart Grid Environment - Overview on Control Strategies and Communications Technologies*“, International Energy Agency, Photovoltaic Power Systems Programme, Task 14: Solar PV in the 100% RES Power System, Report IEA-PVPS T14-12:2020, 2020. ISBN: 978-3-907281-00-0.
- [2] Ricardo Guerrero-Lemus, Kenn H. B. Frederiksen, Lionel Perret, Iain MacGill, Yuzuru Ueda, Gunter Arnold, Les. E. Shephard, Julieta Giraldez, Andy Hoke, Brad W. Rockwell, Dale Philip: „*Best practices for high penetration PV in insular power systems*“, International Energy Agency, Photovoltaic Power Systems Programme, Task 14: Solar PV in the 100% RES Power System, Report IEA-PVPS T14-13:2021, ISBN: 978-3-907281-20-8.
- [3] Markus Kraiczy, Roland Bründlinger, Brij Lal, Ian McGill, Stefan Siegl, Jonathan Schütt, Christof Bucher, Gerd Heilscher, Shuo Chen, Christoph Kondzialka, Falko Ebe, Heiko Lorenz, Jeromie Morris, Basem Idlbi, Polichronis Muratidis, Holger Ruf, David Langer, Marine Cauz, Lionel Perret, Sebastian Wende-von Berg, Andreas Knobloch, Daniel Premm, Ricardo Guerrero Lemus, Gunter Arnold, Giorgio Graditi, Giovanna Adinolfi, Tom Key, Kenn H. B. Frederiksen, Yuzuru Ueda, Arnulf Jäger-Waldau, Martin Braun, Denis Mende: „*PV as an ancillary service provider*“, International Energy Agency, Photovoltaic Power Systems Programme, Task 14: Solar PV in the 100% RES Power System, Report IEA-PVPS T14-14:2021, 2021. ISBN: 978-3-907281-24-6.
- [4] Christof Bucher, Shuo Chen, Giovanna Adinolfi, Ricardo Guerrero-Lemus, Yuka Ogasawara, Gerd Heilscher, Ian McGill, M.Said El Hamaoui, Christoph Kondzialka, Denis Mende, Jan

Wiemer, Roland Bruendlinger, A. Ghennioui, M. Said Elhamaoui, K. Ogimoto, Eitaro Omine, Yuzuru Ueda, Jan Remund, A. Benazzouz, Giorgio Graditi, Tom Key: "Active Power Management of Photovoltaic Systems – State of the Art and Technical Solutions", International Energy Agency, Photovoltaic Power Systems Programme, Task 14: Solar PV in the 100% RES Power System, Report IEA-PVPS T14-15:2024, 2024. ISBN: 978-3-907281-46-8.

- [5] Abdullah Altayara, Denis Mende, Christof Bucher, Yuka Ogasawara, Eitaro Omine, Yuzuru Ueda, Roland Bründlinger, Giovanna Adinolfi, Giorgio Graditi, David Sebastian Stock, Markus Kraicz, Haonan Wang, Gerd Heilscher: "Reactive Power Management with Distributed Energy Resources", International Energy Agency, Photovoltaic Power Systems Programme, Task 14: Solar PV in the 100% RES Power System, Report IEA-PVPS T14-16:2024, 2024. ISBN: 978-3-907281-51-2.

- [6] Gunter Arnold, Adolfo Anta, Perter Jonke, Roland Bründlinger, Siddhi Shrikant Kulkarni, Nils, Schäfer, Giovanna Adinolfi, Giorgio Graditi, Yuzuru Ueda, Yuka Ogasawara, Eitaro Omine: "Provision of frequency related services from PV systems" (tentative), International Energy Agency, Photovoltaic Power Systems Programme, Task 14: Solar PV in the 100% RES Power System, Report IEA-PVPS T14-17:2024, 2024.

- [7] Christof Bucher, Gaetan Masson, Giovanna Adinolfi, Ricardo Guerrero-Lemus, K.H.B. Frederiksen, Gerd Heilscher, Naomi Stringer, N. Haghdadi, Roland Bruendlinger, Yuzuru Ueda, Giorgio Graditi, Barry Mather, Hubert Fechner, W. Johnston, G. Neubourg, P. Ahm, G. Altenhöfer-Pflaum, F. Tilli, P. Hüsler, J. Ahola, K.K. Sen, T. Choi: "Data Model for PV Systems – Data Model and Data Acquisition for PV registration schemes and grid connection – Best Practice and Recommendations", International Energy Agency, Photovoltaic Power Systems Programme, Task 14: Solar PV in the 100% RES Power System, Report IEA-PVPS T1/T14-01:2020, 2020. ISBN: 978-3-906042-98-5.

Abkürzungen

AIT	Austrian Institute of Technology
DER	Distributed Energy Resources (Verteilte Energieerzeugungsressourcen)
DG	Distributed Generation (Verteilte Erzeugung)
DSO	Distribution System Operator (Verteilernetzbetreiber)
ExCo	Executive Committee (Exekutivkommittee)
FIT	Feed-In-Tariff (Einspeisetarif)
ICT	Information and Communication Technology (Informations und Kommunikationstechnologien)
IEA	Internationale Energieagentur
PVPS	Photovoltaic Power Systems (Photovoltaische Energiesysteme)
TCP	Technology Collaboration Programme
TPPV	Technologieplattform Photovoltaik Österreich
TSO	Transmission System Operator
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
VNB	Verteilnetzbetreiber

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 800 21 53 59

servicebuero@bmk.gv.at

bmk.gv.at