

IEA Photovoltaik (PVPS) Task 13: Zuverlässigkeit und Ertragssicher- heit von Photovoltaik-Anlagen

Arbeitsperiode 2022 - 2023

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

26/2025

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur,
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

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

Kontakt zu „IEA Forschungskooperation“: Mag.^a Sabine Mitter

Autorinnen und Autoren:

DI Karl A. Berger, Austrian Institute of Technology GmbH (AIT)

Dr. Gernot Oreski, Polymer Competence Center Leoben (PCCL)

Dr. Gabriele C. Eder, Österreichisches Forschungsinstitut für Chemie und Technik (OFI)

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Wien, 2025, Stand Mai 2024

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an
iii3@bmimi.gv.at.

Disclaimer:

Dieser Ergebnisbericht wurde von der Fördernehmer:in erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität sowie die barrierefreie Gestaltung der Inhalte übernimmt das Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) keine Haftung.

Mit der Übermittlung der Projektbeschreibung bestätigt die Fördernehmer:in ausdrücklich, über sämtliche für die Nutzung erforderlichen Rechte – insbesondere Urheberrechte, Leistungsschutzrechte sowie etwaige Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen – am bereitgestellten Bildmaterial zu verfügen.

Die Fördernehmer:in räumt dem BMIMI ein unentgeltliches, nicht ausschließliches, zeitlich und örtlich unbeschränktes sowie unwiderrufliches Nutzungsrecht ein, das übermittelte Bildmaterial in allen derzeit bekannten sowie künftig bekannt werdenden Nutzungsarten für Zwecke der Berichterstattung, Dokumentation und Öffentlichkeitsarbeit im Zusammenhang mit der geförderten Maßnahme zu verwenden, insbesondere zur Veröffentlichung in Printmedien, digitalen Medien, Präsentationen und sozialen Netzwerken.

Für den Fall, dass Dritte Ansprüche wegen einer Verletzung von Rechten am übermittelten Bildmaterial gegen das BMIMI geltend machen, verpflichtet sich die Fördernehmer:in, das BMIMI vollständig schad- und klaglos zu halten. Dies umfasst insbesondere auch die Kosten einer angemessenen rechtlichen Vertretung sowie etwaige gerichtliche und außergerichtliche Aufwendungen.

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts im Rahmen der IEA Forschungsk Kooperation. Es wurde vom Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) initiiert, um österreichische Forschungsbeiträge zu den Kooperationsprojekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu unterstützen.

Die IEA Forschungsk Kooperationen umfassen eine breite Palette an Energiethemen mit dem Ziel Energiesysteme, Städte, Mobilitäts- und Industriesysteme fit für eine nachhaltige Zukunft bis 2050 zu machen. Auch Themen wie Gendergerechtigkeit oder Ressourcen- und Kreislaufwirtschaftsaspekte werden berücksichtigt.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen und Unternehmen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch die vielen IEA-Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und neue internationale Standards. Auch in der Marktumsetzung konnten richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Daher werden alle Berichte nach dem Open Access Prinzip in der Schriftenreihe des BMIMI über die Plattform nachhaltigwirtschaften.at veröffentlicht.

Inhalt

1 Kurzfassung	8
2 Abstract	9
3 Ausgangslage.....	10
3.1 Motivation und generelle Zielsetzung	10
3.2 Stand der Technik.....	13
4 Projektinhalt	16
4.1 IEA Photovoltaic Power Systems Programme IEA-PVPS TCP	16
4.2 Aktive Tasks im IEA-PVPS TCP, österr. Beteiligung am Task 13	17
4.3 Ziele des Task 13 und der österreichischen Beteiligung	18
4.3.1 Vorgangsweise, Methoden und Daten.....	19
4.3.2 Umsetzung und Herausforderungen.....	21
5 Ergebnisse des IEA PVPS Task 13	24
5.1 ST 1 Neue Modulkonzepte, neuartiges Photovoltaik-Systemdesign	25
5.2 ST 2 Leistungsfähigkeit von PV-Systemen.....	32
5.3 ST 3 Betriebsdaten, Betriebs- und Wartungsstrategien	37
5.4 ST 4 Disseminierungsmaßnahmen.....	40
5.4.1 Erkenntnisse und Wirkungen, international und in/für Österreich	40
5.4.2 Ergebnisse im Berichtszeitraum – international und national.....	41
6 Vernetzung und Ergebnistransfer	45
6.1 Zielgruppen und deren Einbindung.....	45
6.2 Kommunikation und Relevanz der Ergebnisse und Erkenntnisse.....	45
6.2.1 Allgemeines	45
6.2.2 Relevanz für nationale und internationale Standardisierung	45
6.2.3 Anpassung nationaler Gesetzgebung, Ausrichtung der FTI-Politik	47
7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen.....	48
7.1 Fachliche Schlussfolgerungen	48
7.2 Weiterführende nationale Forschungsprojekte bzw. IEA-Kooperationsprojekte im Themenbereich	48
7.3 Empfehlungen für die österreichische FTI-Politik	48
Tabellenverzeichnis	51
Abbildungsverzeichnis	52
Literaturverzeichnis	53

1 Kurzfassung

Die globale Energieversorgung basiert nach wie vor zum weit überwiegenden Teil auf fossilen Energieträgern, deren Emissionen die Erderhitzung vorantreiben. Photovoltaik wuchs über Jahrzehnte kontinuierlich aus Nischenanwendungen, zu der elektrischen Energietechnologie heran, die in vielen Weltgegenden heute die niedrigsten Stromgestehungskosten bietet, indem in der Energietechnologie bislang unerreichte Kostensenkungspotentiale durch technologische Innovationen und großmaßstäbliche Industrieprozesse erzielt wurden. Damit sank der Material- und Energieeinsatz je installierter Leistung markant, und entsprechend auch der CO₂-Fußabdruck. Durch jährliche Wachstumsraten um 30% werden laufend neue Produktionsanlagen mit steigender Produktionskapazität errichtet. Durch diese Marktdynamik und Photovoltaikinstallationen unter immer vielfältigeren Anwendungen und Klimabedingungen ist es herausfordernd, hochwertige Produkte so zu installieren, zu betreiben und zu warten, um langfristig hohe Erträge zu erwirtschaften.

Der IEA PVPS Task 13 des IEA-PVPS TCP ist auf die internationale Zusammenarbeit zur Verbesserung der Zuverlässigkeit von Photovoltaikanlagen, Subsystemen und Komponenten fokussiert, indem Informationen über ihre technische Leistung und Zuverlässigkeit gesammelt, analysiert und verbreitet werden. Die österreichischen Partner vom Austrian Institute of Technology (AIT), Polymer Competence Center Leoben (PCCL) und dem Österreichischen Forschungsinstitut für Chemie und Technik (OFI) sind hier schon seit langem dabei und tragen zu den umfangreichen und vielfältigen Aktivitäten des Task 13, bei nationalen und internationalen Workshops, durch Vorträge und Veröffentlichungen auf nationalen und internationalen Konferenzen und in Fachzeitschriften, in Webinaren und vor allem bei der Erstellung der Task 13 Reports intensiv bei.

Der vorliegende Bericht zum ersten Teil (2022-2023) der vierten internationalen Arbeitsperiode Task 13.4 (2022 – 2025) stellt die Ergebnisse aus dem Task 13 und die Anteile der österreichischen Beteiligung, und die Arbeitsweise im Task dar. Die Qualität der Berichte und Workshops im Task beruht auf der kontinuierlichen Teilnahme hochmotivierter PV-Expert:innen von über vierzig Institutionen auf diesem Gebiet. Da in der Berichtsperiode 2022-2023 des Task 13.4 noch keine Berichte publiziert wurden, werden die zuletzt veröffentlichten Berichte T13:13 bis T13:25 mit über 1400 Seiten vorgestellt und deren Schwerpunkte in diesem Bericht zusammengefasst. Neben dem Link zum Download der Berichte auf der IEA-PVPS Homepage werden umfangreiche weitere Informationen und Literatur geboten. Im Literaturverzeichnis sind auch die bereits zuvor erstellten Berichte und deren Download-Link aufgelistet. In der derzeit laufenden zweiten Hälfte der internationalen Kooperation im IEA-PVPS Task 13 ist es geplant, 14 Reports und einen grafischen Report zu erstellen, weiters wurden bereits Webinare durchgeführt, und Ergebnisse auf Konferenzen präsentiert und im Bereich der Standardisierung eingebracht. Die Arbeit an den Reports verläuft im Großen und Ganzen im Plan, deren Veröffentlichung wird in den Jahren 2024 und 2025 erfolgen.

Die Leitung der nationalen Beteiligung von AIT, PCCL und OFI am IEA PVPS Task 13.4 hat nun für die Jahre 2024 und 2025 Gernot Oreski vom PCCL übernommen.

2 Abstract

Most of the global energy supply is still based on fossil fuels, with its emissions fuelling global warming. Photovoltaics has grown up over decades continuously from niche applications by innovations and economy of scales in industrial processes to the technology with nowadays the lowest electricity cost in many regions of the world. The use of materials and energy per installed capacity has decreased significantly, and the CO₂ footprint is also reduced accordingly. Due to the high market dynamics with annual growth rates of around 30%, new production facilities with high output are constantly being built. Market dynamics and photovoltaic system installations in increasingly diverse ranges of applications and climate conditions, make it challenging to ensure that high-quality products are installed, operated, and maintained in a way generating with high yields in the long term.

The IEA PVPS Task 13 of the IEA-PVPS TCp engages in focusing international cooperation in improving the reliability of photovoltaic systems, subsystems, and components by collecting, analysing, and disseminating information on their technical performance and durability, providing a basis for their technical assessment, and developing practical recommendations for improving their electrical and economic output in different climatic regions. The Austrian partners from the Austrian Institute of Technology (AIT), the Polymer Competence Center Leoben (PCCL) and the Austrian Research Institute for Chemistry and Technology (OFI) have been involved here for a long time. They contribute intensively to the extensive and diverse activities of Task 13, such as national and international workshops, through lectures and publications at national and international conferences and in journals, in webinars and, above all, in the preparation of Task 13 reports.

This report about the 1st part (2022-2023) of the 4th working period of this IEA-PVPS-Task, Task 13.4 (2022 – 2025), presents the working methods and results as well as the proportions of the Austrian participation. The quality of the Task 13 reports and workshops stems from the continued participation of highly motivated PV experts from more than forty institutions. Because within the reporting period 2022-2023 no new international Task 13 reports were issued, the recent 12 Task 13.3 reports T13:13 to T13:25 with more than 1400 pages are presented in brief, results summarized, and the link to the download from the IEA-PVPS homepage presented. The bibliography also lists the previously prepared reports. Finally, information and conclusions on the cooperation in the field of standardization and the importance in and for Austrian research and innovation are compiled. Within the second part of the actual 4th international working period of IEA-PVPS Task 13 it is planned to deliver 14 reports and an additional visual report. Preparatory work for these reports is in plan, and several workshops, webinars and contributions to conferences were held and are planned for the upcoming years.

The cooperation for the 2nd national reporting period 2024-2025 of AIT, PCCL and OFI is now headed by Gernot Oreski from PCCL.

3 Ausgangslage

3.1 Motivation und generelle Zielsetzung

Die globale Energieversorgung nutzt nach wie vor zum weit überwiegenden Teil (82%) nicht nachhaltige, fossile Energieträger, siehe Abbildung 1 links. Global wird ca. 21% der Endenergie in Form von elektrischer Energie bereitgestellt, wovon 27,7% (+1.8% 2019-2020) aus erneuerbaren Quellen stammen. Die Aufteilung der erneuerbaren Stromproduktion nach den Energieträgern ist in Abbildung 1 rechts dargestellt.

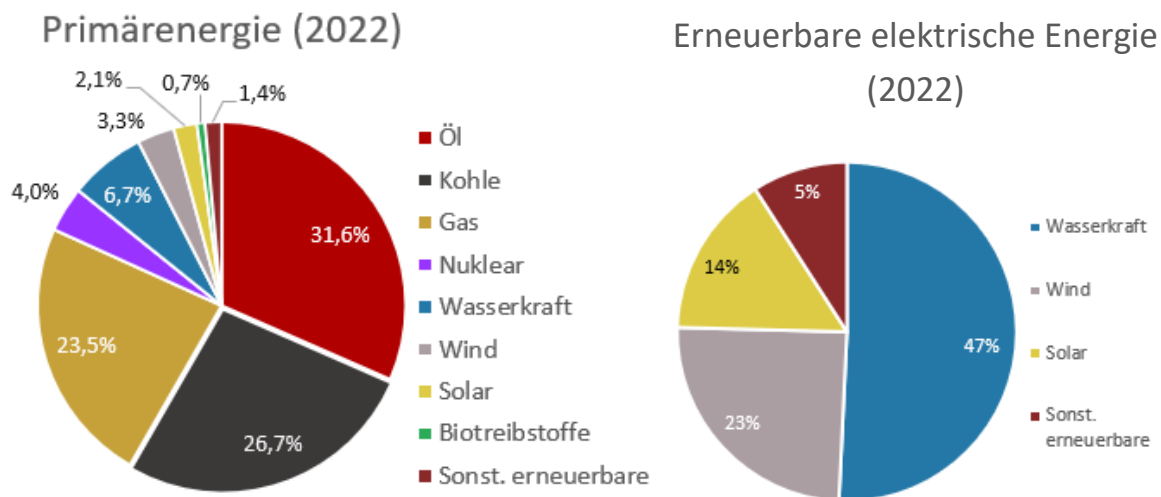


Abbildung 1: Globale Primärenergiebereitstellung (Links), und Erneuerbare elektrische Energiebereitstellung nach Energieträgern (Rechts) für das Jahr 2022. Daten aus [95].

Windenergie und Solarenergienutzung durch Photovoltaik sind die beiden am schnellsten wachsenden Segmente, was durch drastisch gesunkene Stromgestehungskosten dieser Technologien bedingt ist, die aus technologischen Verbesserungen und durch Skaleneffekte der laufenden Ausweitung der Produktionskapazitäten bedingt ist (siehe Abbildung 2). In vielen Weltgegenden weisen Wind- und Photovoltaikkraftwerke nun die niedrigsten Stromgestehungskosten aller Technologien auf. Neu installierte Kraftwerke weisen tendenziell höhere spezifische Jahreserträge auf: Windkraft Anlagen größerer Leistung haben auch eine größere Nabenhöhe, und mit größerer Höhe nimmt Windgeschwindigkeit und -stetigkeit zu. Photovoltaikanlagen werden zunehmend in Gebieten installiert, wo das Solarstrahlungsangebot (sehr) hoch ist, und Großanlagen werden zunehmend als (einachsig) nachgeführte Anlagen errichtet [73], womit die spezifischen Erträge aus Photovoltaikanlagen (Capacity factor) ebenfalls steigen. Ein Kapazitätsfaktor von z.B. 17,2% bedeutet einen spezifischen Jahresertrag von $0,172 \text{ kWh/kW}_p \times 8760 \text{ h/a} = 1480 \text{ kWh/kW}_p \text{ a}$.

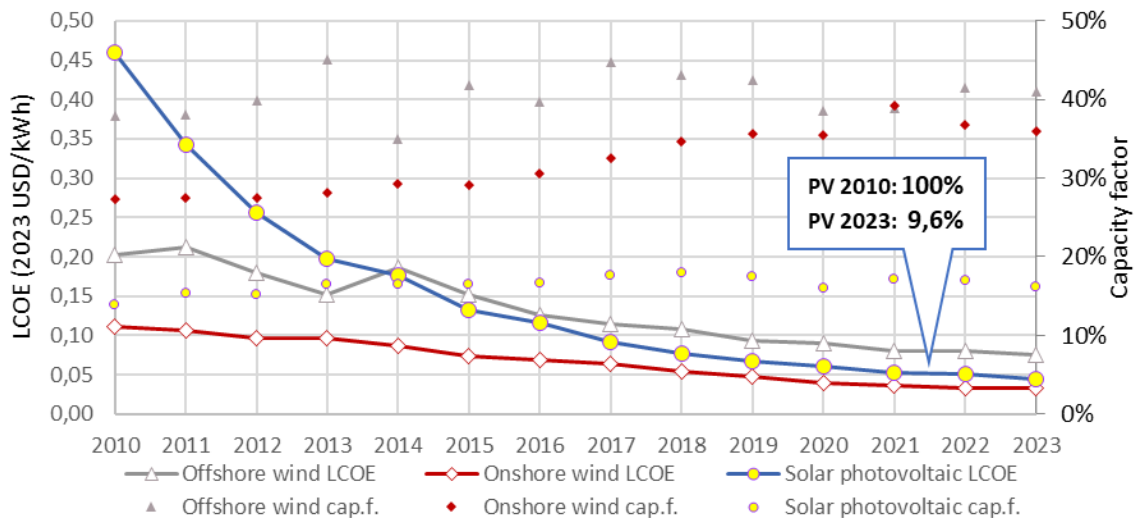


Abbildung 2: Stromgestehungskosten (Levelized cost of electricity LCOE in 2023er USD) sowie relativer spezifischer Jahresertrag (Capacity factor) aus Windkraft (an Land und auf See) und Photovoltaik. Daten aus [67] und [15].

Das Segment erneuerbarer Stromerzeugung wächst vor allem durch neue Kapazitäten bei Photovoltaik und Windenergie stark: Photovoltaik hat 2021 erst 5% der globalen Stromerzeugung bereitgestellt, während es 2023 bereits über 8% waren. Abbildung 3, zeigt, dass von 37 Ländern, für die Daten vorliegen, in 18 Ländern inzwischen mehr als 10% des elektrischen Verbrauchs aus Photovoltaik gedeckt werden kann.

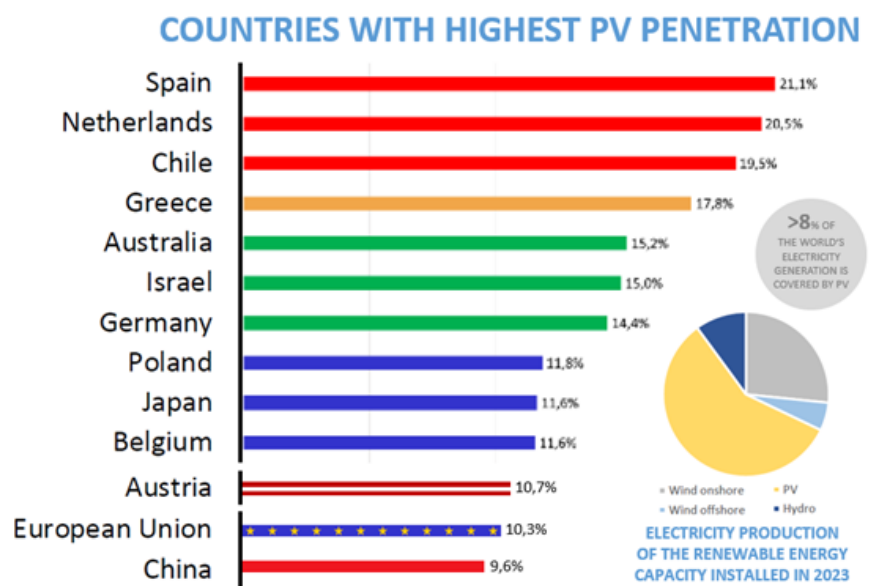


Abbildung 3: PV-Anteil an der Stromaufbringung Ende 2023. Daten aus IEA PVPS Snapshot 04-2024 [36], modifiziert und ergänzt (AIT).

Spanien und die Niederlande deckten 2023 mehr als 20% des Stromverbrauches aus Photovoltaik, die EU und Österreich im Schnitt mehr als 10%, siehe Abbildung 3. An anderer Stelle wird für Österreich 2023 ein Anteil von 8% PV-Strom angegeben, jedoch 11% für das erste Halbjahr 2024 [31].

Das kleine Insert in Abbildung 3 zeigt, dass ca. 58% der Erzeugung der 2023 global neu installierten Kraftwerke Strom aus Photovoltaik, 32% aus Windkraft, und 10% aus Wasserkraft produzieren. Der Vergleich der globalen Gesamtenergiebilanz mit der österreichischen Energiebilanz (Daten aus [11] und [99]) zeigt deutliche Unterschiede: Der Wasserkraftanteil ist höher und Sonstige Erneuerbare Energie (wie holz- und umweltenergiebasierte Raumwärme) haben größere Anteile.

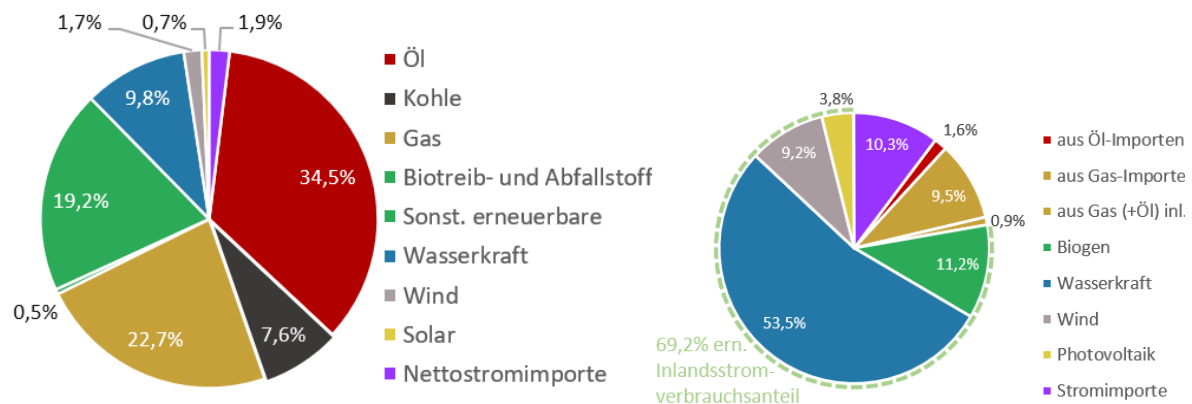


Abbildung 4: Österreichische Primärenergiebereitstellung (Links, Daten aus [11]) und elektrische Energiebereitstellung 2021 nach Energieträgern (Rechts, aus [11], ergänzt mit Daten aus [99]).

Im Unterschied zu Abbildung 1 (rechts) ist in Abbildung 4 (rechts) nicht nur die erneuerbar bereitgestellte elektrische Energie (global 28%), sondern die gesamte *elektrische* Energiebereitstellung Österreichs dargestellt. 2021 wurde 76,2% der Inlandsstromerzeugung durch erneuerbare Energieträger bestritten, wovon 4,4% von PV stammte. Wird bei der elektrischen Strombereitstellung auch der Netto-Stromimport von 10,3% des Stromverbrauchs berücksichtigt, sinkt der erneuerbare Inlandsanteil auf 69,2% (immerhin das 2 ½-fache des globalen erneuerbaren Anteils) und der PV-Anteil auf 3,8%. 2023 wurde erstmals seit 20 Jahren ein kleiner positiver Saldo (+46 GWh, 0,02% gegen -26 436 GWh bzw. -10,3% in 2021) bei den Stromexporten in Relation zu den Importen erzielt [11], was auf starke Zuwachsraten im Bereich PV, aber auch auf hohe Wasserkrafterzeugung im 4. Quartal 2023 zurückzuführen war, da – aufgrund hoher Temperaturen im Gebirge Niederschlag, der sonst bis in den Frühling / Frühsommer als Schnee gebunden wäre, als Regen gefallen ist, und instantan zur Laufwassererzeugung beigetragen hat. Dieser Trend setzte sich auch im 1. Quartal 2024 fort [3].

Das im Herbst 2018 für Österreich formulierte Ziel von 100% erneuerbarem Strom für 2030 [76], bei dem – je nach Szenario etwa 11 bis 13 TWh jährlicher Erzeugung aus Photovoltaik, bzw. bis zu 15 GW an Photovoltaikkapazität in Österreich erforderlich sind, um bilanziell 100% erneuerbaren Strom bereitzustellen, ist mit den Neuinstallationszahlen an PV in den letzten Jahren erreichbar,

allerdings sind Maßnahmen im Bereich Windkraft, netzdienlicher Speicher, Elektromobilität und Wärmewende nicht immer im Plan, und zur erweiterten Nutzung der Erneuerbaren braucht es auch erheblichen Ausbau der Netze [12], [3].

Der im April 2024 vorgestellte integrierte Netzinfrasturplan (ÖNIP) [12] geht – je nach Szenario – von einem elektrischen Energieverbrauch von 90 ... 93 TWh (2030) und 121 ... 125 TWh (2040) aus, was gegenüber der Referenz von 74 TWh (2021) einer Zunahme um ca. 1/4 (2030) bzw. 2/3 (2040) entspricht. Photovoltaik und Wind sollen bis 2030 jeweils 21 TWh (mal 3 bei Wind, mal 7 bei PV), 2040 Windkraft 29 TWh und Photovoltaik 41 TWh beitragen (Wind +40%, PV +95% im Vergleich zu 2030). Der Anteil der Photovoltaik an der Gesamtstromaufbringung soll damit von 4,4% (2021) auf 21% (2030) bzw. 32% (2040) steigen. Der Ausbauplan für 2030 sieht demnach einen österreichischen Photovoltaikstromanteil vor, der 2023 von Spanien bereits erreicht wurde, vergleiche Abbildung 3.

In Österreich wurden in den letzten Jahren stark ansteigende Installationszahlen an Photovoltaikanlagen erzielt: 2021: 0,740 GW, 2022: 1,009 GW, 2023: 2,603 GW [8], [31], [66], womit sich die gesamte in Betrieb befindliche PV-Kapazität von 2,78 GW (2021) auf 6,40 GW (Ende 2023) erhöhte, was einer Zunahme in drei Jahren um einen Faktor 2,3 entspricht. Wie in den Jahren zuvor, war 2023 die dominierende Montageart von Photovoltaikanlagen mit ca. 86% die Aufdachmontage, wobei dachintegrierte Anlagen mit ca. 2% ein wenig höhere Anteile als zuvor hatten. Freistehende Anlagen die 2022 ca. 15% aller neuinstallierten Anlagen waren [8], hatten dagegen erstmals einen Rückgang auf 12% [8]. Zu den Photovoltaik-Ausbauzielen siehe auch [90].

3.2 Stand der Technik

Obwohl der photovoltaische Effekt, die direkte Konversion von Licht in elektrische Energie bereits 1839 von E.A. Bequerel entdeckt wurde, ist die erste praktikable Photovoltaikzelle - auf dem Halbleitermaterial Silizium basiert – erst 1954 in den Bell Laboratories entwickelt worden und hatte einen Wirkungsgrad von ca. 6%. [107] gibt einen Überblick wie sich die Technologie und die Wirkungsgrade der unterschiedlichen Zell- und Modultechnologien weiterentwickelten. Aufgrund der ursprünglich hohen Kosten wurde Photovoltaik zuerst für Nischenanwendungen eingesetzt, wo andere Energie sehr schwer bereitzustellen war: Für Raumfahrtanwendungen und terrestrische Insel-Anwendungen bei denen keine Möglichkeit bestand, Strom aus dem Netz zu beziehen, wie z.B. in Österreich für Schutzhütten und Rundfunkanlagen im alpinen Gelände, s. z.B. [5], [84] und [98]. Diese Nischenanwendungen ermöglichten ein moderates, aber kontinuierliches Wachstum, wobei die Modulpreise jeweils etwa um 20% bei Marktverdopplung sanken („Lernrate“ 20%, siehe [71]). Das Basismaterial, teures hochreines Silizium („semiconductor“ oder „electronic grade“ EG-Si, 99,9999999% reines Silizium) wurde als Grundstoff von der Halbleiterindustrie bezogen, wobei die wachsenden Mengen, die die Photovoltaikindustrie benötigte, 2006 50% des Weltmarkts überstiegen. Rascher Produktionskapazitätszubau war nicht möglich, womit 2004-2008 der EG-Si Preis um einen Faktor 10 anstieg [109].

Der Aufbau von eigenen Produktionskapazitäten für „upgraded metallurgical“ UMG-Si bzw. „solar grade“ SoG-Si mit etwas höherer Toleranz für Verunreinigungen führte zu Kostendegression. Höhere Effizienz in der Silizium-Verarbeitung, Prozesse mit verringertem Energieeinsatz, erhöhte Zell- und Modulwirkungsgrade reduzierten zudem den spezifischen Siliziumeinsatz je Watt Moduleleistung. Damit erhöhte sich die Modulfertigungs-Lernrate im Mittel von 2008-2021 auf 37%. Bis 2018 waren Module überwiegend aus polykristallinem Silizium, 2019 bis 2021 wurde ein rasch wachsender Anteil mit monokristallinem Silizium gefertigt.

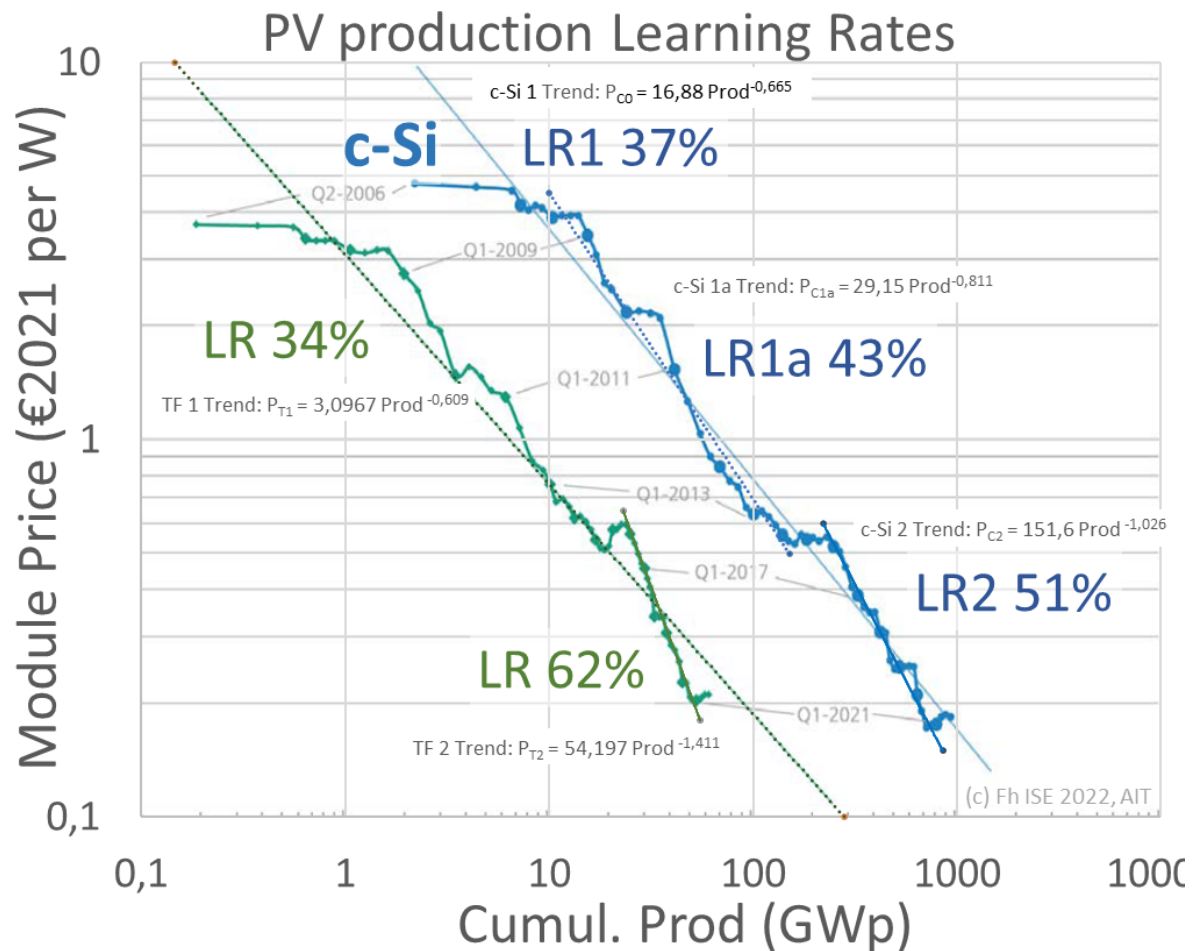


Abbildung 5: Lernkurven (Preisdegression über kumulierter Produktion) in doppelt-logarithmischer Darstellung. Dünnschichtbasierte Modultechnologien (TF) grau, Module mit waferbasierten Siliziumzellen (c-Si) blau. Daten aus [33], ergänzt.

2021 sind über 80% der silizumbasierten Zellen monokristallin, und Dünnschicht-Technologien haben Marktanteile verloren und stellen ca. 5% des Weltmarkts dar, wobei davon über 80% CdTe des Herstellers FirstSolar ist. In Österreich neu installierte PV-Module sind derzeit praktisch ausschließlich auf monokristallinem Silizium basiert [8].

Der Vergleich der Lernkurven [33], Abbildung 5, für kristalline Silizium (c-Si) und dünnerschichtbasierte (TF) Technologien zeigt in beiden Fällen einen ähnlichen Verlauf, wobei Kostenvorteile bei Dünnschichtmodulen von 2006 bis 2012 immer geringer wurden, und seitdem kristalline Module stets billiger sind als Dünnschichtmodule. Dennoch beherrschten auch vor 2012 kristalline Siliziummodule den Markt, da der geringere Wirkungsgrad der Dünnschicht höheren Flächenbedarf und höhere Kosten für die anderen Anlagekomponenten bedingen. Die Preisgestaltung der Modultechnologien ist auch aneinandergekoppelt, da für fast alle Anwendungen Dünnschicht und kristalline Module gegeneinander substituierbar sind. Der Wert im (negativen) Exponenten der beiden Trendlinien ist bei c-Si (0,665, LR: 37%) ein wenig größer als bei TF (0,609, LR 34%). Ist für einige Zeit ein Stagnieren in der Lernkurve zu beobachten (z.B. 2008, 2010, 2015, 2021), was durch Material- oder Kapazitätsengpässe sowie technologische Grenzen bedingt sein kann, ist dies stets mit Innovationen und Kapazitätsausweitung beantwortet worden, womit für einige Zeit ein wesentlich rascheres Sinken der Kosten ermöglicht wird (z.B. 2008-2014 LR: 43%, 2016-2020 sogar LR: 51%). Sind diese Innovation dann „ausgereizt“ oder treten erneut Engpässe bei Materialien oder beim Equipment auf, stagniert die Lernkurve wieder, bis der nächste Innovationszyklus einsetzt.

Obwohl die Herstellung des Grundmaterials (photovoltaic grade Silicon) 2021 nur mehr halb so viel Energie benötigte als 2011 stellt dies mit 44% nach wie vor den größten Einzelbeitrag des Energieaufwands in der Modulherstellung dar, wobei hier große Anlagen Vorteile gegenüber kleineren bieten. War früher Reinsilizium für die Photovoltaik Teil der Siliziumproduktion für die Halbleiterherstellung, ist nun der Photovoltaik-Markt (SoG-Si, Solar Grade Silicon) doppelt so groß wie der für die Halbleiterherstellung und es werden auch alternative Siliziumproduktionsweisen untersucht (etwa UMG-Si, upgraded metallurgical grade Silicon) [109], [78]. Die anderen Schritte in der Fertigung von Photovoltaikmodulen von der Waferherstellung über die Zellproduktion bis hin zum kompletten Modul können – obwohl hier eine Vielzahl komplexer Schritte erforderlich ist - in kleineren Einheiten effizient erfolgen und haben einen vergleichsweise niedrigen Investitionsbedarf. Neue Anlagen können damit sehr rasch errichtet werden, und Innovationen im Produktionsprozess ermöglichen Kostenvorteile gegenüber dem zahlreichen Wettbewerb [72]. Etwa die Hälfte der Kosteneffekte seit 2010 werden auf Lerneffekte bei der Produktion großer Stückzahlen zurückgeführt, die andere Hälfte durch Innovation in nanotechnischen Prozessen. Da nicht nur Photovoltaik-Fertigungsanlagen in weniger als zwei Jahren errichtet werden können, sondern auch komplette PV-Kraftwerke, die flexibel skaliert werden können, ergeben sich im Vergleich zu anderen energietechnischen Anlagen Innovationszyklen, die deutlich kürzer sind als in der Windkraftwerksbranche und zehnmal kürzer sind als bei fossilen oder nuklearen Kraftwerken [98].

Nicht nur neue Materialien und Verfahren werden in einem globalen Markt extrem rasch implementiert, auch die Bandbreite der Photovoltaik-Anwendungen wächst ständig. Das Photovoltaik Power Systems TCP im Rahmen der Internationalen Energieagentur (IEA PVPS) sieht es als seine wesentliche Aufgabe, die wesentlichen Informationen für diesen Umbau des globalen Energiesystems zu erarbeiten und zu verbreiten.

4 Projekinhalt

4.1 IEA Photovoltaic Power Systems Programme IEA-PVPS TCP

Die Internationale Energieagentur (IEA, s. www.iea.org), wurde von 16 Industrienationen als Kooperationsplattform zu Energietechnologien im Zuge der Ölkrise gegründet, und ist seit 1974 eine autonome Einheit der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung OECD. Seit 1993 gibt es das IEA Photovoltaic Power Systems Programme Implementing Agreement (IA) - heute IEA Technology Cooperation Programme (TCP), s. www.iea.org/tcp, als eines der gemeinschaftlichen Forschungs- und Entwicklungsprojekte der Internationalen Energieagentur. Ziel des IEA PVPS TCP ist die Beschleunigung der Entwicklung und Anwendung der Photovoltaik (PV) als maßgebliche und nachhaltige erneuerbare Energiequelle, siehe <https://iea-pvps.org/>.

Das IEA PVPS TCP hat derzeit 31 Mitglieder:

Australien, Chile, China, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Israel, Italien, Japan, Kanada, Korea, Malaysia, Marokko, die Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, Südafrika, Thailand, Türkei, die Vereinigten Staaten von Amerika, sowie die EU und Solar Power Europe, Smart electric Power Alliance, Solar Energy Industry Association und das Solar Energy Research Institute of Singapore (der nationalen Universität Singapore NUS, das mitmacht, obwohl das Land selbst nicht dabei ist).



Abbildung 6: Flaggen und Logos der Mitglieder des PVPS TCP

Nachdem der Schweizer Stefan Nowak das PVPS TCP Jahrzehnte geleitet hatte, wurde Daniel Mugnier (Frankreich, auch Stellvertretender Task Manager des Solar Heating and Cooling TCPs, SHC, <https://www.iea-shc.org>) sein Nachfolger. Hubert Fechner, der auch der österreichische PVPS-ExCo ist, ist weiter stellvertretender Leiter des PVPS TCPs.

Die aktiven Tasks des IEA PVPS, sind in Tabelle 1 zusammengestellt, siehe auch <https://iea-pvps.org/research-tasks/>. Der Task 1 existiert seit 1993 und der ursprüngliche Task 2 zu Leistungsfähigkeit, Zuverlässigkeit und Analyse von PV-Systemen, der auch schon von Ulrike Jahn geleitet

wurde, wird seit 2010 als Task 13 weitergeführt. Die internationale Arbeitsperiode, die dieser Endbericht abdeckt, ist die zweite Hälfte des Task 13.3, 2019 und 2021.

4.2 Aktive Tasks im IEA-PVPS TCP, österr. Beteiligung am Task 13

Generelles Ziel der internationalen Zusammenarbeit im IEA PVPS Task 13 ist das Sammeln und die Analyse von Daten zur Zuverlässigkeit von Photovoltaikanlagen und ihrer Teilsysteme, um eine fundierte Basis für deren technische Beurteilung und praktische Empfehlungen zu schaffen, um elektrische und wirtschaftliche Erträge in unterschiedlichen klimatischen Regionen und Anwendungen zu steigern. Die Ergebnisse werden in unterschiedlicher Weise disseminiert: Durch Task 13 Reports, die auf der internationalen IEA-PVPS Webseite veröffentlicht werden, bei Workshops, Webinaren und Konferenzen. Je nach der Thematik gibt es auch immer wieder engere Kooperationen zwischen unterschiedlichen IEA-PVPS Task, die in Tabelle 1 aufgelistet sind.

Tabelle 1: Im Photovoltaic Power Systems Technologie-Kooperationsprogramm der Internationalen Energieagentur (IEA-PVPS TCP) aktive Tasks (Stand 2022).

IEA PVPS Task	Task Name	Task Bezeichnung
Task 1	Strategic PV Analysis and Outreach	Strategische Photovoltaik-Analyse & Übersicht
Task 12	PV Sustainability	Nachhaltigkeit, Umweltaspekte der Photovoltaik
Task 13	Performance, Operation and Reliability of PV Systems	Leistungsfähigkeit, Betrieb und Zuverlässigkeit von Photovoltaiksystemen
Task 14 (neuer T 19)	Solar PV in the 100% RES Power System	Photovoltaik im 100% erneuerbaren elektrischen Energiesystemen
Task 15	Enabling Framework for the Development of BIPV	Rahmenbedingungen für Förderung und Entwicklung gebäudeintegrierter Photovoltaik
Task 16	Solare Resource for High Penetration and Large Scale Applications	Solare Ressource für Anwendungen mit hoher Durchdringung und Großkraftwerken
Task 17	PV & Transport	Photovoltaik und Transport
Task 18	Off-Grid and Edge-of-Grid Photovoltaic Systems	Photovoltaik in Systemen mit schwacher Netzanbindung und Inseln
APV Task force	Agricultural Photovoltaic Systems	Agri-Photovoltaik, derzeit im Task 13 Thema, wird möglicherweise ein eigener Task

Durch den rasch wachsenden Markt mit vielen konkurrierenden Produzenten werden laufend Neuerungen in großen Stückzahlen umgesetzt. In den letzten Jahren waren dies bei Modul- und

Zelltechnologien verringerte Dicke und zunehmende Größe der Wafer, PERC (Si-Zellen mit passiviertem Emitter und passivierter Rückseite) die per se auch bifaziale Eigenschaften haben, Verwendung neuer Polymere als Einbett- und Rückseitenfolienmaterial), höhere Anlagen-Systemspannungen bis zu 1500 Volt. Da Photovoltaikanlagen immer größere Dimensionen annehmen, laufend neue Anwendungen erschlossen werden, und die Photovoltaik zunehmend eine wesentliche Säule der globalen elektrischen Energieversorgung bildet, sind belastbare Fakten zu Zuverlässigkeit und Ertrag wesentlich. 2024 waren die 10 größten PV-Märkte weltweit **China, USA**, Indien, **Deutschland**, Brasilien, **Spanien, Japan**, Polen, Italien, die **Niederlande** gefolgt von **Australien** und **Korea**, wovon 8 auch im **Task 13** **mitarbeiten**, die gesamte EU stellte 2019 bis 2021 und 2023 nach China jeweils den zweitgrößten Markt dar [36], wobei Expert:innen von 32 europäischen Partnern aus 12 Ländern im Task mitarbeiten.

4.3 Ziele des Task 13 und der österreichischen Beteiligung

Die Arbeit im Task 13 wurde in drei inhaltliche Subtasks ST 1 bis 3 und einen zur Verbreitung, ST 4, gegliedert, siehe Tabelle 2. Die Leitung des Task 13 s ist bei Ulrike Jahn (nun Fh CSP/IMWS, DE), Laura Bruckman (CWRU, US) und Giosué Maugeri (RSE, IT). Die österreichischen Partner Austrian Institute of Technology (AIT), das Polymer Competence Center Leoben (PCCL) und das Österreichische Forschungsinstitut für Chemie und Technik (OFI) arbeiten bereits seit vielen Jahren im Task 13 zusammen, sind in allen vier Subtasks engagiert, und nahmen an den internationalen Task-Arbeits-treffen und online Besprechungen sowie an zahlreichen internationalen Disseminationsveranstaltungen teil. Da die Arbeit in enger Kooperation mit der Österreichischen Technologieplattform Photovoltaik TPPV [101] erfolgt, wurden nationale Koordinationstreffen und Disseminierungsveranstaltungen meist gemeinsam mit der TPPV durchgeführt, bei der alle drei Österreichischen Partner Mitglieder sind, und Gabriele Eder (OFI) und Hubert Fechner (AT PVPS ExCo, und Stellv. PVPS Leiter) auch im Vorstand sind.

Ziel der österreichischen Beteiligung im Task 13 ist es einerseits am Erstellen der Informationen aktiv mitzuarbeiten, indem Ergebnisse aus nationalen und Europäischen Projekten, an denen die österreichischen Partner beteiligt sind einzubringen, sich an der Recherchetätigkeit zu beteiligen, und an der Organisation und dem Erstellen der Task 13 Reports sowie andererseits an weiteren internationalen und österreichischen Disseminationsmaßnahmen in Form von Webinaren, Konferenzbeiträgen und Publikationen in Fachzeitschriften mitzuarbeiten.

Den ST 1 leitete Gernot Oreski (PCCL) gemeinsam mit Josh Stein (US National Lab SANDIA) sowie dessen A 1.1. Im ST 3 wurde die Aktivität A 3.2 von Werner Herrmann, TRE (DE) gemeinsam mit Karl Berger (AIT) koordiniert. In der rechten Spalte in Tabelle 2 ist die Leitung der vier Subtasks angegeben, und an welchen Aktivitäten die österreichischen Partner beteiligt waren. Das PCCL war insgesamt an 5 der 14, das OFI an 6, das AIT an 12 der 14 Aktivitäten beteiligt.

Tabelle 2: Task 13 Subtasks (ST) und Aktivitäten (A) der Arbeitsperiode T13.3 von 2018-2021.

PVPS T13.3	Subtasks und Aktivitäten 2018 – 2021	Leitung bzw. Beteili- gung
ST 1	Neue Modulkonzepte und neuartiges Photovoltaik-Systemdesign	PCCL/SANDIA
	A 1.1 Neue PV-Modulkonzepte, Designs und Materialien	PCCL, AIT, OFI
	A 1.2 Bifaziale PV-Module und Konzepte	AIT, PCCL
	A 1.3 Leistungsfähigkeit neuer PV-Systemdesigns	AIT
	A 1.4 Methoden der Lebensdauervorhersage	AIT, PCCL, OFI
ST 2	Leistungsfähigkeit von PV-Systemen	EURAC
	A 2.1 Unsicherheit in Ertragsgutachten und PV-Stromgestehungskosten	AIT
	A 2.2 Vorausschauende Instandhaltung	AIT, OFI
	A 2.3 Beurteilung der Technologien nach Ländern und Klimabedingungen	AIT
	A 2.4 Einfluss der Verschmutzung auf PV-Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit	
	A 2.5 Beurteilung von Leistungsverlusten und deren Methoden	
ST 3	Betriebsdaten, Betriebs- und Wartungsstrategien	TUV Rh
	A 3.1 Quantifizierung technischer Risiken in Betrieb und Wartung	AIT
	A 3.2 Charakterisierung von PV-Kraftwerken durch mobile Testmethoden	AIT, OFI
	A 3.3 Richtlinien für Betrieb und Wartung in unterschiedlichem Klima	AIT
ST 4	Disseminierungsmaßnahmen	VDE Re/ISE
	A 4.1 Informationsmaterial	AIT, PCCL, OFI
	A 4.2 Workshops	AIT, PCCL, OFI

4.3.1 Vorgangsweise, Methoden und Daten

Nationale und europäische Projekte, deren Ergebnisse in die Arbeit im Task 13 einfließen, sind INFINITY [63], PAMINA [87], AMSEL [2], SOLAR-TRAIN [97], PV Re² [89], BIFACE [9] und ADVANCE! [1], sowie Anlagen- und Monitoringdaten-Zeitreihen einer österreichischen PV-Anlage [19].

Dissemination der Ergebnisse in Österreich erfolgt meist in Kooperation mit der Österreichischen Technologieplattform Photovoltaik tppv.at, in Workshops und den Tagungen der Photovoltaik Austria, pvaustria.at. Zusätzlich zu Veröffentlichungen der IEA PVPS Task 13 Reports unter www.iea-pvps.org wurde zu den Inhalten mehrerer Reports auch Webinare mit österreichischer Beteiligung gehalten. Siehe dazu auch in Kapitel 5 die Beschreibung der 12 in der Arbeitsperiode 2018 – 2021 veröffentlichten Reports, ab Seite 24, wo sich auch Literaturverweise und Download Links befinden.

Im Task 13 wurde noch vor Abschluss der 3. Arbeitsperiode damit begonnen, die Verlängerung um weitere drei Jahre zu planen, was schließlich zum Arbeitsprogramm der 4. Arbeitsperiode 2022-2025 [45] führte, das am 5.5.2021 vom IEA-PVPS ExCo genehmigt wurde. Start der neuen Phase erfolgte mit dem Task 13 Meeting Herbst 2022, Dauer 3 Jahre bis Herbst 2025, siehe Tabelle 3.

Tabelle 3: Task 13 Subtasks (ST) und Aktivitäten (A) der Arbeitsperiode 2022-2025.

PVPS T13.4	Subtasks und Aktivitäten 2022 – 2025 Leitung: Ulrike Jahn (Fh CSP/IMWS, DE), Stellvertretung: Laura Bruckman (CWRU, US), Giosué Maugeri (RSE, IT)	Leitung u. Co-Leitg.
ST 1	Zuverlässigkeit neuer PV-Materialien, Komponenten und Module	ISFH
A 1.1	Degradation in neuen PV-Zellen und Modultechnologien	ISFH , PV guider
A 1.2	Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit wiederverwerteter Photovoltaik	PCCL , CEA-INES
A 1.3	Teststrategien und spezifische Lastbedingungen	Fh ISE , CWRU
A 1.4	Zuverlässigkeit von Photovoltaik und Speicher	IFE , CWRU
ST 2	Leistungsfähigkeit und Dauerhaftigkeit von PV-Anwendungen	Fh ISE
A 2.1	FPV - Schwimmende Photovoltaik	IFE , UU
A 2.2	APV - Agrikultur PV	Fh ISE , CEA-INES
A 2.3	Bifaziale nachgeführte Systeme	SNL , RSE
A 2.4	Digitale PV-Integration & Digitale Zwillinge	Fh ISE , EURAC
A 2.5	Modul-Leistungselektronik, Verschattung & Wirkungsgrad	ZHAW , AIT
ST 3	Technisch-wirtschaftliche Schlüsselkennzahlen (KPIs)	EURAC
A 3.1	Extremwetter und Einfluß auf Leistungskennzahlen	SNL , AIST
A 3.2	Richtlinien für klimaspezifische PV-Optimierung und KPIs	SUPSI , PCCL
A 3.3	Entscheidungen in PV-Projekten, Auswirkungen auf wirtschaftliche KPIs	Fh CSP , EURAC
A 3.4	Zusammenhang wirtschaftlicher und Zuverlässigkeits KPIs	EURAC , 3E
ST 4	Disseminierungsmaßnahmen	Fh CSP , alle
A 4.1	Informationsmaterial	alle
A 4.2	Workshops	alle

Dabei sind Beiträge von 46 Institutionen (!) aus 21 Ländern geplant: Australien (2), Österreich (3), Belgien (4), Kanada (1), Chile (1), China (1), Dänemark (2), Finnland (1), Frankreich (2), Deutschland (4), Israel (1), Italien (2), Japan (1), den Niederlanden (2), Norwegen (1), Spanien (2), Schweden (4), Schweiz (6), Taiwan (1), Thailand (1) und den Vereinigten Staaten (4).

Tabelle 4: Task 13 Deliverables der Arbeitsperiode 2022-2025.

No	Deliverables	When	No	Deliverables	When
D 1-1	Public Report: "Degradation modes in new PV cell and module technology"	M24	D 2-5	Public Report: "Annual PV performance comparison of MLPE versus string inverter for typical shading conditions of roof top systems on typical single-family houses"	M30
D 1-2	Public Report: "Reliability of 2nd life PV"	M30	D 3-1	Public Report: "Adapting to Severe Weather Events: Strategies for increasing the resilience of PV global climate change"	M26
D 1-3	Public Report: "Accelerated testing - combined stress vs. sequential stress testing methods and inclusion of specific load situations"	M24	D 3-2	Public Report: "Guideline for the climate specific optimisation of PV system key performance indicators"	M26
D 1-4	Public Report: "Performance, degradation and lifetime estimation of PV+battery systems"	M30	D 3-3	Visual Report: "Decisions along the value and supply chain"	M28
D 2-1	Public Report: "Performance and reliability of FPV systems"	M30	D 3-4	Public Report: "Impact of decisions in PV projects economic KPIs"	M28
D 2-2	Public Report: "Overview and Performance of a dual land use for Agriculture and Solar Power production"	M30	D 3-5	Public Report: "Best practice guidelines for the use of economic and reliability KPIs"	M21
D 2-3	Public Report: "Bifacial PV tracking systems: Finding the optimal PV system for cost and performance"	M24	D 3-6	Public Report: "Global maps of performance, reliability and economic KPIs in PV modules and PV systems"	M30
D 2-4	Public Report: "Input / Output information flow in Digital Twins concepts"	M24			

4.3.2 Umsetzung und Herausforderungen

Die Zusammenarbeit im Task 13 ist sowohl zwischen den österreichischen als auch mit den internationalen Partnern sowie der Leitung des Task 13 und des gesamten IEA-PVPS TCPs ausgezeichnet. Die Erarbeitung der Inhalte zu den einzelnen Task-Reports, die – da frei auf der IEA-PVPS Webseite verfügbar – eine von vielen intensiv genutzte Informationsquelle darstellen, folgt gut etablierten Regeln, dem Document Production Plan. Personen, die für einen Report maßgeblich verantwortlich sind, legen in einem iterativen Prozess mit allen interessierten Task-Mitgliedern die Inhalte fest und anschließend werden kapitelweise die Inhalte mit Beiträgen der Teilnehmer:innen ausgearbeitet. Interne Reviews in der Gruppe, die am Report arbeitet, sowie durch die Task Mitarbeiter erfolgen bevor ein Report an das IEA-PVPS ExCO geht, die nach einem finalen Review den Report zur Veröffentlichung auf der IEA-PVPS Webseite freigeben. Somit werden in nationalen und regionalen Projekten erarbeitete Inhalte in einen globalen Rahmen eingebettet, für die gesamte PV-Community verfügbar.

Für das Erarbeiten neuer Inhalte ist im Task üblicherweise keine ausreichende Finanzierung vorhanden, weshalb es essenziell ist, entsprechende Inhalte aus abgeschlossenen und laufenden Projekten in den Task 13 disseminieren zu können. Es sind zwar die Energieforschungsausgaben, die

2018-2020 etwa konstant bei 150 Mio. €/a waren, in den Jahren 2021 – 2023 auf 311 Mio. € gestiegen, die Ausgaben für erneuerbare Energie etwa gleichgeblieben, wobei es aber zu Umschichtungen in Richtung Bioenergie kam, die nun mit 58,3% gegen 19,4% für alle Solartechnologien ein 3 faches Budget aufweist. Die Ausgaben des Bundes für Photovoltaik waren 2022 mit 9,1 Mio € deutlich höher als davor, lagen 2023 allerdings wieder hinter den Ausgaben des Jahres 2019 zurück, siehe [64] und linke Grafik in Abbildung 7. War der Anteil der Forschungsausgaben für erneuerbare Energie mit 9,1% der Energieforschungsausgaben auf den niedrigsten Wert seit mehr als 10 Jahren gesunken, stabilisierte er sich 2023 mit 9,6% auf niedrigem Niveau. Gab es für den Bereich der gesamten Solarforschung 2018 noch mehr als 10 Mio. €, wurden die öffentlichen Mittel für die Solarforschung bis 2021 um mehr als die Hälfte, auf 4,8 Mio € gekürzt, lagen 2023 bei 5,76 Mio. €. Die Photovoltaik-Forschungsausgaben, die 2018 mit 8,5 Mio. € den Großteil der Solarforschungsausgaben darstellten, brachen bis 2021 auf 1/3 (!) ein, und waren 2023 etwas geringer als 2/3 des Wertes von 2018 [64]. Diese Diskontinuitäten erschweren den stabilen Aufbau der Forschungslandschaft im Bereich erneuerbarer Energietechnologien, siehe [103].

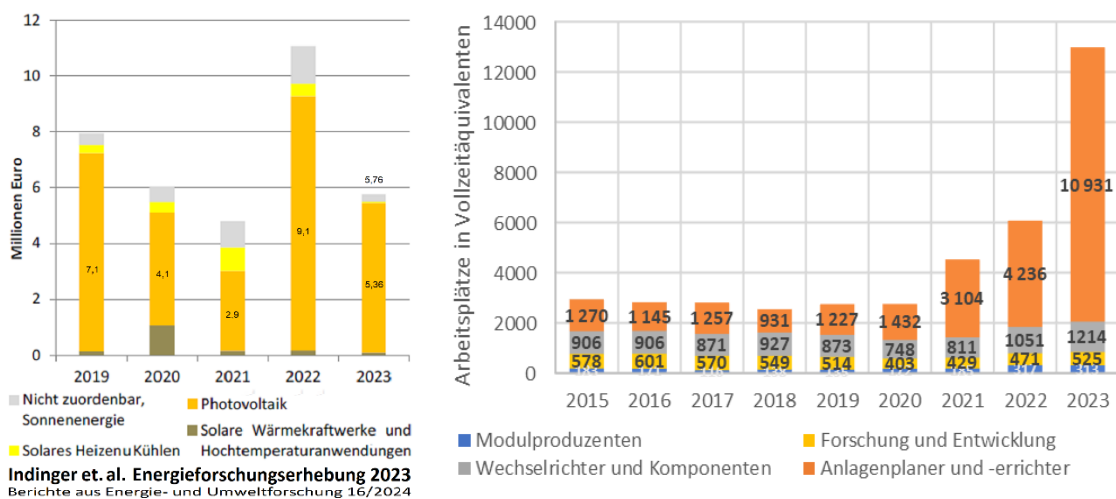


Abbildung 7: Öffentliche Solarenergieforschungsausgaben in Österreich 2019-2023 (links, Daten aus [64]) und Photovoltaik-Arbeitsplätze in Österreich 2015-2023 (rechts, Daten aus [8]).

In Abbildung 7 (rechts) ist die Entwicklung des österreichischen Photovoltaik-Arbeitsmarktes dargestellt [8]. Es ist ersichtlich, dass die Beschäftigungszahlen 2015-2023 im Segment der Anlagenplaner und Errichter kontinuierlich stark zugenommen haben (x 8,6!), während die Beschäftigungszahlen in Produktion und Forschung (-9% seit 2015) eher stagnierten.

Die Photovoltaikbranche in Österreich ist also in der paradoxen Situation, dass

- (i) große Anstrengungen erforderlich sind, um Energie in Österreich nachhaltiger zur Verfügung zu stellen, weil sonst empfindliche Strafzahlungen durch Verfehlen der Klimaziele drohen [106], [29],

- (ii) ein Schlüssel zu effizienterer Energienutzung auch ein höherer Anteil an elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen ist, [88],
- (iii) es klare Ziele eines massiven Ausbaus der erneuerbaren elektrischen Energiebereitstellung gibt um 2030 bilanziell 100% erneuerbare Stromerzeugung zu erreichen, wozu vor allem Windkraft und Photovoltaik erheblich auszubauen sind, [76]. (Öffentliche Fördergelder für Forschung im Windenergiebereich sind trotz einer Anzahl österreichischer Zulieferbetriebe noch geringer als im Photovoltaikbereich, und stark gesunken [64])
- (iv) gerade der Wind- und Photovoltaikbereich international die Wachstumsmotoren der erneuerbaren Energiewende darstellen, und große Forschungsanstrengungen unternommen werden, die laufend zu wesentlichen Verbesserungen, effizienterer und günstigerer erneuerbarer Stromproduktion beitragen, [95], [67], [98],
- (v) Österreich am 20. Mai 2022 zu den fünf Gründungsmitgliedern des PV-IPCEI (Important Project of Common European Interest for PV) zählte [26], *“Austria, ... - congratulated and expressed ... full support for the launched PV-IPCEI framework“* um die Photovoltaik-Innovation und Produktion in Europa auszuweiten, beziehungsweise zurückzubringen, während ...

- (vi) in Österreich Forschungsmittel empfindlich gekürzt werden, und Forschende aus dem Photovoltaikbereich entweder in andere Bereiche oder in andere Länder abwandern [64],
- (vii) Anträge für innovative Projekte der österreichischen Industrie mit österreichischen Forschungseinrichtungen in der weit überwiegenden Zahl zwar als förderwürdig eingestuft werden, allerdings aus budgetären Gründen nicht gefördert werden können [103].

Erfolgreiche europäische Projekte, an denen österreichische Industrie und Forschungseinrichtungen partizipierten, werden in Folgeprojekten ohne österreichische Partner fortgeführt, wenn Mittel für erforderliche nationale Kofinanzierung gestrichen wurden, s. z.B. [94], [18]. In dieser Situation, wo Forschungseinrichtungen erfolgreich mit der Industrie zusammenarbeiten, und direkte Kundenaufträge in großer Zahl bearbeiten, jedoch kaum mehr Fördergelder für Innovation und strategische Weiterentwicklung zur Verfügung stehen, ist es sehr herausfordernd, eigene nationale Inhalte in IEA-PVPS Tasks einbringen zu können.

Dennoch sind die österreichischen Partner im Task 13, OFI, PCCI und AIT weiterhin geschätzte Partner im Task 13, wie die Beteiligung an vielen der Aktivitäten belegt.

...

5 Ergebnisse des IEA PVPS Task 13

Der Task 13 wurde 2010 gestartet, und seitdem immer wieder verlängert. Vor der Arbeitsperiode 2018-2021 wurden vom Task 13 bereits 12 Reports veröffentlicht. Tabelle 5 und Fortsetzung Tabelle 6 geben eine Übersicht zu den Task 13 Reports der Arbeitsperiode 2018 – 2021, den Reports T13-13 bis T13-24. In den rechten Spalten ist die Seitenzahl der Reports und die Bezeichnung des Deliverables nach dem T13 Workplan 2018 – 2021 angeführt, siehe auch Tabelle 2. Ursprünglich war geplant, 13 neue Reports zu veröffentlichen. Bei der Ausarbeitung der Inhalte wurde festgestellt, dass es zu Deliverable 1.5 wenig Inhalte gab, bzw. dass der Großteil davon bereits im Deliverable 1-4 bzw. Report T13-16 enthalten war. Es wurde daher beschlossen, die Inhalte von D 1-5 in D 1-4 zu integrieren, womit Report T13-17 entfällt.

Tabelle 5: IEA PVPS TCP Task 13 Reports der Arbeitsperiode T13.3 bis Ende 2021: 12 Reports, T13-13 bis T13-24. (Fortsetzung siehe Tabelle 6).

Task Report	Titel	p.#	Del.
T13-13:2021	Designing new materials for photovoltaics: Opportunities for lowering cost and increasing performance through advanced material innovations	91	D 1-1
	Entwicklung neuer Materialien für Photovoltaikmodule: Möglichkeiten der Kostenreduktion und verbesserter Leistungsfähigkeit		
T13-14:2021	Bifacial Photovoltaic Modules and Systems: Experience and Results from International Research and Pilot Applications	168	D 1-2
	Bifaziale Photovoltaikmodule und Systeme: Erfahrungen und Ergebnisse internationaler Forschungs- und Pilotanwendungen		
T13-15:2021	Performance of New Photovoltaic System Designs	89	D 1-3
	Leistungsfähigkeit neuer Photovoltaik-Systemkonzepte		
T13-16:2021	Service Life Estimation for Photovoltaic Modules	76	D 1-4
	Lebensdauerabschätzung für Photovoltaikmodule		
T13-17:2021	Effect of Module Degradation on Photovoltaic Power Plants	-	D 1-5
	Auswirkung von Moduldegradation auf PV-Kraftwerke		
T13-18:2020	Uncertainties in Yield Assessments and PV LCOE	72	D 2-1
	Unsicherheit in Photovoltaik Ertragsprognosen und Stromgestehungskosten		
T13-19:2021	The Use of Advanced Algorithms in PV Failure Monitoring	85	D 2-2
	Anwendung fortschrittlicher Verfahren zur PV-Fehleridentifikation		
T13-20:2020	Climatic Rating of Photovoltaic Modules: Different Technologies for Various Operating Conditions	167	D 2-3
	Klima-Rating von PV-Modulen: Unterschiedliche Technologien für unterschiedliche Betriebsbedingungen		
T13-21:2022	Soiling losses – Impact on the Performance of Photovoltaic Power Plants	129	D 2-4
	Einfluss von Verschmutzung auf die Leistungsfähigkeit von PV-Kraftwerken		
T13-22:2021	Assessment of Performance Loss Rate of PV Power Systems	78	D 2-5
	Auswertung der Verlustrate von PV-Kraftwerken		

Tabelle 6: IEA PVPS TCP Task 13 Reports der Arbeitsperiode T13.3 bis Ende 2021: 12 Reports, T13-13 bis T13-24. (Fortsetzung der Tabelle 5).

Task Report	Titel	p.#	Del.
T13-23:2021	Quantification of Technical Risks in PV Power Systems	111	D 3-1
	Bestimmung des technischen Risikos in PV-Kraftwerken		
T13-24:2021	Qualification of Photovoltaic Power Plants using Mobile Test Equipment	192	D 3-2
	Mobile Testmethoden zur Qualifizierung von PV-Kraftwerken		
T13-25:2022	Guidelines for O & M of PV Power Plants in Different Climates	152	D 3-3
	Richtlinien für Wartung und Betrieb von PV in unterschiedlichem Klima		

Alle Reports stehen (so wie weiterhin auch jene der früheren Arbeitsperioden) auf der [iea-pvps](https://iea-pvps.org/research-tasks/performance-operation-and-reliability-of-photovoltaic-systems/) Webseite zum Gratis-Download bereit: <https://iea-pvps.org/research-tasks/performance-operation-and-reliability-of-photovoltaic-systems/>. Zu jedem Report gibt es auch eine Kurzbeschreibung und bei vielen auch eine Kurzpräsentation. Die Reports sind in Englisch, viele Reports sind auch als koreanische Übersetzung, manche auch in anderen Sprachen verfügbar.

5.1 ST 1 Neue Modulkonzepte, neuartiges Photovoltaik-Systemdesign

Da Reports der neuen Arbeitsperiode 2022 – 2025 (Übersicht siehe Tabelle 4) noch nicht veröffentlicht sind, werden hier die Reports der vorigen Arbeitsperiode kurz zusammengefasst:

Die Reports T13-13 bis 16 zum Subtask 1 zu neuen Modul- und Systemkonzepten sind im Anschluss kurz präsentiert, siehe für die Reports T13-13 Tabelle 7, T13-14 Tabelle 8, T13-15 Tabelle 9 und T13-16 Tabelle 10 sowie die darauffolgenden Kurzbeschreibungen.

Tabelle 7: *Report IEA-PVPS T13-13:2021* Entwicklung neuer Materialien für Photovoltaik-Module: Möglichkeiten der Kostenreduktion und verbesserter Leistungsfähigkeit



ISBN 978-3-907281-02-4

Herausgeber: Gernot Oreski (PCCL, AT), Joshua Stein (Sandia NL, US), Boris Farnung (VDE Renewables, DE)

Der Report IEA-PVPS T13-13:2021 thematisiert die breite Palette an Materialinnovationen, die in den letzten Jahren erfolgten, und den Photovoltaikmarkt rasch durchdringen.

Modulhersteller sind mit einem rasch wachsenden Markt bei dramatisch sinkenden Marktpreisen konfrontiert. Aufbau neuer Produktionskapazitäten unter Preisdruck bedingt rasche Umsetzung von Innovationen, die erhöhte Leistungsfähigkeit oder Lebensdauer und/oder kostengünstigere Produktion versprechen, was häufig mit Materialinnovationen, aber auch mit dem technischen Risiko von Fehlern und Lebensdauerproblemen verbunden ist. Der Bericht bietet Review der Innovationen, Anforderungen und Erfahrungen.

Hauptautoren: Gernot Oreski (PCCL, AT), Joshua Stein, (Sandia NL, US), Gabriele C. Eder (OFI, AT), Karl A. Berger (AIT, AT), Laura S. Bruckman (CRWU, US), Jan Vedde (EuEnergy, DK), Karl-Anders Weiss (Fh ISE, DE), Tadanori Tanahashi (AIST, JP), Roger H. French (CRWU, US), Samuli Ranta (Turku UAS, FI);

Download: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA-PVPS-T13-13_2021_Designing-new-materials-for-photovoltaics-report.pdf

Hersteller von Photovoltaikmodulen haben in schon über einen Zeitraum von mehr als zehn Jahren einen schnell wachsenden Markt und einen dramatischen Rückgang der Modulpreise erlebt. Dieser Kostendruck hat dazu geführt, dass neue Moduldesigns entwickelt und implementiert werden, die entweder die Leistung und/oder die Lebensdauer der Module erhöhen oder die Produktionskosten senken sollen. Viele dieser Innovationen beinhalten anstatt der schon lange etablierten die Verwendung neuer Materialien und/oder neuartiger Designs. Wenn solche Module ohne ein langfristiges Verständnis für die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit dieser neuen Materialien produziert und verkauft werden, stellt das ein Technologierisiko für die Industrie dar. Dieser Bericht bietet eine globale Übersicht der Erfahrungen aus den IEA PVPS-Mitgliedsländern über die Bemühungen, neue Materialien für Photovoltaik-Zell- und Modulanwendungen zu entwickeln.

Der Bericht ist nach Modulkomponenten organisiert und enthält Bewertungen von Materialinnovationen in: (1) Vorderseitenmaterialien, (2) Einbettmaterialien, (3) Rückseitenmaterialien, (4) Zellmetallisierung und (5) Zellverbindungen. Nach dem einführenden Abschnitt 1 stellt Abschnitt 2 den Stand der Technik bei PV-Modulmaterialien vor, einschließlich der funktionalen Anforderungen jedes Bauteils und der üblichen Materialien, die typischerweise verwendet werden, um diese Anforderungen zu erfüllen. In Abschnitt 3 werden die Beweggründe für die Anwendung neuer Materiallösungen bei PV-Modulen erörtert. Abschnitt 4 präsentiert die globale Übersicht über neuartige Materialien, die für die nächste Generation von PV-Modulen entwickelt und getestet werden.

Tabelle 8: *Report IEA-PVPS T13-14:2021 Bifaziale Photovoltaikmodule und Systeme: Erfahrungen und Ergebnisse internationaler Forschungs- und Pilotanwendungen*



ISBN 978-3-907281-03-1

Herausgeber:

Joshua S. Stein (Sandia NL, US),

Boris Farnung (VDE Renewables, DE)

Der Report IEA-PVPS T13-14:2021 thematisiert bifaziale Photovoltaiktechnologien vom Zelldesign bis zu den Betriebsergebnissen unterschiedlicher Anlagenkonzepte.

Neuartige Photovoltaik Zellen (z.B. PERC+, n-PERT, HIT, IBC) können auch Licht von der Zellrückseite verarbeiten und übernehmen rasch Marktanteile. Eine Übersicht zu Zell- und Modultechnologien, Mess- und Testverfahren, zu Anlagenkonzepten und -erträgen, ein Vergleich der Modellierungsansätze, Feldstudien und Ergebnisse unterschiedlicher Testanlagen aus 10 Ländern sind zusammengestellt.

Hauptautoren: Joshua S. Stein (Sandia NL, US), Christian Reise (Fh ISE, DE), Johanna Bonilla Castro (TÜV Rh, DE), Gabi Friesen (SUPSI, CH), Giosuè Maugeri (RSE, IT), Elías Urrejola (ATAMOSTEC, CL), Samuli Ranta (TUAS, FI).

Download: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA-PVPS-T13-14_2021-Bifacial-Photovoltaic-Modules-and-Systems-report.pdf

Kleinere Anpassungen der Zellverarbeitungsschritte in vielen Zelllinien bei z.B., PERC+, n-PERT, HIT, IBC etc. haben haben undurchsichtige, monolithische Rückseitenkontakte durch isolierte Kontakte ersetzt, wodurch auch Licht von der Rückseite von der Zelle verwertet werden kann. Module und Systeme mit solchen bifazialen Solarzellen mit Rückseitenwirkungsgraden von mehr als 60% bis über 90% des Frontseiteneffekts gewinnen schnell Marktanteile. Durch physikalische Limits des

bisherigen Standardmaterials von p-dotiertem Silizium richtet sich die Aufmerksamkeit der PV-Industrie zunehmend auch auf hocheffiziente n-Typ-Solarzellen, einschließlich n-PERT-Solarzellen, die Fertigungsprozesse haben die mit Standard-Solarzellenproduktionslinien kompatibel sind, und eine sehr hohe Bifazialität bis zu 95% ermöglicht. Heute können HJT-Zellen (Busbarlose Heterojunction) in einer Pilotlinie von Massenproduktionsanlagen mit einem relativ einfachen Prozess Wirkungsgrade von mehr als 24% erreichen, womit auch die HJT-Zellentechnologie in den kommenden Jahren voraussichtlich einen größeren globalen Photovoltaik-Marktanteil gewinnen wird. Auch Mehrschichtzellkonzepte (Multijunction-Design) werden in Betracht gezogen, etwa mit einer Perowskit-Top-Zelle und einer Silizium-HJT-Bottom-Zelle [85].

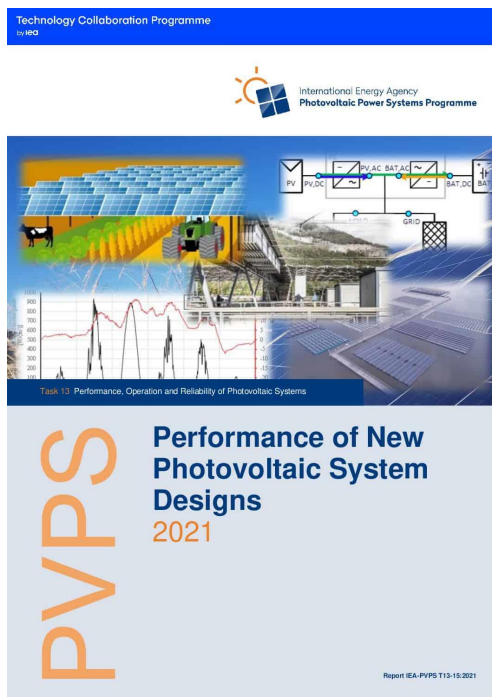
Bifaziale Zellen können sowohl in monofazialen als auch bifazialen Modulen verbaut werden. Auch die Verwendung bifazialer Zellen in monofazialer Verpackung mit weißem Rückseiteneinbettmaterial oder mit einer reflektierenden Rückseitenfolie führt zu einem signifikanten Anstieg des verwertbaren Lichtanteils. Die meisten bifazialen Zellen werden jedoch in bifazialen Doppelglasmodulen oder bifazialen Modulen mit einer transparenten Polymer-Rückseite eingesetzt. Eine Technische Spezifikation zur Messung der Strom-Spannungskennlinien von bifazialen Modulen, IEC TS 60904-1-2 [56] wurde 2019 veröffentlicht, eine Edition 2 wird derzeit erarbeitet.

Mehrere spezifische Degradationsprobleme wurden bei bifazialen Technologien entdeckt. Bauartzulassungs- und Sicherheitsstandards wurden aktualisiert [57], [58], [60], hauptsächlich um Unterschiede im Verhalten und der Leistung von Modulen mit bifazialen Zellen durch höhere Betriebsströme zu berücksichtigen. Auch durch Licht und erhöhte Temperatur induzierte Degradation (LeTID) kann PERC-Zellen beeinflussen, wenn während der Zellherstellung Stabilisierungsprozesse unterbleiben. Isolierte Metallkontakte auf der Rückseite bifazialer Zellen können wasserstoffinduzierte Abbauprozesse beschleunigen und Potenzial induzierte Degradation (PID) durch Migration von Ionen innerhalb des Modulpakets vom Glas zur Zelle erfolgen, was auch speziell die Rückseitenkontakte betreffen kann, und den Zellbetrieb bei Stapelfehlern stören. Eine Ansammlung von Ionen kann auch zu Oberflächenpassivierungsverlusten führen, was ebenfalls zu einer verminderten Leistung führt. Polyolefine erschweren die Ionenwanderung, weshalb solche Einbettmaterialien dabei günstiger abschneiden als das bisherige Standardmaterial Ethylen-Vinyl-Azetat (EVA).

Neue, optimierte bifaziale Kraftwerksdesigns berücksichtigen die bifazialen Zell- und Modulinnovationen. Montagegestelle werden so gestaltet und angeordnet, dass die Modulrückseite bei Freifeldanlagen weniger verschattet wird. Das Reflexionsvermögen des Bodens (Albedo) beeinflusst wesentlich die bifaziale PV-Leistung, weshalb Standorte mit anhaltender Schneedecke profitieren. Der bifaziale PV-Leistungsvorteil wird als "bifazialer Gewinn" ausgedrückt, dem zusätzlichen Anteil der Gesamtenergie, den eine bifaziale PV-Anlage im Vergleich zu einem monofazialen System gleicher Ausrichtung und Nennleistung erzeugt. Diese bifazialen Gewinne steigen mit Albedo, diffussem Anteil, Arrayhöhe über dem Boden, Zeilen- und Modulabstand. Da das auf der Rückseite des Arrays empfangene Licht ungleicher verteilt ist als das Licht, das auf die Vorderseite trifft, führt dies zu einer elektrischen Fehlanpassung innerhalb jedes Moduls und kann je nach Konfiguration

auch Modulstränge betreffen. Höhere Betriebsströme der bifazialen Anlagen sind unter Umständen auch bei der Bemessung von Leitungsquerschnitten, Sicherungen und Wechselrichtern zu berücksichtigen, weshalb auch im Anlagenbereich die Standardisierung anzupassen ist, um bifaziale PV-Technologien zu berücksichtigen. Bifaziale Systeme kommen in vielfältigen Formen: wie monofaziale, aber auch vertikale und 1-achsig dem Sonnenstand nachgeführte Anlagen.

Tabelle 9: *Report IEA-PVPS T13-15:2021* Leistungsfähigkeit neuer PV-Anlagenkonzepte



Herausgeber:

Matthias Littwin (ISFH, DE), Ulrike Jahn, TUV Rh, DE)

Der Report IEA-PVPS T13-15:2021 bietet ein Kompendium neuer Methoden – von Labortests bis zu Fallstudien - zur Charakterisierung neuer Photovoltaik-Anlagenkonzepte.

Der Report gibt eine Übersicht bestehender Normen und Kenngrößen zur Leistungsbeurteilung, beschreibt neue, komplexere Anlagenkonzepte (etwa: indem Speichersysteme enthalten sind, oder AgriPV und schwimmende PV-Systeme) die neben der Energieerzeugung weitere Aufgaben und damit mehrere Zielgrößen haben können, und bietet eine Übersicht der Test- und Evaluierungsmethoden.

ISBN 978-3-907281-04-8

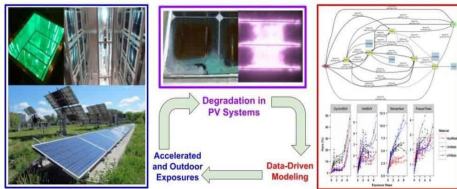
Hauptautoren: Matthias Littwin (ISFH, DE), Franz P. Baumgartner (ZHAW, CH), Mike Green (Green Power Eng, IL), Wilfried van Sark (Utrecht Univ, NL); 15 weitere Co-Autoren aus 6 Ländern, u.a. Christian Messner (AIT, AT).

Download: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/03/IEA-PVPS_Task-13_R15-Performance-of-New-PV-system-designs-report.pdf

Für neue Photovoltaik (PV)-Anlagendesigns wird ein Kompendium neuer Methoden zur Leistungscharakterisierung als Referenz bereitgestellt. Neue Methoden werden durch Laborversuche bis hin zu Fallstudien beschrieben und erklärt. Da die Leistungscharakterisierung mehr ist als die Bewertung der Effizienz einzelner Komponenten oder eines Systems in bestimmten Betriebspunkten, sind mehrdimensionale Analysen erforderlich. Diese Bewertungen sollen fundierte und vergleichbare Kennzahlen liefern, um neue PV-Anlagenkonzepte schneller in neue Anwendungsfelder zu überführen. Als Ausgangspunkt wird eine kurze Einführung in aktuelle Standards und Definitionen zur Leistungscharakterisierung von PV-Anlagen gegeben. Neue PV-Anlagenkomponenten und komplexe Neuanlagen mit PV werden anschließend mit ihren jeweiligen Leistungscharakterisierungsmethoden beschrieben. Wo derzeit noch keine Methoden zur Leistungscharakterisierung für komplexe PV-Anlagen, insbesondere mit mehreren Funktionen, existieren, werden deren Design

und deren Leistung energetisch und hinsichtlich des mehrdimensionalen Nutzungsnutzens anhand von Showcases vorgestellt und beschrieben. So unterschiedlich die Nutzung der einzelnen Anlagen und Anlagen ist, so unterschiedlich muss auch der Ansatz ihrer Leistungsbewertung sein.

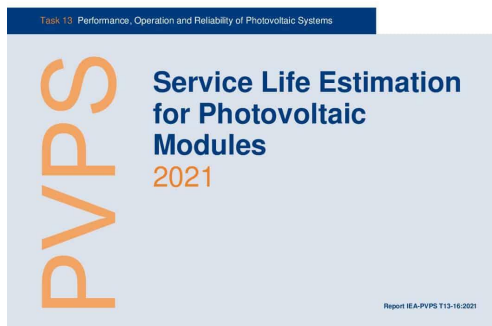
Tabelle 10: Report IEA-PVPS T13-16:2021 Lebensdauerabschätzung für Photovoltaikmodule



Herausgeber:

Ulrike Jahn (VDE Renewables, DE),
Karl-Anders Weiß (Fh ISE, DE)

Der Report IEA-PVPS T13-16:2021 gibt eine Übersicht zum Stand des Wissens der empirischen Methoden der Datenanalyse und Lebensdauermodellierung von Photovoltaikmodulen.



ISBN 978-3-907281-05-5

Der wirtschaftliche Erfolg (Stromgestehungskosten, LCOE) und der ökologische Fußabdruck (Erntefaktor, EPBT, CO₂-Äquivalent) von Photovoltaiksystemen hängt wesentlich vom über die Lebensdauer erzielten Energieertrag der Photovoltaikmodule ab. Der Bericht zeigt Methoden und Modelle die Stressfaktoren und deren Auswirkungen zu bewerten, und enthält auch ein umfangreiches Glossar zu den Begriffen der Lebensdauerabschätzung.

Hauptautoren: Karl-Anders Weiß (Fh ISE, DE), Laura S. Bruckman, Roger H. French (CWRU, US), Gernot Oreski (PCCL, AT), Tadanori Tanahashi (AIST, JP) und weitere 13 AutorInnen, darunter Luis F. Castillion-Gandara (PCCL, AT) und Gabriele C. Eder (OFI, AT), Lukas Neumaier (SAL, AT).
Download: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/07/Report-IEA-PVPS-T13-16_2021_Service_Life_Estimation_4_PV_Modules.pdf

Der wirtschaftliche Erfolg von Photovoltaik-Kraftwerken hängt entscheidend von ihrer Lebensdauer ab. Degradationseffekte und die Gesamtlebensdauer beeinflussen direkt den produzierten Stromertrag und damit den Cashflow, was sich auch auf die Stromgestehungskosten (LCOE) und damit auf die Rentabilität auswirkt. In den meisten Fällen sind die Lebenszeitannahmen und Degradationsraten zur Ertragsschätzung nicht systemspezifisch, sondern basieren auf Durchschnittswerten aus den Bewertungen älterer Systeme oder Datenblätter, und werden als linear angenommen, womit diese Werte weder spezifische Komponenten noch Betriebs- und Klimabedingungen am jeweiligen Standort berücksichtigen. Der Bericht gibt einen Überblick über die empirische Degradationsmodellierung und Lebensdauervorhersage von PV-Modulen, da sie die Hauptkomponenten von PV-Systemen sind, die den Auswirkungen der Degradation unterliegen. Für andere Komponenten, wie etwa die Wechselrichter, liegen keine vergleichbaren wissenschaftlichen Daten

vor. Der Report richtet sich an verschiedene Stakeholder mit unterschiedlichen Hintergründen. Kapitel 1 beginnt mit einer kurzen Einführung, einem komprimierten Überblick über den Stand der Technik. Kapitel 2 gibt in einem Glossar eine Definition relevanter Begriffe und Definitionen, da in Diskussionen über Lebensdauer und Degradation unterschiedliche Begriffe in Industrie und Wissenschaft nicht kohärent verwendet werden. Darüber hinaus wird der wesentliche Begriff "End-of-Life" mit unterschiedlichen Definitionen diskutiert, je nach Sicht und Perspektive der Nutzer:innen und den typischen Faktoren, die sich auf das PV-Modul oder die PV-Anlage auswirken, da das "Lebensende" nicht allgemein definiert werden kann, was bei der Bewertung zu berücksichtigen ist.

In Kapitel 3 werden die verschiedenen klimatischen Stressoren sowie Klassifikationsschemata und -methoden vorgestellt. Das Kapitel beschreibt auch Unterschiede und Beziehungen der makro- und mikroklimatischen Stressoren, die die relevanten Parameter für Degradationsprozesse und damit auch die mathematischen Modelle zur Moduldegradation und Lebensdauervorhersage sind. Die makroklimatischen Umgebungsbedingungen an bestimmten Standorten können mit Hilfe von Daten für die Klimaregionen oder Klimakarten abgeschätzt und klassifiziert werden, wie z. B. das Köppen-Geiger PV-Schema. Für die Bestimmung der mikroklimatischen Stressoren, die als Eingangsparameter für Degradationsmodelle verwendet werden, sind weitere Berechnungen notwendig. Der Bericht zeigt Möglichkeiten auf, die notwendigen Daten für die wichtigsten mikroklimatischen Parameter lokaler Temperatur und Luftfeuchtigkeit zu ermitteln. Kapitel 3 beschreibt auch grundlegende beschleunigte Alterungstests, wie sie in den jeweiligen IEC-Normen beschrieben sind, und wie diese die Vorhersage und Modellierung von Degradation und Lebensdauer unterstützen können und welchen Einschränkungen sie unterliegen.

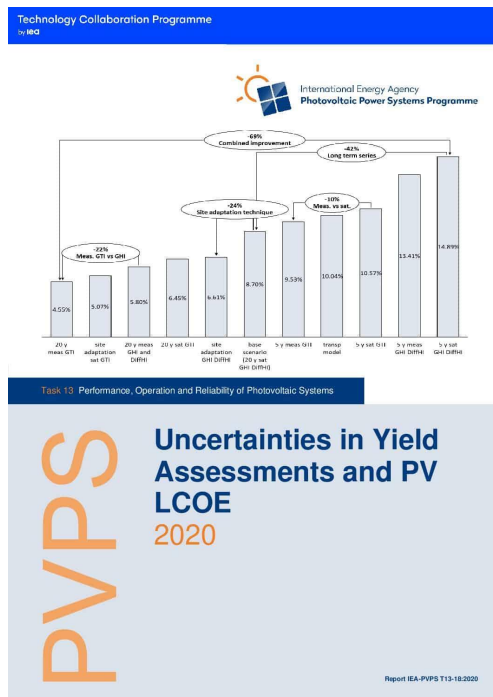
Kapitel 4 behandelt allgemeine Degradations- und Lebensdauermodellierungsansätze: Modelle für spezifische Degradationsphänomene von Modulen, für Degradationseffekte von Komponenten und Materialien. Im Fokus sind die polymeren Materialien, die empfindlich auf klimatische Stressoren reagieren. Die Modellierungsansätze mit prädiktiven und inferenzmechanistischen Modellen werden am Beispiel des Polyethyleneterephthalat-Abbaus (PET) vorgestellt. Zur Beschreibung aller Degradationseffekte ist die Kombination unterschiedlicher Modellierungsansätze notwendig.

Leistungsdegradationsmodelle in Kombination mit den Lebensdauerbedingungen können für die Lebensdauervorhersage verwendet werden. Ein Ansatz zur Entwicklung von Performance Loss Rate (PLR)-Modellen nach der statistischen Methodik wird vorgestellt, einschließlich der Prozesse zur Bestimmung der relevanten Parameter aus Felddaten. Neue wissenschaftliche Arbeiten zeigen, dass Lebensdauer- und Degradationsmodelle für PV-Module dann von besonderem Nutzen sind, wenn sie verschiedene Modellierungsansätze kombinieren, Know-how und Modellierungsparameter der relevanten Degradationseffekte beinhalten. Fortschrittliche Ansätze der Datenanalyse und Modellierung ermöglichen auch die Bestimmung von Degradationssignaturen, was bei zukünftigen Arbeiten zur Identifizierung von Fehlern auf der Grundlage von Betriebsdaten sehr hilfreich sein wird. Sensitivität der Ergebnisse auf Unsicherheiten der Eingabeparameter werden ebenfalls behandelt. (Siehe auch [IEA-PVPS T13 - 01:2014](#) und [IEA-PVPS T13 - 09:2017](#)).

5.2 ST 2 Leistungsfähigkeit von PV-Systemen

Die Reports T13-18 bis T13-22 zum Subtask 2 zur Leistungsfähigkeit sind in Tabelle 11, Tabelle 12, Tabelle 13, Tabelle 14 und Tabelle 15 zusammengestellt und im Anschluss in Kurzbeschreibungen erläutert.

Tabelle 11: *Report IEA-PVPS T13-18:2020* Unsicherheit in PV-Ertragsprognosen und Stromgestehungskosten



ISBN 978-3-907281-06-2

Herausgeber:

David Moser (EURAC, IT),

Boris Farnung (VDE Rene., DE)

Der Report IEA-PVPS T13-18:2020 analysiert die Ertragsprognosen und Vorhersagen zu den Langzeit-Erträgen von Photovoltaikanlagen, die Vorbedingungen der wirtschaftlichen Entscheidungen sind.

Finanzierungsentscheidungen zu Photovoltaikanlagen basieren auf Standort-Ertragsprognosen (YA) und Langzeit-Ertragsprognosen (LTYP), die zusammen mit Kapital- Anlagen- und Betriebskosten (CAPEX, OPEX) notwendig sind, um Stromgestehungskosten (LCOE), Geldflüsse und Rentabilität, den internen Zinsfuß (IRR) und Netto-Barwert (NPV) abzubilden. Prognoseunsicherheiten und deren Auswirkungen werden analysiert.

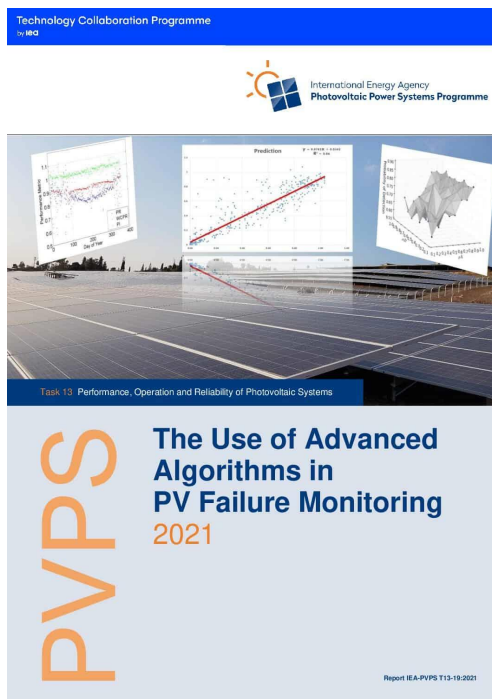
Hauptautoren: David Moser, Sascha Lindig (Eurac, IT), Mauricio Richter, Julián Ascencio-Vásquez (3E, BE), Imre Horvath (IMEC, BE), Björn Müller (Fh ISE, DE), Mike Green (Green Power Eng, IL), Jan Vedde (EuEnergy, DK), Magnus Herz (TUV Rh, DE), Bert Herteleer (KU Leuven, BE), Karl-Anders Weiss (Fh ISE, DE), Bengt Stridh (Mälardalen Univ, SE).

Download: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/01/Report-IEA-PVPS-T13-18_2020-Uncertainties-in-Yield-Assessments-and-PV-LCOE-1.pdf

Ertragsgutachten (Yield Assessments, YA) und Langzeitvorhersagen der Erträge von Photovoltaik-Kraftwerken (Long-Term Yield Predictions, LTYP) sind Vorbedingungen für Entscheidungen in PV-Anlagen zu investieren. Zusammen mit den Kostendaten (Investitionskosten CAPEX, Betriebskosten OPEX und Zinssatz) liefert das Ertragsgutachten und die Langzeitvorhersage der Erträge die Parameter, die für die Berechnung der Stromgestehungskosten (Levelized Cost of Electricity, LCOE) benötigt werden und zur Bewertung des Cashflow-Modells einer Investition mit Rendite (Internal Rate of Return, IRR) und Kapitalwert (Net Present Value, NPV) erforderlich sind.

YA- und LTYP-Angaben sollten mit einer entsprechenden Überschreitungswahrscheinlichkeit versehen werden. Eine Verringerung der Unsicherheit des Energieertrags kann zu höheren Werten für eine gegebene Überschreitungswahrscheinlichkeit (exceedance probability, z.B. P50, P90) und damit zu einem verbesserten Business Case führen. Für gegebene Anlagenstandorte werden mit unterschiedlichen Prognosemodellen YA- und LTYP-Werte berechnet, und mit realen Anlage-Monitoringdaten verglichen. (Siehe dazu auch IEA-PVPS T13 - 08:2017 und IEA-PVPS T13 - 12:2018).

Tabelle 12: *Report IEA-PVPS T13-19:2021* Anwendung fortschrittlicher Verfahren zur PV-Fehleridentifikation



ISBN 978-3-907281-07-9

Herausgeber:

Mike Green (Green Power Eng., IS);

Ulrike Jahn (VDE Renewables, DE).

Der Report IEA-PVPS T13-19:2021 gibt eine Einführung in das sich rasch entwickelnde Gebiet der neuen statistischen Methoden der Photovoltaik-Anlagenzustandsüberwachung und -fehlerdetektion.

Die maßgeblichen Methoden zur Fehleridentifikation sind das Identifizieren fehlerhafter elektrischer Signaturen, Vergleiche von historischen oder vorherberechneten mit aktuellen Leistungsdaten, Vergleiche der Daten von Teil- und Gesamtsystemen. Die Ansätze beinhalten die Anwendung von maschinellem Lernen, statistischen Testverfahren, Festlegungen von Rechenregeln und modellbasierte Vergleiche.

Hauptautoren: Shimshon Rapaport, Mike Green (Green Power Eng., IS); mit Beiträgen von Carolin Ulbrich, Paolo Graniero (PVcomB, HZB, DE); Atse Louwen (EURAC, IT).

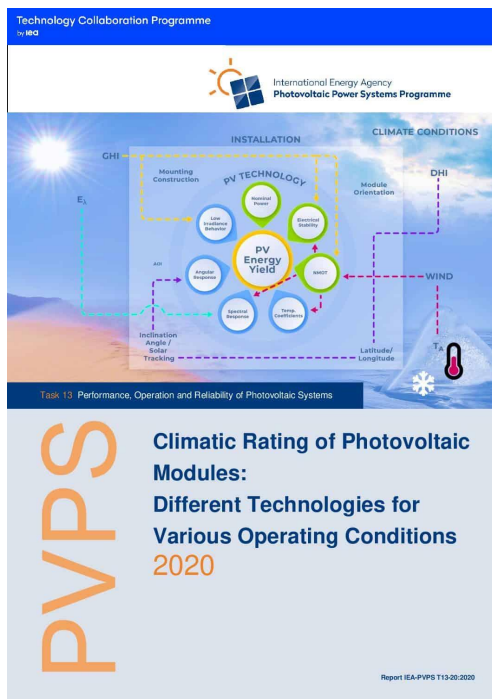
Download: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/10/Final-Report-IEA-PVPS-T13-19_2021_PV-Failure-Monitoring.pdf

Der Bericht gibt eine Einführung und Übersicht Methoden und Anwendungen des sich rasch entwickelnden Gebiets der neuen statistischen Methoden der Photovoltaik-Anlagenzustandsüberwachung und -fehlerdetektion. Methoden sind maschinelles Lernen, spezifische Rechenverfahren, Vergleiche mit physikalischen und statistischen Modellen, um fehlerhafte elektrischer Signaturen, Abweichungen zwischen historischen oder vorherberechneten mit aktuellen Leistungsdaten zu entdecken, und Schlüsse aus Vergleichen der Daten von Teil- und Gesamtsystemen zu ziehen.

Strom und Spannung auf der Gleich- und Wechselspannungsseite, Einstrahlung und Temperatur, ergänzt mit lokalen Daten von Umwelt-Sensoren, Wetterstationen und -satelliten dienen meist als

Input für Maschinelles Lernen: neuronale Netze, Klassifikation nächster Nachbarn, Fuzzy-Logik, Support Vector Machines, aber auch für Regressionsmodelle. Ergebnisse bei gleichem Input an Anlagendaten von 8 der vorgestellten 22 Algorithmen zeigen die Wichtigkeit der Trainingsdaten und unterschiedliche Sensitivität bei der Fehleridentifikation. (Siehe auch IEA-PVPS T13 - 07:2017).

Tabelle 13: Report IEA-PVPS T13-20:2020 Klima-Rating von PV-Modulen: Unterschiedliche Technologien für unterschiedliche Betriebsbedingungen



ISBN 978-3-907281-08-6

Herausgeber:

Ulrike Jahn (VDE Renewables, DE)

Der Report IEA-PVPS T13-20:2020 Stellt Verfahren vor, die erforderlich sind, um den Standort-Energieertrag von Photovoltaikmodulen für unterschiedliche Klimabedingungen zu bestimmen.

Die Modul- und Photovoltaikanlagennennleistung in kW bezieht sich auf einen singulären Betriebspunkt bei Standardtestbedingungen (STC). Der Jahresertrag (Energy Rating, in kWh/a) hängt aber auch von Temperatur- und Verhalten bei nichtidealen Einstrahlungsbedingungen (niedrige und schräge Einstrahlung, spektrale Abweichungen) ab, deren Ausmaß je nach Standort-Klimabedingungen variiert. Methoden und Ansätze der Erweiterung auf neue Anwendungs- und Einsatzgebiete werden diskutiert.

Hauptautoren: Johanna Bonilla Castro (TÜV Rh, DE), Markus Schweiger (TUV RH, DE), David Moser (EURAC, IT), Tadanori Tanahashi (AIST, JP), Bruce H. King, Joshua S. Stein (Sandia NL, US), Gabi Friesen (SUPSI, CH), Liu Haitao (CAS, CN), Roger H. French, Laura S. Bruckman (CWRU, US), Björn Müller, Christian Reise (Fh ISE, DE), Gabriele Eder (OFI, AT), Wilfried van Sark (Utrecht Univ., NL), Yaowanee Sangpongsanon (CSSC, TH), Felipe Valencia (ATAMOSTEC, CL).

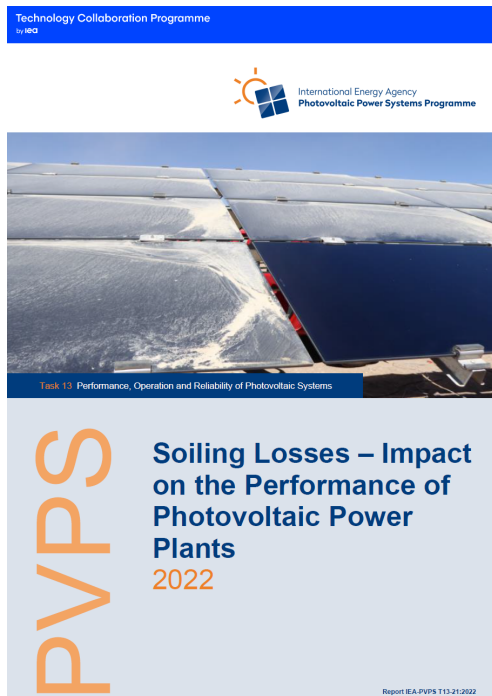
Download: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/02/Report-IEA-PVPS-T13-20_2020-Climatic-Rating-of-PV-Modules.pdf

Die am Typenschild eines Photovoltaikmoduls ausgewiesene Nennleistung stellt nur einen singulären Betriebspunkt dar. Für die Bewertung des Jahresertrags (Energy Rating) sind weitere Parameter und Standort-Eigenschaften relevant, die den Jahresertrag beeinflussen. Die installierte Anlagen-Leistung bringt also je nach Standort und PV-Modultechnologien unterschiedliche Erträge.

Der Bericht bietet ein Kompendium zum aktuellen Stand des Energy Ratings, das einen Bogen von Eingangsdaten zu Technologien (aus Labor- und/oder Freifeldmessungen), klimatischen Bedingun-

gen bis hin zur Beschreibung und Bewertung bestehender Verfahren (etwa nach der IEC 61853 Serie und Methoden von Solarforschungsinstituten). Es eröffnet auch die Diskussion über die Anwendbarkeit bzw. Übertragung dieser Methoden für neue Technologien wie bifaziale Module, gebäudeintegrierte Photovoltaik, farbige PV-Module, sowie die Unsicherheiten bei der Bewertung auf Modul- und Systemebene. (Siehe auch Report IEA-PVPS T13 - 11:2018).

Tabelle 14: Report IEA-PVPS T13-21:2022 Einfluss von Verschmutzung auf die Leistungsfähigkeit von PV-Kraftwerken



Herausgeber:

Ulrike Jahn (VDE Renewables, DE)

Der Report IEA-PVPS T13-21:2022 gibt eine Übersicht zum Stand des Wissens über Verschmutzung bei Photovoltaikanlagen.

Global ist Verschmutzung der größte Einzelfaktor, der den Systemertrag schmälert. Von Partikelgrößen und deren Verteilung, Verschmutzungsmechanismen, Sensorik und Messtechnik, zu wirtschaftlichen Konsequenzen und Abhilfemaßnahmen, auch bei Schneebedeckungen in Höhenlagen und aquatorfernen Standorten sind im Bericht enthalten. Zielgruppen sind PV-Kunden und Industrie, Investoren und Betreiber, Geräte und Prüfentwickler, Standardisierungs- und Forschungseinrichtungen.

ISBN 978-3-907281-09-3

Hauptautoren: Christian Schill (Fh ISE, DE), Anne Anderson (RISE, SE), Christopher Baldus-Jeursen (CANMET, CD), Laurie Burnham (SNL, US), Leonardo Micheli (Univ. Jaén, ES), David Parlevliet (Murdoch Univ., AU), Eric Pilat (CEA INES, FR), Bengt Stridh (Mälardalens Univ., SE), Elías Urrejola (ATAMOSTEC, CL) mit Beiträgen weiterer 11 AutorInnen.

Download: <https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2023/01/IEA-PVPS-T13-21-2022-REPORT-Soiling-Losses-PV-Plants.pdf>

Verschmutzung von Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen) durch Staub und Schnee ist der einflussreichste einzelne Faktor, der Einstrahlung und Anlagenertrag mindert. Schätzungen gehen von einem Verlust von 3 bis 5% des jährlichen Energieertrags aus und einem finanziellen Verlust von ca. 3 bis 5 Mrd. € durch Minderleistung sowie dem Aufwand für Investitionen und Reinigung. Vor allem in ariden Regionen können Verschmutzungen große PV-Anlagen in erheblichem Maße beeinträchtigen. Meist ist die Verschmutzung sowohl auf Modul- als auch auf Anlagenebene sehr heterogen und erfordert Multi-Sensor-Netzwerke zur genauen Bewertung der Verschmutzungsraten und für Entscheidungen, wann der optimale Zeitpunkt zur Reinigung ist. Verbesserung der Modellierungsansätze benötigen zusätzliche Daten zur Validierung.

Aspekte der Verschmutzung werden aus verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet, wie Partikeltypen und globale Verteilungen, Mechanismen und Einflussfaktoren, Sensoren und Messtechniken, Modellierungsansätze und Ergebnisse, wirtschaftliche Auswirkungen, Abhilfestrategien und spezielle Installations- und Betriebsüberlegungen für den Schutz vor Schnee, da Solaranlagen zunehmend auch in höheren Breiten und Hochlagen installiert werden. Der Bericht adressiert die PV-Kunden, Industrie, Betriebs- und Wartungsunternehmen, Investoren, Verwalter, Geräteentwickler und Prüfinstitutionen, Standardisierungsgremien und Forschungseinrichtungen.

Tabelle 15: Report IEA-PVPS T13-22:2021 Auswertung der Verlustrate der Anlagenerträge von Photovoltaikanlagen (Performance Loss Rate - PLR)



ISBN 978-3-907281-10-9

Herausgeber:

Roger H. French (CWRU, US),
Boris Farnung (VDE Ren., DE).

Der Report IEA-PVPS T13-22:2021 stellt Studienergebnisse zusammen, bei der auf Basis gegebener langjähriger Anlagenertragsdaten kommerzieller Photovoltaikanlagen deren Verlustraten berechnet wurden.

Für Photovoltaikanlagen in unterschiedlichen Klimazonen wurde auf der Basis von Monitoringdaten (Wetter und Ertrag) mit unterschiedlichen Methoden die Verlustrate (Performance Loss Rate, PLR in %/a) über die Betriebsdauer berechnet, Ergebnisse sowie angegebene Berechnungsunsicherheiten gegenübergestellt und analysiert. PLR-Werte werden von Eigentümern, Betreibern und Investoren verwendet, und beeinflussen deren Entscheidungen.

Hauptautoren: Roger H. French, Laura S. Bruckman (CWRU, US), David Moser, Sascha Lindig (EURAC, IT), Mike van Iseghem (EDF, FR), Björn Müller (Fh ISE, DE), Joshua S. Stein (Sandia NL, US), Mauricio Richter (3E, BE), Magnus Herz (TUV Rh, DE), Wilfried van Sark (Utrecht Univ, NL), Franz Baumgartner (ZHAW, CH).

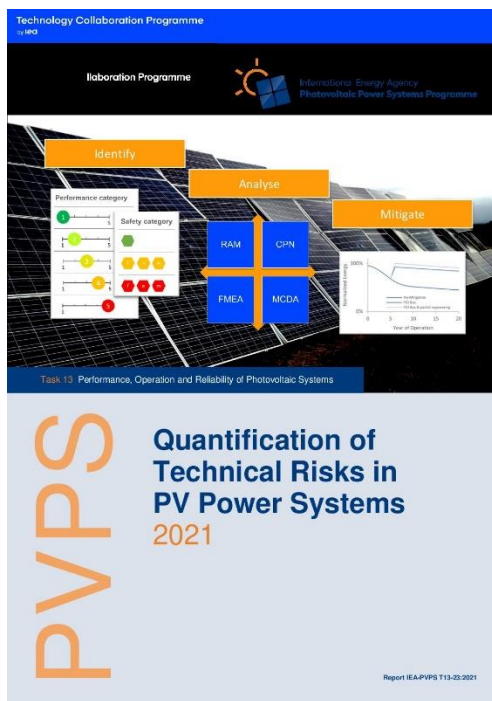
Download: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA-PVPS-T13-22_2021-Assessment-of-Performance-Loss-Rate-of-PV-Power-Systems-report.pdf

Performance Loss Rates (PLRs) von Photovoltaik (PV) Kraftwerken werden mit Wetterdaten und Daten des Stromertrags der PV-Anlagen berechnet und von Kraftwerkseigentümern, Betreibern und Investoren verwendet, um die erwartete Leistung einer PV-Anlage über ihre Lebensdauer zu bestimmen. Es wird identifiziert, welche Ansätze ähnliche Ergebnisse produzieren und wodurch Inkonsistenzen in den Berechnungsmethoden verursacht werden. (Siehe auch Reports IEA-PVPS T13 - 06:2017 und IEA-PVPS T13 - 03:2014).

5.3 ST 3 Betriebsdaten, Betriebs- und Wartungsstrategien

Die Reports T13-23 bis T13-25 zum Subtask 3 zu den Betriebsdaten, Betriebs und Wartungsstrategien sind zu Report T13-23 in Tabelle 16, Report T13-24 in Tabelle 17 und zu T13-25 in Tabelle 18 zusammengestellt und im Anschluss in Kurzbeschreibungen erläutert.

Tabelle 16: Report IEA-PVPS T13-23:2021 Technische Risikobestimmung in PV-Kraftwerken



Herausgeber:

Magnus Herz (TUV RH, DE),
Ulrike Jahn (VDE Ren., DE).

Der Report IEA-PVPS T13-23:2021 thematisiert die Risikoanalyse zur Identifizierung und Reduzierung der mit PV-Investitionen verbundenen Risiken.

Zentral ist es, Risiken zu identifizieren, mögliche Auswirkungen abzuschätzen, geeignete Maßnahmen zu identifizieren, das technische und finanzielle Risiko zu minimieren. Je nach Fehlerursache und Auswirkung sind Korrektur- und Abhilfemaßnahmen einzuleiten. Risikoanalysemethoden werden mit ihren Vorzügen und Schwächen dargestellt: Fehler-Moden und Effekt Analyse (FMEA), Multi-kriterielle Entscheidungsanalyse (MCDA), Analyse von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Wartbarkeit (RAM), aus FMEA entwickelte Kosten-Prioritätszahlen (CPN).

ISBN 978-3-907281-11-6

Hauptautoren: Magnus Herz (TUV Rh, DE), Gabi Friesen (SUPSI, CH), Ulrike Jahn (VDE Ren, DE), Marc Köntges (ISFH, DE), Sascha Lindig & David Moser (EURAC, IT); sowie Beiträgen von Karl Berger (AIT, AT), Roger H. French (CWRU, US), Matthias Littwin (ISFH, DE) und Jan Vedde (EuEnergy, DK).

Download: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA-PVPS-T13-22_2021-Assessment-of-Performance-Loss-Rate-of-PV-Power-Systems-report.pdf

Die Risikoanalyse dient der Identifizierung und Reduzierung der mit Investitionen verbundenen Risiken in PV-Projekten. Zentrale Herausforderung ist, Risiken zu vermeiden oder zu reduzieren, und auf Ausfälle in einer angemessenen Zeitspanne zu reagieren, um Auswirkungen klein zu halten. Best-Practice-Richtlinien werden oft nur angewendet, solange die empfohlenen Maßnahmen Vorteile für die Ausführenden haben, womit die Frage verknüpft ist, wie den Eigentümern und Auftraggebern Anwendung und Wirksamkeit von Maßnahmen dargestellt werden können. Vor- und Nachteile bei der Anwendung von Bewertungsmethoden auf PV-Kraftwerke werden gegenübergestellt, Fallstudien der Risiko- und Kosten-Nutzen Analyse vorgestellt. Standardisierte Definitionen, maßgebliche Kennzahlen (Key performance Indizes, KPI) und automatisierte Bewertungsverfahren

sind Schlüssel, um Entscheidungen zu unterstützen. Im Anhang des Reports werden Fehlerdatenblätter (PV Failure Fact Sheets, PVFS) sowie die PV-Fehlerdegradationsdatenblätter (PV Failure Degradation Sheets, PVDS) dargestellt, siehe dazu auch Report IEA-PVPS T13-09:2017, die zur Fehlerdetektion und Risikoabschätzung anwendbar sind. Neuartige Fehlermuster, etwa LeTID und PID-d wurden hinzugefügt. Die Fehlerstatistiken können für Risikomodelle verwendet werden, die Kosten der Risikomitigation abbilden [79], [70]. (Siehe auch IEA-PVPS T13 - 08:2017).

Tabelle 17: Report IEA-PVPS T13-24: Mobile Testmethoden zur PV-Kraftwerksqualifizierung



ISBN 978-3-907281-12-3

Herausgeber:

Werner Herrmann (TRE, DE),
Ulrike Jahn (VDE Ren., DE).

Der Report IEA-PVPS T13-24:2021 gibt eine Übersicht zu mobilen Testverfahren, die für die Zustands-evaluierung in PV-Kraftwerken im Feld anwendbar sind.

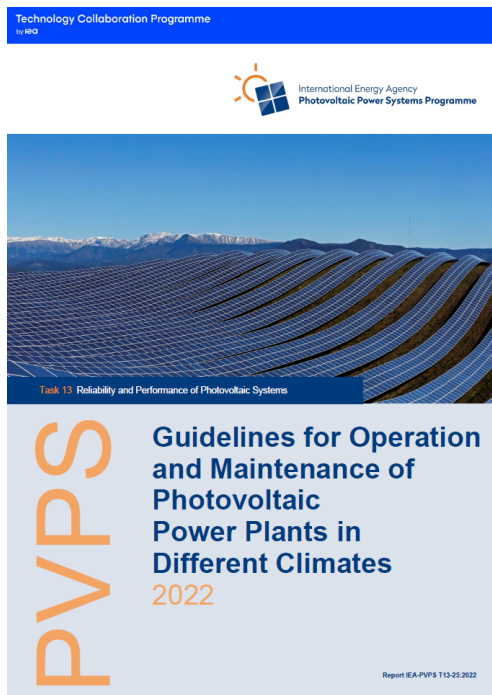
Als Testverfahren, die für PV-Kraftwerke und -komponenten im Feld anwendbar sind eignen sich kennlinienbasierte Messverfahren mit mobilen Messeinrichtungen, spektroskopisch-optische Verfahren für die Analyse der eingesetzten Kunststoffe, elektrische Impedanzspektroskopie, sowie unterschiedliche bildgebende Verfahren, bei denen auch Drohnen zum Einsatz kommen können: Elektro- und Fotolumineszenz, Ultraviolett-Fluoreszenz.

Hauptautoren: Werner Herrmann (TRE, DE), Gabriele Eder (OFI, AT), Boris Farnung (Fh ISE, DE), Gabi Friesen (SUPSI, CH), Marc Köntges (ISFH, DE), Bernhard Kubicek (AIT, AT), Oliver Kunz (UNSW, AU), Haitao Liu (CAS, CN), David Parlevliet (Murdoch Univ., AU), Ioannis Tsanakas (CEA INES, FR), Jan Vedde (EurEn, DK), Beiträgen von 29 weiteren, u.a. von K. Berger und G. Oreski.

Download: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA-PVPS-T13-24_2021_Qualification-of-PV-Power-Plants_report.pdf

Werden bei Problemen in PV-Kraftwerken Komponenten zur Analyse abgebaut und in ein Labor gebracht, sind Transportrisiko und Kosten für die Analyse und durch den Ausfall der Anlage verbunden. Der Report fokussiert auf Methoden, die direkt vor Ort anwendbar sind, um den Anlagenzustand zu erfassen. Vorteilhafte Verfahren sind elektrische Untersuchungen auf Basis von Strom-Spannungskennlinien, bildgebende Verfahren die Zelleigenschaften offenlegen, wie Elektro- und Fotolumineszenz, sowie Ultraviolett-Fluoreszenz, die teilweise auch durch Drohnen erfolgen können. Einsicht in die Kunststoff-Verbundmaterialien bieten spektroskopische Verfahren, elektrische Impedanzspektroskopie kann Fehler an elektrischen Verbindungen offenlegen. (Siehe auch IEA-PVPS T13 - 01:2014 und IEA-PVPS T13 - 09:2017). Zu dem Report ist auch ein 4-seitiges Fact-Sheet verfügbar [34], das 10 Methoden zusammenfasst, die für Anlagen im Feld anwendbar sind.

Tabelle 18: *Report IEA-PVPS T13-25: Richtlinien für Wartung und Betrieb von PV-Kraftwerken in unterschiedlichen Klimata*



ISBN 978-3-907281-13-0

Herausgeber:

Ulrike Jahn (VDE Ren., DE).

Der Report IEA-PVPS T13-25:2022 gibt eine Übersicht zu Betriebs- und Wartungsstrategien für unterschiedliche Klimabedingungen.

Da Photovoltaik-Anlagen inzwischen in unterschiedlichsten Klimabedingungen und Anwendungen eingesetzt sind, zeigt sich, dass klimatische Stressbedingungen wie etwa Temperatur und häufige Temperaturwechsel, Feuchte und Regen, Wind und Sturm, hohe Ultraviolettstrahlung, zum Auftreten von Fehlern führen können. Klimaangepasste Strategien, für Betriebsführung und Wartung von Anlagen werden vorgestellt, wobei gemäßigtes, heiß-trockenes, heiß-feuchtes Klima, hochgelegene Wüste, von Hochwasser, Orkanen und Schnee betroffene Gebiete berücksichtigt wurden.

Hauptautoren: Ulrike Jahn (VDE Ren., DE), Bert Herteleer (KU Leuven, BE), Caroline Tjengdrawira (Tractebel, BE), Ioannis Tsanakas (CEA INES, FR), Mauricio Richter (3E, BE), George Dickeson (E-kistica, AU), Alexander Astigarraga (EURAC, IT), Tadanori Tanahashi (AIST, JP), Felipe Valencia (Atamostec, CL), Mike Green (Green Pwr Eng, IL), Anne Anderson (RISE, SE), Bengt Stridh (Mälardalen Univ, SE), Ana Rosa Lagunas Alonso (CENER, ES), Yaowanee Sangpongsanont (KMUTT, TH), und Beiträgen von 13 weiteren Personen, darunter Karl Berger (AIT, AT).

Download: <https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2022/11/IEA-PVPS-Report-T13-25-2022-OandM-Guidelines.pdf>

Die zunehmende, weltweite Verbreitung von PV-Anlagen in verschiedenen Klimazonen und unterschiedlichen Betriebsbedingungen zeigt, dass Stressfaktoren wie Temperatur, Feuchte, Ultraviolettstrahlung, Regen und Wind zum Auftreten von Modulfehlern beitragen können. Daher haben Unternehmen, die Betriebs- und Wartungsservices (Operation & Maintenance, O&M) durchführen, diese O&M-Dienste an das Klima anzupassen, wo sich die Anlagen befinden. Dieser Bericht möchte eine Anleitung für klimaspezifische Betriebs- und Wartungsservices. Die ersten vier sind für in weiten Teilen der Welt vorherrschende Bedingungen (gemäßigt, heiß und trocken, heiß und feucht, Wüste in großer Höhe), während die anderen drei für Extrembedingungen (durch Hochwasser oder Orkane gefährdete, schneebedeckte Regionen) erstellt wurden. Diese Richtlinien können bei der Planung und Wartung von PV-Anlagen sowie bei der Bestimmung der betrieblichen Risiken im Zusammenhang mit Investitionsentscheidungen unterstützen. Es werden die Bereiche O&M-Leistungsindikatoren, O&M-Standard Betreiberdienste, Überwachungsrichtlinien, Prognose

und Analyse der Leistungsfähigkeit und Sicherheit von PV-Anlagen, sowie entsprechende Inspektionen behandelt.

5.4 ST 4 Disseminierungsmaßnahmen

Nach dem Ende der Reisebeschränkungen durch die COV-19 Pandemie gibt es häufiger zusätzliche online-Meetings, statt physische Treffen, wobei einerseits die internationale Zusammenarbeit im Task auch davor schon intensiv online Meetings und gemeinsam bearbeitbare online-Dokumente nutzte. Die zwei physischen internationalen Task 13 Treffen pro Jahr sind weiterhin bzw. wieder etabliert. Nationale und internationale Konferenzen und Workshops werden selten hybrid (teilweise online) gehalten. Der internationale Task 13 ist stets auf den Europäischen Photovoltaikkonferenzen EU-PVSEC, [21], [108], [52], [53] und bei der Fachmesse InterSolar München [49], [50] vertreten bzw. hat dort Parallel-Events, bei denen aktuelle Themen aus dem Task vorgestellt werden. Dies war auch bei der EU-PVSEC 2024, die nach 1998 zum zweiten Mal in Wien abgehalten wurde, der Fall [38]. Häufig wird auch bei den internationalen Treffen des Task 13 ein Workshop angeschlossen [75], [54]. Zu einigen der Reports und Inhalten der neuen Arbeitsperiode 2022 bis 2025 wurden auch Webinare gehalten [69], [46], [51], [47], [44].

Beim 14. SOPHIA Workshop, der im April 2024 an der Hasselt University, Belgien stattfand, wurde ein hybrides Task 13 Webinar zu adaptierten Testverfahren zu neuen Technologien eingebettet [42]. Ebenfalls im April 2024 wurde von IEA PVPS (Task 13) und ISES, der International Solar Energy Society, ein Joint-Webinar zu 2nd Life PV, d.h. Wiederverwendung und Reparatur von PV-Modulen unter der Leitung von Gernot Oreski gehalten [43].

Disseminierung in Österreich erfolgt bei Treffen mit österreichischen Stakeholdern bei Workshops der Österreichischen Technologieplattform Photovoltaik [101], z.B. [83], [104], [105] und des Verbands Photovoltaik Austria (PVA) [16], z.B. [77], sowie auf der Österreichischen Fachtagung für Photovoltaik und Stromspeicher, z.B. [82], [91]. Darüber hinaus werden viele der im Task 13 erarbeiteten Inhalte auch laufend mit österreichischer Beteiligung in renommierten Fachjournalen publiziert, z.B. [21], [74], [108], [81], [22]. Siehe dazu auch Kapitel 4.

5.4.1 Erkenntnisse und Wirkungen, international und in/für Österreich

Schon von Beginn an ist der Task 13 ein unverzichtbarer Bestandteil im IEA-PVPS TCP. Da einerseits viele Personen, die global an allen Aspekten der Leistungs- und Zuverlässigkeit von Photovoltaik arbeiten im Task vertreten sind, und sich andererseits die Photovoltaik-Branche wie im Kapitel 3 angedeutet, extrem dynamisch entwickelt, ergibt sich eine sehr intensive und fruchtbare Zusammenarbeit, was die große Anzahl und den Umfang der Publikationen des Task 13 zeigt. Insgesamt bieten die ersten 12 Reports, die 2010-2018 publiziert wurden, mehr als 1000 Seiten, die nun in der 3. Arbeitsperiode hinzugekommenen weiteren 12 Reports auf über 1400 Seiten wertvolle, frei verfügbare Informationen zu vielfältigen Aspekten des technischen und wirtschaftlichen Betriebs

von Photovoltaikanlagen. Ein maßgeblicher Faktor für die Kompetenz und Kontinuität im Task 13 ist unsere Task-Leitung durch die ausgezeichnete und unermüdliche Ulrike Jahn, die bei der 38. europäischen Photovoltaikkonferenz EU PVSEC 2021, am 6.9.2021 für ihre Verdienste mit dem Becquerel-Preis ausgezeichnet wurde [35]. Dabei wurde explizit auf ihre Verdienste im IEA PVPS TCP und speziell als langjährige Leiterin des Task 13 hingewiesen. Sie selbst versteht dies in ihrer Dankesrede auch als Wertschätzung für die Task 13 Community und alle die dabei unterstützen.

Qualität in einer großen Anzahl unterschiedlicher Dimensionen ist das verbindende Thema des Task 13, von der Fertigung von Komponenten bis zur Errichtung von Photovoltaikanlagen, Entscheidungen zu deren Finanzierung, Wartung und Betrieb, Analyse von Betriebsdaten und Fehlerdetektion bei der Anlageninspektion, etc. Entsprechend heterogen sind auch die Zielgruppen der unterschiedlichen Reports. Themen werden oft zu einem späteren Zeitpunkt erneut aufgegriffen, wenn neue, detailliertere Informationen verfügbar sind, oder neuartige Konzepte in Fertigung, Anwendung oder Auswertung eine Erweiterung des Wissens ermöglichen. Mehrere Berichte des Task 13 waren auch Anlass in der internationalen Normung Testverfahren weiterzuentwickeln. Dabei kooperieren Personen des Task 13 auch mit PVQAT [92].

5.4.2 Ergebnisse im Berichtszeitraum – international und national

Dieser Endbericht umfasst etwa die erste Hälfte des internationalen Task 13.4, in der vor allem Inhalte definiert wurden, die in der zweiten Hälfte (2024-2025) dann umgesetzt werden. Daher sind derzeit nur wenige Ergebnisse verfügbar, weshalb in den vorigen Kapiteln 5.1 bis 5.4 die Ergebnisse der nun abgeschlossenen Arbeitsperiode Task 13.3 zusammengefasst wurden. Einige der Deliverables des Task 13.3 konnten erst in der neuen Arbeitsperiode Task 13.4 fertiggestellt werden. Siehe auch die Tabelle 6 als Übersicht der Reports des Task 13.3, und Tabelle 7 bis bis Tabelle 18 für Titelseite, Synopsis, Autor*innen, und eine Zusammenfassung der Inhalte im Anschluss an die jeweilige Tabelle. Weitere Ergebnisse siehe in der Literatur (ab Seite 57).

Die Beiträge der österreichischen Task-Teilnehmer:innen sind vielfältig: Von den 12 Reports der Vorperiode ist bei einem (*IEA-PVPS T13 - 13*) Oreski (PCCL) Editor, an vier Reports zählen Oreski (PCCL, 2x), Eder (OFI, 3x), Kubicek und Berger (AIT) zu den Hauptautor*innen, bei fünf Reports haben Oreski, Castillion-Gandara (PCCL), Eder (OFI), Neumaier (SAL), Berger (AIT), Messner (AIT) beigetragen, siehe Tabellen in den vorigen Kapiteln. Welche Reports für österreichische Stakeholder besonders wichtig sind, ist nicht generell zu beantworten, denn die Reports haben – wenn auch Qualität das verbindende Thema ist – sehr unterschiedliche Zielsetzungen und genauso haben unterschiedliche Unternehmen und Forschungseinrichtungen ebenfalls unterschiedliche Schwerpunkte und Interessen. Eine Übersicht zur österreichischen Photovoltaik Wertschöpfung, Industrie- und Forschungslandschaft ist in [102] dargestellt. Generell ist festzustellen, dass global früher größere Anlagen errichtet wurden, als dies in Österreich der Fall war, wobei in den letzten Jahren auch in Österreich vermehrt größere Anlagen auf Flachdächern (Industrie, Märkte) und zuletzt auch (Freifeld) Multi-MW Kraftwerke errichtet werden, weshalb Errichtungs- und Betreiberfirmen nun von den internationalen Erfahrungen mit Großanlagen besonders profitieren können.

Im Literaturverzeichnis sind am Anfang die Task-Reports 1 bis 25 aufgelistet. Unter **1. Periode des Task 13** (S. 53), und **2. Periode des Task 13** (S. 54) sind auch die zuvor publizierten Task-Reports gefolgt von denen der **3. Periode des Task 13** (S. 55) und **4. Periode des Task 13** (S. 56) zusammengestellt und jeweils auch deren Download-Links verzeichnet. Anschließend sind ab Seite 57 **Andere Literaturzitate** alphabetisch sortiert gelistet.

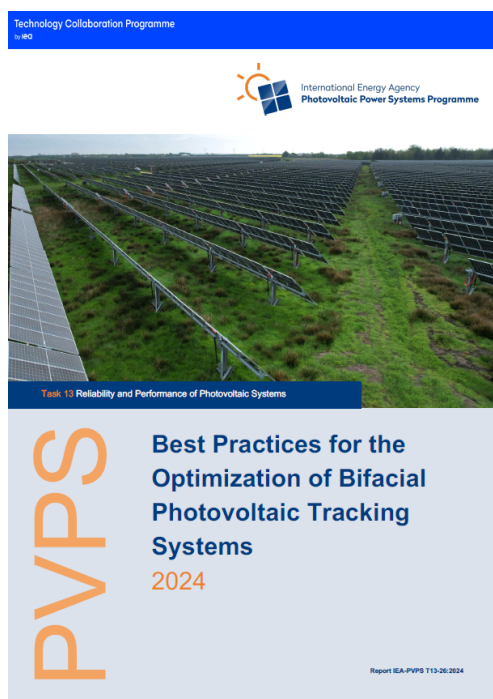
Die für die aktuelle Arbeitsperiode Task 13.4 in den Subtasks 1-4 (Tabelle 3) beabsichtigten Deliverables, siehe Tabelle 4, sind weitgehend im Plan. Inzwischen ist ein Report zu Deliverable D 2-3, nach T 13 internem Review im Mai-Juni 2024 veröffentlicht worden:

- T13-26 (D 2-3) Best Practices for the Optimization of Bifacial Photovoltaic Tracking Systems, siehe Tabelle 19.

(Einachsig) nachgeführte bifaziale Anlagen haben inzwischen global über 60% Anteil an den neu installierten Großanlagen. 2-achsig nachgeführte Systeme, die es erlauben, optimal der Sonnenposition zu folgen sind wesentlich aufwendiger und daher generell ein Nischenprodukt, dessen Relevanz mit sinkenden PV-Modulpreisen noch weiter abgenommen hat. Die 1-achsige Bauform mit horizontaler Welle (HSAT – Horizontal Single Axis Tracker) ist mechanisch wesentlich weniger aufwendig, und wurde zuerst bei eher äquatornahen Standorten eingesetzt. Vergleichende Studien konnten zeigen, dass diese Bauform in der Kombination mit bifazialen Photovoltaikmodulen nahezu an allen Standorten niedrigere Stromgestehungskosten hat als andere Anlagenvarianten [96] und IEA-PVPS T13 - 1, (siehe auch Tabelle 8 für eine Zusammenfassung).

Im Gegensatz zum internationalen Trend sind solche Anlagen in Österreich bisher kaum umgesetzt worden. Der Großteil der österreichischen Anlagen ist auf Dächern installiert, Freifeldanlagen hatten nur einen Anteil von 11,8% an der 2023 neu installierten PV-Kraftwerkskapazität [8]. Daher fehlten Erfahrungen aus Österreich, um zum Report beitragen zu können. Allerdings hat die HSAT-Konfiguration auch in Österreich durchaus Potenzial, vor allem bei Agri-PV-Anlagen. Eine kleine Pilotanlage wurde von RWA Solar Solutions 2022 in Pöchlarn errichtet („Wanderfrucht“) [80], [93], Der Windkraft- und PV-Projektentwickler und -Betreiber EWS startete 2021 mit dem EWS Sonnenfeld – Bruck/Leitha mit einer größeren HSAT Agri-PV Pilotanlage, die Ende 2022 in Betrieb ging (insgesamt 3,3 MW auf 5 ha) [86], [27]. Inzwischen sind weitere Agri-PV HSAT-Projekte der EWS in Umsetzung [28]. Diese Bauform bietet nicht nur Vorteile in bei der Bearbeitung der landwirtschaftlichen Fläche, sondern ermöglicht im Vergleich zum Großteil fix installierten Anlagen auch höhere Erträge zu den Morgen- und Abendstunden, wo der Börsenmarktpreis elektrischer Energie höher ist als zur Mittagszeit [4]. Zusätzliche Vorteile ergeben sich im Zusammenhang mit Hagel, Wind- und Schneelasten wobei ein schneebedeckter Untergrund durch die hohe Albedo zusätzliche bifaziale Ertragsgewinne ermöglicht.

Tabelle 19: Report IEA-PVPS T13-26: Optimierung bifazialer nachgeführter PV-Systeme



ISBN 978-3-907281-62-8

Herausgeber:

Josuha S. Stein (Sandia NL, US),
Ulrike Jahn (Fh CSP, DE).

Der Report IEA-PVPS T13-26:2024 gibt eine Übersicht zu Betriebs- und Wartungsstrategien für unterschiedliche Klimabedingungen.

Derzeit benutzen global 90% der Module bifaziale Zellen, und über 60% der Freifeld-Großanlagen werden als einachsige nachgeführte Anlagen mit horizontaler Welle errichtet, wobei unterschiedliche Anlagenkonzepte und Betriebsführungsstrategien realisiert werden. Es werden anhand von Literatur, einer Umfrage bei Herstellern (die 87% des Weltmarkts abdecken) und Betreibern von 13 GW nachgeführter Anlagen anwendungsspezifische best practices erarbeitet. Weiters wurde eine vergleichende Studie zu den Ertragsanalysen dieser Systeme erstellt.

Hauptautoren: Joshua S. Stein, Daniel Riley, Kevin Anderson, Lelia Deville (Sandia NL, US); Giosuè Maugeri (RSE, IT); Nicholas Riedel-Lyngskær, Jan Vedde (European Energy, DK); Silvana Ovaitt (NREL, US); Thore Müller (PVRADAR Labs, DE); Shuo Wang, Hugo Huerta, Samuli Ranta (TUAS, FI); Jonathan Leloux (Lucisun, BE); Matthew Berwind, Maddalena Bruno (Fh ISE, DE); Ramesh Santhosh (IMEC, BE), Michael Green (Arava, IL).

Download: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2024/08/IEA-PVPS-T13-26-2024-REPORT-Bifacial-Tracking_FI-NAL.pdf

Der Report stellt Ergebnisse einer Umfrage bei 16 HSAT-Herstellern aus 7 Ländern (87% des globalen Markts) sowie bei Eigentümern und Betreibern bifazialer HSAT-Kraftwerke (insgesamt 13 GWp Kapazität) zusammen, um zu erheben welche Systemkonfigurationen angewandt, welche Instrumentierung, Steuer- und Regelalgorithmen eingesetzt werden, welche Probleme dabei auftreten und wie optimale Konfigurationen aussehen. Wesentlich sind auch die Ertragsmodelle, mit denen ein aktueller Anlagenzustand verglichen wird, um Aussagen über die Leistungsfähigkeit treffen zu können. Daher wurden in einer Blindstudie Ertragsmodelle für sechs unterschiedliche Szenarien verglichen, die Unterschiede des DC-Ertrags im Bereich bis zu +5% und -10% zum Mittel ergaben. Gut funktionierende bifaziale HSAT-PV-Anlagen haben deutlich höhere Energieerträge, aber dem stehen eventuell höhere Errichtungskosten und für die Wartung beweglicher Teile gegenüber.

Für die generelle Qualifizierung von PV-Nachführsystemen gibt es zwar einen internationalen Standard [59] allerdings wurde ein geplanter spezifischer Teil für HSAT, IEC 62817-1, der vor fünf Jahren begonnen wurde, nicht weiterentwickelt.

Zu den anderen Deliverables der internationalen Arbeitsperiode Task 13.4 die ja bis 2025 läuft, sind mehrere Reports bereits als detaillierter Entwurf fertiggestellt, der nach internem Reviewprozess durch die Teilnehmer:innen am Task 13 vor der Veröffentlichung noch ein weiteres Review durch das PVPS EXCO, d.h. durch jene Personen, die PVPS-Tasks leiten und durch das PVPS Sekretariat durchläuft. Dieser Task 13 interne Reviewprozess ist abgeschlossen bei

- T13-35 (D 2-5) Performance of partial shaded PV generators operated by optimized power electronics (08-2024)

Womit dieser Report nach Einarbeitung der Kommentare an das PVPS-EXCO zum finalen Review übermittelt wird.

Aktuell gerade im Task 13 internen Review-Prozess sind

- T13-28 (D 3-5) Best practice guidelines for the use of economic and technical KPIs (bis 30-10-2024)
- T13-29 (D 2-2) Dual Land Use for Agriculture and Solar Power Production: Overview and Performance of Agrivoltaic Systems (bis 30-10-2024).

6 Vernetzung und Ergebnistransfer

6.1 Zielgruppen und deren Einbindung

Die Zielgruppen der Arbeiten im Task 13 sind heterogen, denn es wird das Thema Photovoltaik-Qualität entlang der gesamten Wertschöpfungskette verfolgt. Damit sind die Informationen für die Industrie von Material-, Komponenten- und Modulherstellern, Anlagenplanungs-, -errichtungs-, -betriebs- und -wartungsunternehmen, generell Dienstleistungsunternehmen der Photovoltaikbranche relevant, aber auch für Eigentümer und Investoren sowie Forschungseinrichtungen interessant, und nicht zuletzt hat auch Öffentlichkeit und Verwaltung ein vitales Interesse, dass qualitativ hochwertige Anlagen so errichtet werden, dass sie langlebig und leistungsfähig sind.

6.2 Kommunikation und Relevanz der Ergebnisse und Erkenntnisse

6.2.1 Allgemeines

Die Verbreitung der Ergebnisse erfolgt durch Organisation von und Teilnahme an Veranstaltungen, Webinaren und Veröffentlichungen. Siehe dazu im Detail Kapitel 5.4 und die dort angeführten Literaturstellen. Sinn der Informationen aus dem Task 13 ist es, dazu beizutragen, dass Photovoltaikanlagen möglichst so errichtet und betrieben werden, dass sie als effiziente, günstige und belastbare Säule des zukünftigen Energiesystems dienen, das sich überwiegend auf erneuerbare Energie stützen muss und kann. Dazu existiert nicht nur eine enge Kooperation zwischen den am Task 13 Beteiligten im Task, sowie mit anderen IEA-PVPS Tasks, sondern oft auch in gemeinsamen Forschungsprojekten mit der österreichischen und europäischen Photovoltaikindustrie, siehe auch Kapitel 4.3.1.

6.2.2 Relevanz für nationale und internationale Standardisierung

Zwischen den europäischen und internationalen elektrotechnischen Standardisierungskomitees, CENELEC und IEC und der IEA gibt es formale Liaisons zum gegenseitigen Informationsaustausch. Zwischen Normungsgremien und IEA PVPS gibt es auch mehrere personelle Überschneidungen, indem dieselben Personen oder deren Kolleg*innen sowohl an IEA-PVPS Tasks beteiligt sind als auch in Standardisierungsgremien mitarbeiten. So ist etwa Roland Bründlinger (AIT), Operating Agent des Task 14 und Beteiligter an Aktivitäten im Task 13 auch in europäischen CENELEC CLC TC8X *System aspects of electrical energy supply* tätig und Stellvertretender Vorsitzender im Österreichischen OVE TSK E03 *Photovoltaik*, und Vorsitzender der AG1-3 *Wechselrichter Schnittstelle*.

Karl Berger (AIT) ist im IEA-PVPS Task 13 und 15 engagiert, sowie im OVE TSK E03 Photovoltaik und dessen benannter Experte (designated expert) für die internationale Kooperation im CENELEC TC82 und IEC TC82 sowie dessen JWG11 (Joint Working Group IEC TC82 mit ISO TC160 SC1 Glass in Building), wo es um Koordination der Standardisierung von Photovoltaik als elektrisches Produkt und Bauprodukt geht, siehe auch [7]. International ist z.B. Helen Rose Wilson (Fh ISE, DE) in der JWG11 und Operating Agent des Task 15, sind Mauro Pravettoni (SERIS, SG) bei IEC TC82 (Modul-Messtechnik in der WG2, PT600 zur VIPV – vehicle integrated photovoltaic) und David Moser (EU-RAC, IT) in Standardisierungsprojekten zur PV-Zuverlässigkeit und auch im Task 13 aktiv, und weitere Personen vom IMEC (BE), TUV Rh/TRE (DE), SERIS (SG) und NREL (US), IFE (NO) arbeiten sowohl im Task 13 als auch innerhalb der IEC TC82 mit. Task-Reports erarbeiten Richtlinien, zitieren Standards, und tragen Informationen zusammen, wie sich diese Standards im Feld bewähren, etc. Dadurch werden diese Arbeiten dann häufig Ausgangspunkt zu neuen Standards oder deren Neueditionen. Die hohe Dynamik im Photovoltaik-Sektor, die das IEA-PVPS TCP zu einem der aktivsten aller IEA TCPs macht (Anzahl der Personen in den Tasks, Anzahl der Veröffentlichungen und Zugriffe auf der Webseite), woran wiederum der Task 13 großen Anteil hat, zeigt sich auch im Standardisierungsbereich. Eine stets aktualisierte Statistik der IEC und seiner Komitees (TCs) und Subkomitees (SCs) ist online verfügbar [55], und listet derzeit 125 TCs und 103 SCs mit mehr als 30 000 Mitgliedern auf, die in ca. 800 Arbeitsgruppen (WGs) zusammenarbeiten.

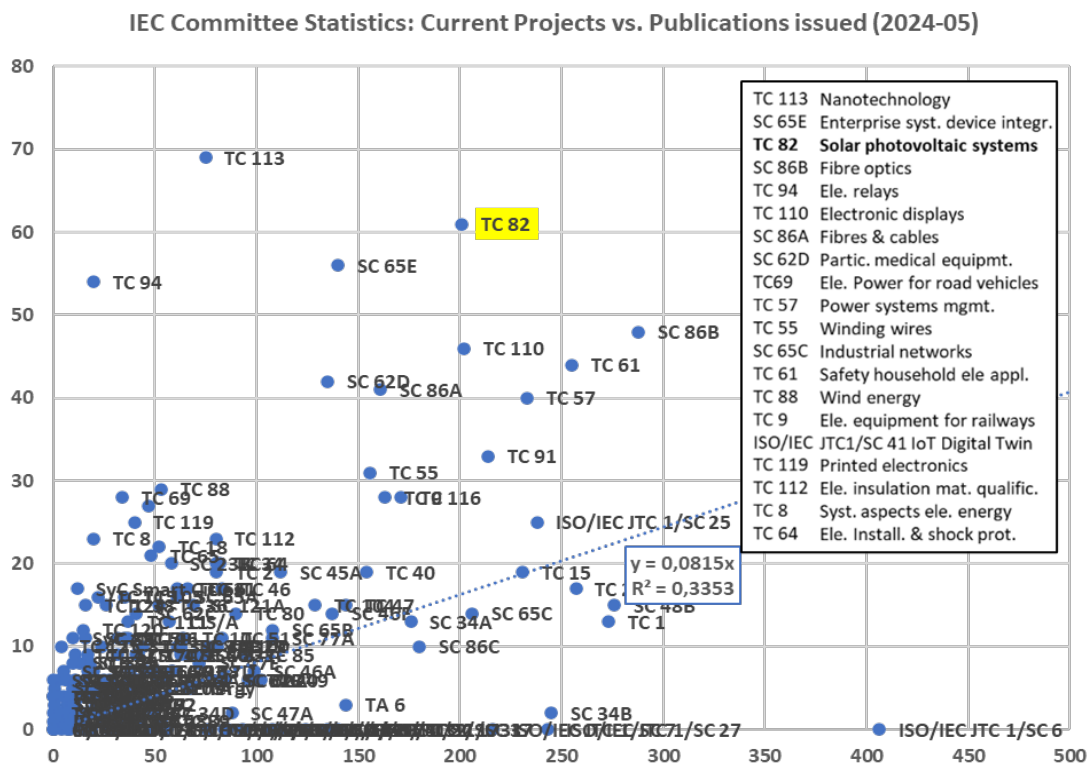


Abbildung 8: IEC-Statistik: Normen in Bearbeitung über Zahl veröffentlichter Normen je Komitee. Daten aus [55]. Für TC 82 PV: etwas mehr als 200 Normen veröffentlicht, 60 in Bearbeitung (Neuentwürfe und Neueditionen bestehender Normen). Aktualisiert: 05-2024.

Wird die Zahl der von einem Komitee veröffentlichten Standards mit der Zahl jener, die gerade neu erstellt oder editiert werden verglichen, Abbildung 8, so zeigt sich, dass das TC 82 Photovoltaic zu jenen gehört, die derzeit besonders viele Normen bearbeiten. Während im Mittel weniger als 10 Normen je 100 veröffentlichten Normen bearbeitet werden, sind es bei der Photovoltaik mehr als 3-mal so viele. Die 7 TCs, die mehr als 500 Mitglieder haben sind TC 88 *Wind Energy* (1036), TC 9 *Railways electrical equipment* (832) und TC 57 *Power systems management* (720), SC 62A (875) & SC 62D (620) *Medical equipment*, TC 82 *Solar Photovoltaic Energy Systems* (648) und TC65 (504) *Industrial-process measurement, control and automation*.

Internationale Normen werden in einem Stage-Gate Prozess entwickelt, [62], [68], in dem ein Projektteam mit Beteiligung von Expert:innen aus mindestens fünf Ländern den Normentwurf ausarbeitet, und alle Mitgliedsstaaten Kommentare abgeben können, und über die Entwürfe abstimmen. Der Großteil der österreichischen Standards werden nicht national entwickelt, sondern in internationalen Kooperationen wie ISO & CEN, IEC & CENELEC. Im Bereich der Photovoltaik werden nahezu alle Standards in der IEC TC 82 entwickelt, und dann europäisch meist direkt („submitted for CENELEC parallel voting“) oder erst nach Überarbeitung übernommen. Einige Dokumente wurden auch auf europäischer Ebene als HD (Harmonisierungsdokument) erstellt, und dann mit nationalen Anpassungen als österreichische Norm übernommen. Die Mitglieder des Task 13 bringen sich in Standardisierungsprojekten ein, in dem sie entweder in den Arbeitsgruppen und in Projektteams mitarbeiten oder indem sie über die nationalen Komitees Kommentare einreichen.

6.2.3 Anpassung nationaler Gesetzgebung, Ausrichtung der FTI-Politik

Die Informationen aus dem IEA-PVPS stellen frei verfügbare Informationen dar, die Best-Practice Beispiele, Empfehlungen und Richtlinien versammeln, aber natürlich keinerlei „normative Kraft“ haben. Standards sind in den meisten Fällen ebenfalls nicht als gesetzlich verbindlich erklärt, stellen aber „den Stand des Wissens“ dar, d.h. dass bei deren Einhaltung davon ausgegangen werden kann, dass elektrische Anlagen und deren Komponenten funktionsfähig und sicher sind.

Vorteilhaft bei den im IEA-PVPS erarbeiteten Informationen ist, dass sie so wie die internationale Normung auch Informationen, die in internationalen Teams erarbeitet werden, jedoch frei verfügbar sind, während Normen gekauft werden müssen und deren Weitergabe strikt limitiert ist. Eine Ausnahme bilden in der Elektrotechnik nur die wenigen (27) gesetzlich verbindlichen Normen, die als Anhang der Elektrotechnikverordnung 2020 [10] unter www.ris.bka.gv.at gratis zur Verfügung stehen. Die die Photovoltaik betreffenden aktiven Normen (ICS-Nr. 27.160 Solar energy engineering) auf IEC-Ebene (163), europäischer CENELEC Ebene (169) und in Österreich (331, wobei hier auch ein Großteil der europäischen und internationalen Normen gekauft werden kann) sind nicht darunter. Ein direkter Einfluss auf die österreichische Gesetzgebung besteht daher nicht.

Zur Frage, wie weit die österreichische FTI-Politik von der Arbeit und den Inhalten des Task 13 beeinflusst wird, bzw. sich daran ausrichtet, sei auf [76] und Kapitel 4.3.2 verwiesen.

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

7.1 Fachliche Schlussfolgerungen

Entscheidungen im Energiesektor haben generell eine lange Vorlaufzeit und bestehende Lösungen sind üblicherweise auch nicht abrupt zu ändern. Wie dargestellt, ist die Photovoltaik dabei, durch rasche Innovationszyklen den Sektor der erneuerbaren Energie, und die globale Energiebereitstellung zu revolutionieren. Es ist herausfordernd und notwendig, dabei die Qualität entlang der gesamten Wertschöpfungskette hochzuhalten, bzw. permanent zu verbessern. Die intensive Kooperation im Task 13 unterstützt diese Prozesse in vielfältigen Aspekten durch Austausch und Verbreitung frei zugänglicher Informationen.

Es ist selbstverständlich, dass diese Aufgabe niemals zu 100% als erledigt angesehen werden kann, sondern sich Ansprüche und Aufgaben kontinuierlich weiterentwickeln, da Photovoltaik-Anwendungen immer weitere Verbreitung finden, sich Produkte und Märkte diversifizieren, und das Spektrum der Anwendungen laufend verbreitert wird. Daher sind die Ergebnisse des Task 13 wichtige Schritte auf dem Weg, aber kein abschließendes Ergebnis. Da im September 2024 die größte europäische Photovoltaikkonferenz in Wien stattfand, sind hier sowohl Aktivitäten der österreichischen Partner (Teilnahme am Gemeinschaftsstand der Österr. Technologieplattform TPPV) sowie von IEA-PVPS (ebenfalls ein Stand) und ein Task 13 Parallel-Workshop zum Thema Floating PV (Di 24.9., [38]) durchgeführt worden.

7.2 Weiterführende nationale Forschungsprojekte bzw. IEA-Kooperationsprojekte im Themenbereich

Im Task 13 wird ab Herbst 2024, damit ca. ein Jahr vor Ablauf der 4. Arbeitsperiode damit begonnen, erste Vorschläge für Inhalte zur Verlängerung des Task 13 um weitere drei Jahre (Task 13.5) zu planen.

7.3 Empfehlungen für die österreichische FTI-Politik

In der Evaluierung der IEA-Forschungsk Kooperation für 2005 bis 2010 [14] wurde festgestellt, dass „das Programm IEA Forschungsk Kooperation wohl die **größte Hebelwirkung** von allen österreichischen FTI-Förderungen im Bereich Energie“ hat. Dennoch „hat die IEA-Forschungsk Kooperation seit 2005 gegenüber allen anderen Energieforschungsausgaben deutlich an Anteil und damit wohl auch

an Bedeutung bei Österreichs Energieforschern verloren. Während sich die **Energieforschungsausgaben seit 2005 mehr als vervierfacht** haben, waren die Ausgaben für die **IEA-Forschungsk Kooperation tendenziell leicht rückläufig.**“ (Hervorhebung K. Berger). Aus [14] S. 14, Abb. 14 ist zu ersehen, dass 2006 und 2008 ein Budget von ca. 1,9 Mio € pro Jahr zur Verfügung stand, 2010 waren es nur mehr 0,9 Mio €, 2006 war damit das Verhältnis der IEA-Förderung zu den öffentlichen Energieforschungsausgaben 4,6 %, in 2010 nur mehr 0,8%. In der Umfrage unter den Teilnehmenden (2005 war Österreich an 17 der 42 Implementing Agreements beteiligt) in IEA-Tasks gaben 42% an, dass sie Projektideen haben, die nicht eingereicht werden konnten. In der Evaluierung wurden 2012 folgende Empfehlungen abgeleitet (zusammengefasst):

- IEA-Forschungsk Kooperation angemessenen Stellenwert einräumen, Budget x 4 für 2013
- Informationsaustausch und Administratives verbessern, Laufzeiten wie internationale Tasks
- Attraktivieren für Unternehmen, Management von Energieversorgern
- Energieforschungsschwerpunkte verstärken, Umsetzung der Energiewende, „Policy Advice“

Zehn Jahre danach wurde die IEA-Kooperation 2011 bis 2021 erneut evaluiert [13]. 38 IEA TCPs waren 2021 aktiv, wovon Österreich sich an 21 beteiligt. Wofür insgesamt 2,7 Mio € (2,3 BMK + 0,4 KLIEN) an öffentlichen Fördermitteln aufgewendet wurden. Damit stand 2021 real 12% mehr Budget zur Verfügung als 2008, da sich die Anzahl der IEA-Kooperationen aber erhöhte, steht nun per TCP nur 91% der Summe von 2008 zur Verfügung. Die Zahl der TCPs ist zwar gesunken, aber die Anzahl der Tasks je TCP hat sich inzwischen deutlich erhöht, wobei Österreich an vielen Tasks nicht teilnehmen kann, weil es keine Finanzierung gibt. In [13] S. 29: **„Sowohl in nominalen Werten als auch in realen Werten nahm die (durchschnittliche) Finanzierung für einzelne Organisationen für Task- bzw. Annex-Teilnahmen ab“** (Hervorhebung im Original). In der online-Umfrage und qualitativen Interviews wurde übereinstimmend die hohe Qualität des durch die IEA-Kooperation entstandenen, anhaltenden Netzwerks betont (s. 46). Hauptsächlich wurden Ergebnisse aus der nationalen Energieforschung (80%), europäischen Projekten (59%), dem Stadt der Zukunft Programm (52%) sowie Vorzeigeregion Energie (27%) in die IEA-Kooperation eingebracht. Wie in Kapitel 4.3.2 (und Abbildung 7) dieses Reports festgestellt, ist aber das Budget für die die Photovoltaik-Forschung in der nationalen Energieforschung drastisch gekürzt worden, im „Nachfolger“ des Solar ERA Net, dem Clean Energy Transition (CET) Partnership Cofund [18] waren für Österreich 2022 zwar viel mehr Mittel vorhanden als im Solar ERA Net, aber für österreichische Partner eine Teilnahme nur bei 3 von 11 call-modules (TRI3 H₂ and renewable fuels, TR5 Integrated regional & TRI6 Industrial energy systems) möglich gewesen. Zum PVPS passende Inhalten zu Energieplanung und Flexibilisierung Task 13 und 14, 16, kostengünstigeren oder effizienteren Erneuerbaren Task 13, oder erneuerbaren Energie-Innovationen und -transformation bei Integration Tasks 12, 13, 15, 17 fehlte die österreichische Finanzierung. Im aktuellen CET Partnership Joint Call 2024 [17] hat sich diese Situation verbessert, aber entsprechende Antragsskizzen müssen erst mit Deadline 21. November 2024 für die 1st Stage eingereicht, und – wenn positiv evaluiert – Anfang April 2025 der Vollertrag abgegeben und im Anschluss evaluiert werden, womit ein Projektstart erst in der 2. Hälfte 2025 möglich ist. Zusätzlich bleibt noch das ebenfalls hoch kompetitive Umfeld europäischer Horizon Europe EU Calls [23], [32], bei dem dann aber immerhin für ein einzelnes Projekt ein

Budget vorgesehen ist, das die Mittel in einem gesamten österreichischen Programm häufig übersteigt. Permanente Stop-and-go Prozesse in der Forschungsförderung erschweren die kontinuierliche Weiterentwicklung der Themen und deren Umsetzung in einer mittelfristigen Perspektive. Kurzfristige Änderungen der Förderbedingungen für erneuerbare und in den Energiemärkten erschweren ebenfalls die Kapazitätsplanung in der (Photovoltaik-)Industrie [8],[64], die wesentlichen Stakeholder und Partner in Forschungsprojekten sind.

Auch im REPowerEU Plan [24] und dem Net Zero Industries Act (NZIA) des European Solar Manufacturing Councils ist es klar, dass Diversifizierung, effizientere Nutzung von Energie und beschleunigter Roll-out von erneuerbaren Energien notwendig ist, um Abhängigkeiten zu reduzieren und die Klimaziele zu erreichen. Dass damit nicht neue Abhängigkeiten geschaffen werden, da derzeit die Mehrheit von Photovoltaik-Komponenten in Asien (vor allem China, Taiwan) gefertigt wird, ist ebenso klar, weshalb das PV-IPCEI [26], [25] Photovoltaik-Produktion wieder in Europa zu etablieren und auszubauen. Das IEA-PVPS Programm mit seiner globalen Verbreitung, aber vielen Teilnehmenden Personen und Institutionen aus Europa kann hier wesentlich beitragen, wenn ein entsprechendes Umfeld geschaffen wird. Wie dieses derzeit aussieht, ist auch aus Kapitel 4.3.2 und Abbildung 7 ersichtlich. Zur Frage, wie weit die österreichische FTI-Politik von der Arbeit im IEA-PVPS und den Inhalten des Task 13 beeinflusst wird, wäre es hilfreich, einige der Empfehlungen aus 2011 [14] und 2022 [13] umzusetzen.

Dass erneuerbare Energie und speziell Photovoltaik im globalen Maßstab eine hohe Dynamik aufweist, und Umgestaltungen des gesamten Energiesystems hervorruft, ist einerseits notwendig, um eine permanente Energieversorgung zu erzielen, andererseits erlaubt dies, die globalen Ressourcen zu schonen und die Erderhitzung einzubremsen. Eine Präsentation zum aktuellen Stand und den Herausforderungen dieser Umwälzungen gibt das RMI „The Cleantech Revolution – It’s exponential, disruptive, and now“ [15] und z.B. auch der Energie Blog [98]. Es ist Aufgabe der Europäischen und österreichischen Technologie- und Forschungspolitik hier positive Impulse zu setzen. Das IEA Photovoltaic Power Systems Programme TCP kann dies unterstützen.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Im Photovoltaic Power Systems Technologie-Kooperationsprogramm der Internationalen Energieagentur (IEA-PVPS TCP) aktive Tasks (Stand 2022).	17
Tabelle 2: Task 13 Subtasks (ST) und Aktivitäten (A) der Arbeitsperiode T13.3 von 2018-2021.....	19
Tabelle 3: Task 13 Subtasks (ST) und Aktivitäten (A) der Arbeitsperiode 2022-2025.....	20
Tabelle 4: Task 13 Deliverables der Arbeitsperiode 2022-2025.	21
Tabelle 5: IEA PVPS TCP Task 13 Reports der Arbeitsperiode T13.3 bis Ende 2021: 12 Reports, T13-13 bis T13-24. (Fortsetzung siehe Tabelle 6).....	24
Tabelle 6: IEA PVPS TCP Task 13 Reports der Arbeitsperiode T13.3 bis Ende 2021: 12 Reports, T13-13 bis T13-24. (Fortsetzung der Tabelle 5).....	25
Tabelle 7: <i>Report IEA-PVPS T13-13:2021</i> Entwicklung neuer Materialien für Photovoltaik-Module: Möglichkeiten der Kostenreduktion und verbesserter Leistungsfähigkeit	26
Tabelle 8: <i>Report IEA-PVPS T13-14:2021</i> Bifaziale Photovoltaikmodule und Systeme: Erfahrungen und Ergebnisse internationaler Forschungs- und Pilotanwendungen	27
Tabelle 9: <i>Report IEA-PVPS T13-15:2021</i> Leistungsfähigkeit neuer PV-Anlagenkonzepte	29
Tabelle 10: <i>Report IEA-PVPS T13-16:2021</i> Lebensdauerabschätzung für Photovoltaikmodule	30
Tabelle 11: <i>Report IEA-PVPS T13-18:2020</i> Unsicherheit in PV-Ertragsprognosen und Stromgestehungskosten.....	32
Tabelle 12: <i>Report IEA-PVPS T13-19:2021</i> Anwendung fortschrittlicher Verfahren zur PV-Fehleridentifikation	33
Tabelle 13: <i>Report IEA-PVPS T13-20:2020</i> Klima-Rating von PV-Modulen: Unterschiedliche Technologien für unterschiedliche Betriebsbedingungen	34
Tabelle 14: <i>Report IEA-PVPS T13-21:2022</i> Einfluss von Verschmutzung auf die Leistungsfähigkeit von PV-Kraftwerken	35
Tabelle 15: <i>Report IEA-PVPS T13-22:2021</i> Auswertung der Verlustrate der Anlagenerträge von Photovoltaikanlagen (Performance Loss Rate - PLR)	36
Tabelle 16: <i>Report IEA-PVPS T13-23:2021</i> Technische Risikobestimmung in PV-Kraftwerken	37
Tabelle 17: <i>Report IEA-PVPS T13-24:</i> Mobile Testmethoden zur PV-Kraftwerksqualifizierung.....	38
Tabelle 18: <i>Report IEA-PVPS T13-25:</i> Richtlinien für Wartung und Betrieb von PV-Kraftwerken in unterschiedlichen Klimata.....	39
Tabelle 19: <i>Report IEA-PVPS T13-26:</i> Optimierung bifazialer nachgeführter PV-Systeme	43

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Globale Primärenergiebereitstellung (Links), und Erneuerbare elektrische Energiebereitstellung nach Energieträgern (Rechts) für das Jahr 2022. Daten aus [95].	10
Abbildung 2: Stromgestehungskosten (Levelized cost of electricity LCOE in 2023er USD) sowie relativer spezifischer Jahresertrag (Capacity factor) aus Windkraft (an Land und auf See) und Photovoltaik. Daten aus [67] und [15].	11
Abbildung 3: PV-Anteil an der Stromaufbringung Ende 2023. Daten aus IEA PVPS Snapshot 04-2024 [36], modifiziert und ergänzt (AIT).	11
Abbildung 4: Österreichische Primärenergiebereitstellung (Links, Daten aus [11]) und elektrische Energiebereitstellung 2021 nach Energieträgern (Rechts, aus [11], ergänzt mit Daten aus [99]). ..	12
Abbildung 5: Lernkurven (Preisdegression über kumulierter Produktion) in doppelt-logarithmischer Darstellung. Dünnschichtbasierte Modultechnologien (TF) grau, Module mit waferbasierten Siliziumzellen (c-Si) blau. Daten aus [33], ergänzt.....	14
Abbildung 6: Flaggen und Logos der Teilnehmer des PVPS TCP	16
Abbildung 7: Öffentliche Solarenergieforschungsausgaben in Österreich 2019-2023 (links, Daten aus [64]) und Photovoltaik-Arbeitsplätze in Österreich 2015-2023 (rechts, Daten aus [8]).....	22
Abbildung 8: IEC-Statistik: Normen in Bearbeitung über Zahl veröffentlichter Normen je Komitee. Daten aus [55]. Für TC 82 PV: etwas mehr als 200 Normen veröffentlicht, 60 in Bearbeitung (Neuentwürfe und Neueditionen bestehender Normen). Aktualisiert: 05-2024.	46
Abbildung 9: Reports des Task 13 in der 1. Task 13 Arbeitsperiode 2010 - 2014.....	53
Abbildung 10: Reports des Task 13 in der 2. Task 13 Arbeitsperiode 2014 - 2017.....	54
Abbildung 11: Reports des Task 13 in der 3. Task 13 Arbeitsperiode 2018 - 2021.....	55
Abbildung 12: 2024 veröffentlichter Report, Fact sheet der 4. Task 13 Arbeitsperiode 2022 - 2025.	56

Literaturverzeichnis

IEA-PVPS Task 13 Reports

Die in den früheren Arbeitsperioden des Task 13 veröffentlichten Reports sind hier gesondert von den anderen Literaturstellen zusammengestellt. Sollten die angegebenen Download-Links ungültig sein, was bei Umstellungen auf der IEA-PVPS-Webseite der Fall sein kann, bitte auf der IEA-PVPS Webseite suchen und herunterladen. Entweder unter <https://iea-pvps.org/research-tasks/performance-operation-and-reliability-of-photovoltaic-systems/> unter Reports, oder unter <https://iea-pvps.org/publications/technical-reports/>, z.B. sortiert nach dem Jahr der Veröffentlichung, das nach der Report-Nummer steht.

1. Periode des Task 13, 2010-05 ... 2014-04 (Fortsetzung des ursprünglichen Task 2, beendet 2008)



Abbildung 9: Reports des Task 13 in der 1. Task 13 Arbeitsperiode 2010 - 2014.

IEA-PVPS T13 - 01:2014 Review of Failure of PV Modules, 140 p.

https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_T13-01_2014_Review_of_Failures_of_Photovoltaic_Modules_Final.pdf

IEA-PVPS T13 - 02:2014 Characterization of Performance of Thin-Film PV Technologies, 69 p.

https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_T13-02_2014_Characterization_Thin-Film_Modules.pdf

IEA-PVPS T13 - 03:2014 Analytical Monitoring of PV Systems, 90 p.

https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_T13-D2_3_Analytical_Monitoring_of_PV_Systems_Final.pdf

IEA-PVPS T13 - 04:2014 Modelling Acceleration based on Outdoor Stress Conditions for PV Module Testing, internal, 32 p. (interner Bericht, kein Download)

IEA-PVPS T13 - 05:2014 Analysis of Long-Term Performance of PV Systems, 60 p.

https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA_PVPS_T13_ST1_Final_02_2015-2.pdf

2. Periode des Task 13, 2014-05 ... 2017-04 (erste Verlängerung um drei Jahre)



Abbildung 10: Reports des Task 13 in der 2. Task 13 Arbeitsperiode 2014 - 2017.

IEA-PVPS T13 - 06:2017 *PV Performance Modeling Methods and Practices*, 98 p.

https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/T13_Report_PV_Performance_Modeling_Methods_and_Practices_FINAL_March_2017.pdf

IEA-PVPS T13 - 07:2017 *Improving Efficiency of PV Systems Using Statistical Performance Monitoring*, 57 p.

https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/Report_IEA-PVPS_T13-07_2017_Improving_Efficiency_of_PV_Systems_Using_Statistical_Performance_Monitoring.pdf

IEA-PVPS T13 - 08:2017 *Technical Assumptions Used in PV Financial Models, Review of Current Practices and Recommendations*, 101 p.

https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/Report_IEA-PVPS_T13-08_2017_Technical_Assumptions_Used_in_PV_Financial_Models.pdf

IEA-PVPS T13 - 09:2017 *Assessment of Photovoltaic Module Failures in the Field*, 120 p.

https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2017/09/170515_IEA-PVPS-report_T13-09-2017_Internet-version_2.pdf

IEA-PVPS T13 - 10:2018 *Review on IR and EL Imaging for PV Field Applications*, 99 p.

https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/Review_on_IR_and_EL_Imaging_for_PV_Field_Applications_by_Task_13.pdf

IEA-PVPS T13 - 11:2018 *Photovoltaic Module Energy Yield Measurements: Existing Approaches and Best Practice*, 134 p.

https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/Photovoltaic_Module_Energy_Yield_Measurements_Existing_Approaches_and_Best_Practice_by_Task_13.pdf

IEA-PVPS T13 - 12:2018 *Uncertainties in PV System Yield Predictions and Assessments*, 74 p.

https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/01/Report-IEA%E2%80%93PVPS-T13-18_2020-Uncertainties-in-Yield-Assessments-and-PV-LCOE-1.pdf

3. Periode des Task 13, 2019 ... 2021 (zweite Verlängerung um drei Jahre)

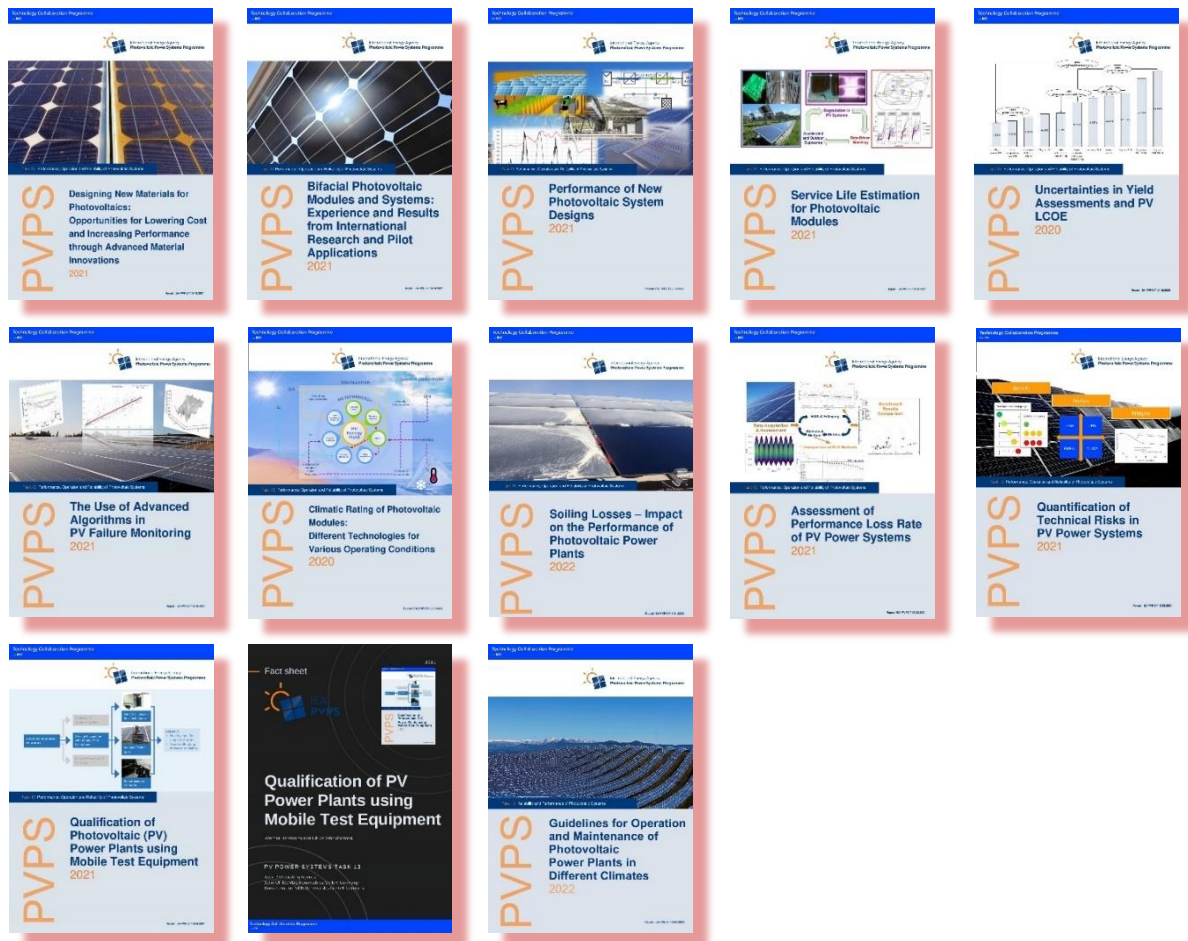


Abbildung 11: Reports des Task 13 in der 3. Task 13 Arbeitsperiode 2018 - 2021.

IEA-PVPS T13 - 13:2021 *Designing new materials for photovoltaics: Opportunities for lowering cost and increasing performance through advanced material innovations*, 91 p.
https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA-PVPS-T13-13_2021_Designing-new-materials-for-photovoltaics-report.pdf

IEA-PVPS T13 - 14:2021 *Bifacial Photovoltaic Modules and Systems: Experience and Results from International Research and Pilot Applications*, 168 p.
https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA-PVPS-T13-14_2021-Bifacial-Photovoltaic-Modules-and-Systems-report.pdf

IEA-PVPS T13 - 15:2021 *Performance of New Photovoltaic System Designs*, 89 p.
https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/03/IEA-PVPS_Task-13_R15-Performance-of-New-PV-system-designs-report.pdf

IEA-PVPS T13 - 16:2021 *Service Life Estimation for Photovoltaic Modules*, 76 p.
https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/07/Report-IEA-PVPS-T13-16_2021_Service_Life_Estimation_4_PV_Modules.pdf

IEA-PVPS T13 - 17:2021 *Void, integrated into IEA-PVPS T13-16.*
https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/07/Report-IEA-PVPS-T13-16_2021_Service_Life_Estimation_4_PV_Modules.pdf

- IEA-PVPS T13 - 18:2020 Uncertainties in Yield Assessments and PV LCOE, 72 p.
https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/01/Report-IEA-PVPS-T13-18_2020-Uncertainties-in-Yield-Assessments-and-PV-LCOE-1.pdf
- IEA-PVPS T13 - 19:2021 The Use of Advanced Algorithms in PV Failure Monitoring, 85 p.
https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/10/Final-Report-IEA-PVPS-T13-19_2021_PV-Failure-Monitoring.pdf
- IEA-PVPS T13 - 20:2020 Climatic Rating of Photovoltaic Modules: Different Technologies for Various Operating Conditions, 167 p.
https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/02/Report-IEA-PVPS-T13-20_2020-Climatic-Rating-of-PV-Modules.pdf
- IEA-PVPS T13 - 21:2022 Soiling losses – Impact on the Performance of PV Power Plants, 129 p.
<https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2023/01/IEA-PVPS-T13-21-2022-REPORT-Soiling-Losses-PV-Plants.pdf>
- IEA-PVPS T13 - 22:2021 Assessment of Performance Loss Rate of PV Power Systems, 78 p.
https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA-PVPS-T13-22_2021-Assessment-of-Performance-Loss-Rate-of-PV-Power-Systems-report.pdf
- IEA-PVPS T13 - 23:2021 Quantification of Technical Risks in PV Power Systems, 111 p.
https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA-PVPS-T13-22_2021-Assessment-of-Performance-Loss-Rate-of-PV-Power-Systems-report.pdf
- IEA-PVPS T13 - 24:2021 Qualification of PV Power Plants using Mobile Test Equipment, 74 p.
https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA-PVPS-T13-24_2021_Qualification-of-PV-Power-Plants_report.pdf
- IEA-PVPS T13 - 25:2022 Guidelines for Operation and Maintenance of Photovoltaic Power Plants in Different Climates, 152 p.
<https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2022/11/IEA-PVPS-Report-T13-25-2022-OandM-Guidelines.pdf>

4. Periode des Task 13, 2022 ... 2025 (dritte Verlängerung um drei Jahre)



Abbildung 12: 2024 veröffentlichter Report, Fact sheet der 4. Task 13 Arbeitsperiode 2022 - 2025.

- IEA-PVPS T13 - 26:2024 Best Practices for the Optimization of Bifacial Photovoltaic Tracking Systems, 73 p.
https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2024/08/IEA-PVPS-T13-26-2024-REPORT-Bifacial-Tracking_FINAL.pdf
- Fact Sheet: Bifacial Tracking, 6 p.
<https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2024/07/Task-13-Bifacial-Tracking-Fact-Sheet.pdf>

Andere Literaturzitate

- [1] ADVANCE! - Advance Degradation Modelling of Photovoltaic Modules and Materials, FFG 881133, 2021-2023, <https://energieforschung.at/projekt/advance-degradation-modelling-of-photovoltaic-modules-and-materials/>
- [2] AMSEL – FFG Nr. 848771 (2015-2018), Anlagendiagnostik und Modulanalyse basierend auf Standard-Charakterisierungsverfahren und neu entwickelten Messverfahren, <https://energieforschung.at/projekt/anlagendiagnostik-und-modulanalyse-basierend-auf-standard-charakterisierungsverfahren-und-neu-entwickelten-messverfahren/>
- [3] APG – Austrian Power Grid (Hrsg.): Historische Strom-Exportwerte im ersten Quartal 2024, online <https://www.apg.at/news-presse/apg-historische-strom-exportwerte-im-ersten-quartal-2024/> (abgerufen 05-2024).
- [4] APG – Austrian Power Grid: Day-Ahead Preise. Online <https://markttransparenz.apg.at/de/markt/Markttransparenz/Uebertragung/EXAA-Spotmarkt> (abgerufen 10-2024).
- [5] ATB-Becker Firmenprofil, <https://atb-becker.solarlog-web.at/9.html>, abgerufen 01-2023.
- [6] Austrian Energy Agency (Hrsg.): Grüner Wasserstoff als Element der klimaneutralen Zukunft. Online verfügbar unter <https://www.energyagency.at/herausforderungen/gruener-wasserstoff>. (Abgerufen 01-2023)
- [7] Berger, Karl A.: *Leistung und Zuverlässigkeit von Photovoltaiksystemen, PVPS Task 13 und Normung*. Vortrag beim IEA Vernetzungstreffen 2015, 29 p.
- [8] Biermayr P. et.al. (BMK Hrsg.): Innovative Energietechnologien in Österreich – Marktentwicklung 2023. Berichte aus Energie und Umweltforschung 17a/2024, <https://nachhaltig-wirtschaften.at/de/iea/publikationen/markterhebungen.php>, (abgerufen 06-2024), 332 p.
- [9] BIFACE, Solar ERA Net, FFG 863515, 2018-2020, <https://energieforschung.at/projekt/high-efficiency-bifacial-pv-modules-and-systems-for-flat-roofs/>
- [10] BM für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort (Hrsg.): Gesamte Rechtsvorschrift für Elektrotechnikverordnung 2020, <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung/Bundesnormen/20011222/ETV%c2%a02020%2c%20Fassung%20vom%2019.05.2023.pdf>
- [11] BMK (Hrsg.): Energie in Österreich – Zahlen, Daten, Fakten. Online unter <https://www.bmk.gv.at/themen/energie/publikationen/zahlen.html> (abgerufen 05-2024), Wien 2024, 68p.
- [12] BMK (Hrsg.) Integrierter österreichischer Netzinfrasturkturplan (ÖNIP). Wien 2024, 204 p. online: <https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:d4d6888b-8e57-4ec6-87c3-0ffec220d83f/Integrierter-oesterreichischer-Netzinfrasturkturplan.pdf> (abgerufen 04-2024). Siehe auch BMK Infothek 8.4.2024, online <https://infothek.bmk.gv.at/klimaschutzministerium-praesentiert-ausbauplan-der-infrastruktur-fuer-die-energiewende/> (abgerufen 04-2024).

- [13] BMK (Hrsg.), R. Krismer, K. Warta, D. Heckenberg, S. Skok, S. Zingerle (Technopolis Austria): Evaluierung der IEA Forschungsk Kooperation 2011 – 2021, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 35a/2022, 102 p., online [https://repository.fteval.at/id/eprint/647/1/Evaluierung-IEA Technopolis Austria-Teil-A bf.pdf](https://repository.fteval.at/id/eprint/647/1/Evaluierung-IEA_Technopolis_Austria-Teil-A_bf.pdf) (abger. 05-2023)
- [14] bmvit (Hrsg.), C. Mandl, T. Kuttner: Evaluierung des Programms IEA-Forschungsk Kooperation, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 46/2012, 91 p., online https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/endbericht_1246_evaluierung_forschungskoooperation.pdf?m=1646386736& (abger. 05-2023)
- [15] Bond Kingsmill; Butler-Sloss Sam; Daan Walter (RMI): The Cleantech Revolution – It’s exponential, disruptive, and now. RMI, June 2024, 87 p.; online https://rmi.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/2024/07/RMI-Cleantech-Revolution-pdf-1.pdf (abgerufen 08-2024)
- [16] Bundesverband Photovoltaik Austria (PVA), <https://pvaustria.at/>
- [17] Clean Energy Transition (CET) Partnership Joint Call 2024. Call 2024 Documents (issued 2024-05, updates until 2024-09), <https://cetpartnership.eu/calls/joint-call-2024>. (abgerufen 2024-09).
- [18] Clean Energy Transition (CET) Partnership co-fund. Call 2022 Documents, online <https://cetpartnership.eu/calls/documents>, und https://cetpartnership.eu/sites/default/files/documentation/CETPartnership%20Joint%20Call%202022_Call_Text_20221117.pdf
- [19] CWRU (Eds.), IEA PVPS Task 13-ST2.5 PLR Determination Benchmark Study / Pfaffstaetten A, B, C, Monitoring data repository, DOI 10.17605/OSF.IO/R34P7, <https://osf.io/r34p7/>, Last updated 2020-09-29.
- [20] European Joint Research Center (JRC) Ispra: PVGIS Online Tool, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool_en, Ver. 5.2
- [21] Eder, GC, Farnung, B, Friesen, G, Köntges, M, Kubicek, B, Kunz, O, Liu, H, Parlevliet, D, Tsanakas, I, Vedde, J & Herrmann, W 2022, *Review of On-Site Inspection Techniques for the Qualification of PV Power Plants*. in *8th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion; joined with EU-PVSEC & IEEE PVSC 2022*. S. 1-21, EU-PVSEC 2022 /8 WCPVEC 2022 / PVSC 2022, 26/09/22.
- [22] Eder G.C., Y. Lin, Y. Voronko, and L. Spoljaric-Lukacic, *On-Site Identification of the Material Composition of PV Modules with Mobile Spectroscopic Devices*, *Energies* 2020, 13(8), 1903, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/en13081903>
- [23] European Commission (Eds.): *Horizon Europe Cluster 5: Climate, Energy and Mobility - Energy research and innovation*, https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/energy/solar-energy_en, (abgerufen 05-2023)
- [24] European Commission (Eds.): *REPowerEU Plan - A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition*, 18.5.2022, online https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_3131 (abger. 05-2023)
- [25] European Solar Manufacturing Council – esmc: *Is the NZIA Enough to Rebuild European Solar PV Industry? An Industry Perspective on the Net-Zero Industry Act*. Webinar 2024-10-10, <https://esmc.solar/events-2/>. (Abgerufen 10-2024).

- [26] European Solar Manufacturing Council – esmc (Ed.): Press release: IPCEI for PV launched in Brussels – EU Member States are invited to join the framework. May 23, 2022, https://esmc.solar/wp-content/uploads/2020/08/Press-release_PV-IPCEI-launching-event.pdf (abgerufen 2023-03)
- [27] EWS Consulting: EWS Sonnenfeld – Bruck/Leitha (NÖ), Siehe auch: Agri-PV Referenzanlage. Online: <https://www.ews-sonnenfeld.com/referenzprojekte/detail/ews-sonnenfeld-bruck-an-der-leitha>, (Abgerufen 2023-02)
- [28] EWS Consulting: Baustellenbericht von der größten Agri-PV-Anlage für Grün- und Ackerland in Oberösterreich, 2024-10-15. Online <https://www.ews-sonnenfeld.com/news/detail/baustellenbericht-von-der-groessten-agri-pv-anlage-fuer-gruen-und-ackerland-in-oberoesterreich>. (Abgerufen 10-2024).
- [29] FiskalRat Austria, *Fiskalpolitische Dimension der CO₂-Ziele und Handlungsoptionen für Österreich*, Information des Büros des Fiskalrates, 27.8.2020, online <https://www.fiskalrat.at/dam/jcr:9c1ca1e1-58cd-405b-b886-81774fbbe9a5/Information%20des%20FISK-B%3Fros-CO2-Ziele-August2020.pdf>
- [30] Fechner, Hubert: Ermittlung des Flächenpotentials für den Photovoltaik-Ausbau in Österreich. Studie für Österreichs Energie, <https://oesterreichsenergie.at/publikationen/dossiers-1/photovoltaik-ausbau-in-oesterreich>, (abger. 2020-03). 2020, online: 69 p.
- [31] Fechner, Hubert: National Survey Report of PV Power Applications in Austria 2023. IEA-PVPS Task 1 Report, 30 p., 2024. Online: <https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2024/10/National-Survey-Report-of-PV-Power-Applications-in-Austria-2023.pdf>, (abgerufen 10-2024).
- [32] FFG (Hrsg.) 11 *Europäische Partnerschaften im Cluster 5* geplant, "Klima, Energie und Mobilität", davon zur erneuerbaren Energie *European Partnership for Clean Energy Transition*. Online <https://www.ffg.at/europa/heu/cluster5>, (abgerufen 05-2023).
- [33] Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (Hrsg.): Photovoltaics Report, 21.2.2023, online: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf> (abgerufen 02-2023), 53p.
- [34] Herrmann Werner, Ulrike Jahn, "Qualification of PV Power Plants using Mobile Test Equipment". PV Power Systems Task 13 Fact sheet, online <https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2022/07/Fact-sheet-PVPS-Task-13-Qualification-of-PV-Power-Plants.pdf>, 4 p.
- [35] Hutchins, Mark: Ulrike Jahn wins 2021 Becquerel Prize. Opening Session of 38th EU PVSEC, 2021-09-07, pv magazine; <https://www.pv-magazine.com/2021/09/07/ulrike-jahn-wins-2021-becquerel-prize/> und <https://www.becquerel-prize.org/> (abger. 2023-05)
- [36] IEA-PVPS (Eds.), IEA-PVPS Task 1: Snapshot of global PV markets 2024, 04-2024. Available at https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2024/04/Snapshot-of-Global-PV-Markets_20241.pdf (abgerufen: 05-2024), 25p.
- [37] IEA (2022), Special Report on Solar PV Global Supply Chains, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9e8b0121-en>.

- [38] IEA PVPS, Ulrike Jahn, Josefine H. Krough Selj (Eds.): "Floating Photovoltaic Power Plants: A Review of Energy Yield Assessments, Reliability, and Operation & Maintenance Recommendations". EU PVSEC Vienna IEA PVPS Task 13 Parallel Event. Wien, 2024-09-24. Online <https://iea-pvps.org/events/2024-eu-pvsec-workshop-task-13/> (abgerufen 2024-09).
- [39] IEA PVPS, J. Stein, G. Maugeri (Eds.): Bifacial Tracking - Fact Sheet. 2024-07, 6 p. Online <https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2024/07/Task-13-Bifacial-Tracking-Fact-Sheet.pdf>. Abgerufen 07-2024.
- [40] IEA PVPS, Ulrike Jahn (Ed.): "The Future of PV Systems in a World Increasingly Defined by Extreme Weather", Intersolar Europe 2024 Conference, Munic 2024-06-19. Online <https://iea-pvps.org/events/the-future-of-pv-systems-in-a-world-increasingly-defined-by-extreme-weather-at-intersolar-europe-conference-2024/>. Abgerufen 07-2024).
- [41] IEA PVPS, Ulrike Jahn (Ed.), et.al.: "Digitalisation in PV Power Plants: Enhancing O&M through Digital Twinning, Data and Process Integration", Intersolar Europe 2024 Conference, Munic 2024-06-18. Online <https://iea-pvps.org/events/workshop-at-intersolar-europe-conference-2024-in-munich-germany/>. Abgerufen 07-2024).
- [42] IEA PVPS, K.-A. Weiß (Ed.), et.al.: "IEA PVPS Task 13 webinar; Adapted testing for emerging PV applications", Block III, 14th SOPHIA PV-Module Reliability Workshop, Hasselt University 2024-04-25. Online: <https://iea-pvps.org/events/adapted-testing-for-emerging-pv-applications/> (abgerufen 04-2024).
- [43] IEA PVPS and ISES, Gernot Oreski (Ed.), Gabriele Eder; Laura Bruckman, R.H. French: Enabling 2nd life photovoltaics. Webinar 2024-04-18. Online <https://iea-pvps.org/events/webinar-enabling-2nd-life-for-photovoltaics-a-collaboration-between-iea-pvps-and-ises/> (abgerufen 06-2024)
- [44] IEA PVPS, Max Trommsdorf Ed.): Webinar: Legal Frameworks for Agrivoltaics in France, Italy and Croatia, 2024-04-10. Online <https://iea-pvps.org/events/webinar-legal-frameworks-for-agrivoltaics-in-france-germany-italy-and-croatia/> (abgerufen 06-2024).
- [45] IEA PVPS, U. Jahn, B. Farnung, M. Koentges, B. Müller, D. Moser (Eds.) & 17 Activity leaders from 10 countries, incl. G. Oreski: Task 13 Reliability and Performance – Work Plan 2022 – 2025, Final Version 2021-05-12, 48 p.
- [46] IEA-PVPS (Eds.): Bifacial Photovoltaic: Two sides are better than one; IEA-PVPS Webinar in Cooperation with Copper Alliance/Leonardo ENERGY 2021-06-10, Speakers: J.S. Stein (SNL, US); C. Reise (Fh ISE, DE); M.A. Alam (Purdue Univ, US); N. Riedel-Lyngskær (DTU, DK); online <https://iea-pvps.org/events/bifacial-photovoltaic-two-sides-are-better-than-one/> (abger. 03-2023).
- [47] IEA-PVPS (Ed.): Webinar Motivation, benefits and challenges for new photovoltaic material & module developments; U. Jahn, G. Oreski, L. Bruckman; 2021-06-15, <https://iea-pvps.org/events/webinar-motivation-benefits-and-challenges-for-new-photovoltaic-material-module-developments/>; Presentations: <https://www.slideshare.net/sustenergy/motivation-benefits-and-challenges-for-new-photovoltaic-material-module-developments>; Video: https://www.youtube.com/watch?v=XY_bOchHPYU (abger. 05-2023)

- [48] IEA-PVPS (Ed.): EU PVSEC 38 (2021) IEA PVPS Task 13 Parallel Workshop 2021-09-07; U. Jahn, W. Herrmann, I. Tsanakas, G. Friesen, G. Eder; *Qualification of PV Power Plants using Mobile Test Equipment*; <https://iea-pvps.org/events/qualification-of-pv-power-plants-using-mobile-test-equipment/>
- [49] IEA-PVPS (Ed.): Intersolar Europe 2021 Task 13 Workshop; Munich 2021-10-05 & 06, (1) U. Jahn, M. Köntges, C. Allenspach, D. Riley, B. Farnung, F. Baumgartner; *Performance of New System Designs*; <https://iea-pvps.org/events/intersolar-europe-iea-pvps-workshops/> (abger. 2023-05)
- [50] IEA-PVPS (Ed.): Intersolar Europe 2021 Task 13 Workshop; Munich 2021-10-05 & 06, (2) U. Jahn, D. Moser, C. Allenspach, P. Graniero, J. Deckx, S. Lindig, M. Chang; *Data Driven Mitigation Measures in Advanced PV Plant Monitoring*; <https://iea-pvps.org/events/intersolar-europe-iea-pvps-workshops/> (abger. 2023-05)
- [51] IEA-PVPS (Eds.): Webinar PV Module Energy Yield Measurements: Existing Approaches and Best Practice; 2020-03-11; Johanna Bonilla (TUV Rh, DE), Gabi Friesen (SUPSI, CH); **Slides & video** (abger. 2023-05), 56 p.
- [52] IEA-PVPS (Eds.): EU PVSEC 36 (2019) IEA PVPS Task 13 Parallel Workshop: Innovations in Photovoltaic Materials, <https://iea-pvps.org/events/eupvsec-iea-pvps-workshops/> .
- [53] IEA-PVPS (Ed.): EU PVSEC 36 (2019) IEA PVPS Task 13 Parallel Workshop 2020-09-10; *Performance of New Photovoltaic System Concepts and Designs*, <https://iea-pvps.org/events/eupvsec37/> (3) (abger. 2023-05)
- [54] IEA-PVPS (Eds.): Focus Workshop Operation & Maintenance 2021-09-30, Freiburg (DE); U. Jahn, W. Herrmann, I. Tsanakas, C. Schill, E. Whitney, G. Friesen, C. Reetz, C. Reise, A. Heimsath.
- [55] IEC (Eds.): Technical committees and subcommittees, Facts & figures, https://iectest.iec.ch/technical-committees-and-subcommittees#tcfacts%20sowie%20Statistics:%20https://iectest.iec.ch/dyn/www/f?p=103:160:0:::FSP_DISB,FSP_LANG_ID,FSP_EXPORT:NO,25,STATS. (abgerufen 2024-08)
- [56] IEC TS 60904-1-2 (Ed.1): Photovoltaic devices - Part 1-2: Measurement of current-voltage characteristics of bifacial photovoltaic (PV) devices. IEC 2019.
- [57] IEC 61215 Series (Ed.2): Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 1: Test requirements; Part -1-1 ... -1-4: Special requirements depending on cell type; Part 2: Test Procedures. IEC 2021.
- [58] IEC 61730 Series (Ed.3): Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 1: Requirements for construction; Part 2: Requirements for testing. IEC 2023.
- [59] IEC 62817:2014+AMD1:2017 CSV (Ed.1.1 2017): Photovoltaic systems - Design qualification of solar trackers.
- [60] IEC TS 62915 (Ed.2): Photovoltaic (PV) modules - Type approval, design and safety qualification – Retesting. IEC 2023.
- [61] IEC (Eds.): IEC TC 82, Solar photovoltaic energy systems, https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:7:::FSP_ORG_ID:1276 (abger. 2023-05)

- [62] IEC (Eds.): Standards development stages - An overview of the development process of a new IEC International Standard, <https://iectest.iec.ch/standards-development/stages> (Abger. 2023-05)
- [63] INFINITY - Climate sensitive long-time reliability photovoltaics (2015-2018), FFG Nr. 5478204, <https://energieforschung.at/projekt/climate-sensitive-long-time-reliability-of-photovoltaics/>
- [64] Indinger, Andreas; Felix Bettin, Marion Rollings (Österr. Energieagentur): Energieforschungserhebung 2023, Ausgaben der öffentlichen Hand in Österreich, Erhebung für die IEA. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 16/2024 (Hrsg. BMK), online: https://nachhaltig-wirtschaften.at/resources/nw_pdf/schriftenreihe/schriftenreihe-2024-16-energieforschungserhebung-2023.pdf, abgerufen 06-2024.
- [65] IRENA (2024), Renewable power generation costs in 2023, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Online https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Sep/IRENA_Renewable_power_generation_costs_in_2023.pdf
- [66] IRENA (Eds.): Renewable Capacity Statistics 2024. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. 04-2024, www.irena.org/Publications, (abgerufen 04-2024), 72 p.
- [67] IRENA (Eds.): Renewable energy highlights, 2022-06-18, (data up to 2020). Available at www.irena.org/statistics (abgerufen 12-2022), 2 p.
- [68] ISO/IEC (Eds.): ISO/IEC Directives Part 1, Ed. 18.0, 2022-05, ISO/IEC Directives, Part 1, (abger. 2023-05)
- [69] Jahn Ulrike (VDE Ren, DE), Gernot Oreski (PCCL, AT), Laura Bruckman (CWRU, US), *Designing New Materials for Photovoltaics: Opportunities for Lowering Cost and Increasing Performance through Advanced Material Innovations*, Webinar 15. Juni 2021, 15:00-17:30; Kooperation mit Task 13 Partner Copper Alliance, (Fernando Nuno, PVPS ExCo Copper Alliance), 55 p. Slides: <https://www.slideshare.net/sustenergy/motivation-benefits-and-challenges-for-new-photovoltaic-material-module-developments>, Presentation https://www.youtube.com/watch?v=XY_bOchHPYU
- [70] Jahn U, M. Herz, D. Moser, G. Belluardo and M. Richter, Managing technical risks in PV investments: How to quantify the impact of risk mitigation measures for different PV project phases?, Prog Photovolt Res Appl. 2018; 26: 597– 607. <https://doi.org/10.1002/pip.2970>
- [71] Jäger-Waldau, A.: *PV Status Report 2018*, EUR 29463 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-97465-6, doi:10.2760/826496, JRC113626, 95 p. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC113626> (abgerufen 2022-12)
- [72] Jordan DC, Haegel N, Barnes TM. Photovoltaics module reliability for the terawatt age. *Prog. Energy* 2022; **4(2)**: 22002, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2516-1083/ac6111>, DOI: 10.1088/2516-1083/ac6111
- [73] Jowett, Patrick: Bifacial PV, single-axis tracking produces cheapest electricity. PV-magazine, 2024-07-11, online : <https://www.pv-magazine.com/2024/07/11/bifacial-pv-single-axis-tracking-produces-cheapest-electricity-says-iea-pvps/> (abgerufen 08-2024)

- [74] Karas, J, Repins, I, Berger, K, Kubicek, B, Jiang, F, Zhang, D, Jaubert, J-N, Cueli, AB, Sample, T, Jaekel, B, Pander, M, Fokuhl, E, Koentopp, MB, Kersten, F, Choi, J-H, Bora, B, Banerjee, C, Wendlandt, S, Erion-Lorico, T, Sauer, KJ, Tsan, J, Pravettoni, M, Caccivio, M, Bellenda, G, Monokroussos, C & Maaroufi, H 2022, 'Results from an international interlaboratory study on light- and elevated temperature-induced degradation in solar modules', *Progress in Photovoltaics*, Jg. 30, Nr. 11, S. 1255-1269. <https://doi.org/10.1002/pip.3573>
- [75] Koentges Marc (ISFH, Hrsg.), Ultraviolet Fluorescence Workshop 2018-10-12, Speakers: Arnaud Morlier, Michael Siebert (ISFH, DE); Gabriele Eder (OFI, AT); Echhard Fleiß (DE); Bernhard Kubicek (AIT, AT); Vorträge online <https://isfh.de/uv-fluorescence-measurement-for-damage-assessment-of-pv-modules/> (abgerufen 03-2023).
- [76] Köstinger E., BM: *Vortrag an den Ministerrat; Erneuerbaren Ausbau Gesetz 2020 – EAG 2020. Änderung ÖSG 2012, EIWOG 2010, GWG 2011, und weiterer.* BMNT-555.300/0079-VI/3/2018, 5.12.2018, 16 p. https://www.bundestkanzleramt.gv.at/documents/131008/1111440/38_17_mrv.pdf/f8fb7455-79b7-4939-b6f2-a9cd8f70b6da
- [77] Mayr, C. & K. Berger (AIT), *Der Weg zur leistungsfähigen PV-Anlage*, Webinar bei PV Austria 2020-06-10
- [78] Méndez Laura, Forniés Eduardo, Garraín Daniel, Vázquez Antonio Pérez, Souto Alejandro, Vlasenko Timur: Upgraded Metallurgical Grade Silicon for solar electricity production: a comparative Life Cycle Assessment, *Science of the total environment* Vol. 789 (2021), publ. 02-2021, DOI:[10.1016/j.scitotenv.2021.147969](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147969)
- [79] Moser, David; Matteo Del Buono, Ulrike Jahn, Magnus Herz, Mauricio Richter, Karel De Brabandere, "Identification of technical risks in the photovoltaic value chain and quantification of the economic impact," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 25, no. 7, pp. 592–604, 2017, doi: [10.1002/pip.2857](https://doi.org/10.1002/pip.2857)
- [80] Neubauer, Clemens: Vorstellung der Öko-Solar-Biotop Anlage in Pöchlarn und Einblicke in drei Agri-PV Systeme der RWA. Vortrag beim Agri-PV Workshop der TPPV in Bruck/L, 25 p., 2023-02-23.
- [81] Oreski, G, Stein, JS, Eder, GC, Berger, K, Bruckman, L, French, R, Vedde, J & Weiß, KA 2022, 'Motivation, benefits, and challenges for new photovoltaic material & module developments', *Progress in Energy*, S. 23. <https://doi.org/10.1088/2516-1083/ac6f3f>
- [82] Oreski, G., Stein, J., Eder, G., Berger, K., Bruckman, L., Vedde, J., Weiss, K.A., „Motivation, benefits, and challenges for new photovoltaic material & module developments – Results from IEA PVPS Task 13 Subtask 1.1“, *Österreichische Fachtagung für Photovoltaik und Stromspeicherung*, Wien (AT), 13.10.2021.
- [83] Oreski G. (PCCL), Vortrag: *Floating PV: Challenges for materials and construction*, 23.9.2020, TPPV-Workshop zum Thema Floating PV. Organis. G. Eder (OFI)
- [84] Österr. Alpenverein: Umweltgütesiegel für Alpenvereinsstütten (1994), >90% erneuerbare Energie, vor allem aus Photovoltaik. s. <https://www.alpenverein.at/portal/huettenwege/guetesiegel-und-kampagnen/umweltguetesiegel/umweltguetesiegelhuetten.php>, (abgerufen 02-2023).

- [85] Oxford PV (Hrsg.): Oxford PV stellt Solarmodul für Aufdach- und Balkonaufgaben mit rekordverdächtigem Wirkungsgrad von 26,9% vor. 2024-06-21, Online <https://de.oxfordpv.com/news/oxford-pv-stellt-solarmodul-fuer-aufdach-und-balkonaufgaben-mit-rekordverdaechtigem> (abgerufen 07-2024).
- [86] Payr, Joachim: Agri-PV-Anlage EWS Sonnenfeld Bruck/Leitha. Vortrag beim Agri-PV Workshop der TPPV.2023-02-23, Bruck/L, 16 p.
- [87] PAMINA - Photovoltaic Performance Analysis Method based on Infra-Red Technology, 2014-2015, FFG 838634, <https://energieforschung.at/projekt/photovoltaic-performance-analysis-method-based-on-infra-red-technology/>
- [88] Parlament Österreich: Energieeffizienz-Reformgesetz 2023 – EEff-RefG 2023 (240/ME), Ministerialentwurf – Gesetzestext 22.12.2022, online https://www.parlament.gv.at/dokument/XXVII/ME/240/fname_1491772.pdf
- [89] PV Re² - Sustainable Photovoltaics, 2018-2021, FFG 867267, <https://energieforschung.at/projekt/sustainable-photovoltaics/>
- [90] PVA - Photovoltaik Austria (Hrsg.): NÖ: Entwurf für PV-Zonierung stärker als Waffe gegen Energiekrise und hohen Strompreis einsetzen. 14.9.2022, https://pvaustria.at/wp-content/uploads/2022-09-14-NOe_Entwurf-fuer-PV-Zonierung-staerker-als-Waffe-gegen-Energiekrise-und-hohe-Strompreis-einsetzen.pdf, (abgerufen 12-2022), 3 p.
- [91] PVA und TPPV (Hrsg.): Österreichische Fachtagung für Photovoltaik und Stromspeicherung, 13.-14. Oktober 2021, hybrid Wien & online, mit Einblick: Österreich im PV-Forschungsprogramm der Internationalen Energieagentur (IEA PVPS) u.a. mit Beiträgen zum Task 13; K. Berger, *Qualität in Installation und Betrieb von PV-Anlagen*; S. Lindig, *Unsicherheiten in Ertragsgutachten von PV-Anlagen*.
- [92] PVQAT (Eds.): International PV Quality Assurance Task Force, s. <https://www.pvqat.org/about/>
- [93] Raiffeisen Zeitung (Red.): Agri-PV: Südernte, Powerkultur & Wanderfrucht. RZ 18-2024, 2024-05-10, Online <https://raiffeisenzeitung.at/agri-pv-suedernte-powerkultur-wanderfrucht/>. Abgerufen 07-2024.
- [94] REgions - Ancillary services of regions with high shares of renewable energies for regional and European markets, #87232, 2019-10 bis 2022-09, s. <https://energieforschung.at/projekt/ancillary-services-of-regions-with-high-shares-of-renewable-energies-for-regional-and-european-markets/> und <https://www.regionsproject.info/>
- [95] Ritchie Hannah; Max Roser and Pablo Rosado (2020) - "Renewable Energy" Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: <https://ourworldindata.org/renewable-energy> [Online Resource]. OurWorldInData Update, based on Energy Institute – Statistical review of World Energy (12-2023); <https://ourworldindata.org/grapher/primary-sub-energy-source?time=latest> (abgerufen am 5.2024).
- [96] Rodríguez-Gallegos, Carlos D.; Haohui Liu, Oktoviano Gandhi, Jai Prakash Singh, Vijay Krishnamurthy, Abhishek Kumar, Joshua S. Stein, Shitao Wang, Li Li, Thomas Reindl, Ian Marius Peters: Global Techno-Economic Performance of Bifacial and Tracking Photovoltaic Systems. Joule Volume 4, Issue 7, 2020, p. 1514-1541. Online: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.05.005>. (abgerufen 12-2021).

- [97] SOLAR-TRAIN – PV Module Lifetime Forecast and Evaluation, EU H2020, GA 721452, 2016-2020, <https://solar-train.eu/>
- [98] Schleicher-Tappeser, Ruggero: Blog Nachhaltige Strategien, Serie Technikgeschichte, Folge 10, <https://nachhaltigestrategien.substack.com/p/dank-nanowissenschaften-strom-direkt>, abgerufen 12-2022.
- [99] Statistik Austria (Hrsg.): Energiebilanz Österreich 1970-2021. Online verfügbar unter <https://www.statistik.at/fileadmin/pages/99/AustriaDatenPublikation.ods> (abgerufen 01-2023). 85 p.
- [100] Suri, Marcel; Betak, Juraj; Rosina, Konstantin; Chrkavy, Daniel; Suriova, Nada; Cebecauer, Tomas; Caltik, Marek; Erdelyi, Branislav: Global Photovoltaic Power Potential by Country (English). Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP) Washington, D.C. (Ed. World Bank Group), <http://documents.worldbank.org/curated/en/466331592817725242/Global-Photovoltaic-Power-Potential-by-Country>, June 2020, 62 p.
- [101] TPPV - Österreichische Technologieplattform Photovoltaik, <https://tppv.at/>
- [102] TPPV - Österr. Technologieplattform Photovoltaik (Hrsg.) unterstützt durch BMK: Photovoltaik Industrie und Forschung in Österreich, 13 p, 01-2024. Online: <https://tppv.at/wp-content/uploads/2024/01/photovoltaik-industrie-und-forschung-in-oesterreich.pdf> (abgerufen 03-2024).
- [103] TPPV - Österr. Technologieplattform Photovoltaik (Hrsg.): Photovoltaik-Forschung, Mission 2030 und Green Deals. 4-seitiger Folder, online <https://tppv.at/photovoltaik-forschung/#tab-370bb64bfb89cb72d37>, und <https://tppv.at/photovoltaik-forschung/> sowie Positionspapier <https://tppv.at/photovoltaik-forschung/#tab-3a83ed29e2be573444d> (abgerufen 01-2023)
- [104] TPPV Österr. Technologieplattform Photovoltaik (Hrsg.): Workshop der TPPV zum Thema Qualitätssicherung, u.a. G. Oreski (PCCL), *Wechselspiel von Materialinnovationen & Qualität – IEA Task 13: ST1.1*; K.Berger (AIT), *Qualität bei der Anlageninbetriebsetzung*; G. Eder (OFI), *Materialidentifikation von Modulkomponenten im Feld*. 21.1.2021 (online)
- [105] TPPV Österr. Technologieplattform Photovoltaik (Hrsg.): Online Workshop zur *Photovoltaik Qualitätssicherung am 21.1.2021* mit Beiträgen von G. Oreski (PCCL) zu *Materialinnovationen und PV-Modulqualität*, S. Lindig (EURAC) zur *Alterung von PV-Anlagen*, K. Berger (AIT) zur *Qualität bei der Inbetriebsetzung von PV-Anlagen*, G. Eder (OFI) zur *Materialidentifikation von Modulkomponenten*.
- [106] Umweltbundesamt – Environment Agency Austria, *Austria's annual greenhouse gas inventory 1990-2021*, Report REP-0841, Vienna 2023, 56p. online <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0841.pdf>
- [107] US National Energy Research Laboratory (NREL): Best Research-Cell Efficiency Chart, <https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/best-research-cell-efficiencies.pdf> and Champion Photovoltaic Module Efficiency chart, <https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/champion-module-efficiencies-rev220401b.pdf> (abgerufen 02-2023).

- [108] Weiß, K.A., Kaaya, I., Oreski, G., Bruckman, L.S., French, R.H., Tanahashi, T. (2021) *“Needs, Challenges and Approaches for New Service Life Estimation Models for PV Modules – Results from IEA-PVPS-Task 13 Subtask 1.4”*, Proceedings of 38th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, pp. 538-539, DOI: [10.4229/EUPVSEC20212021-4BO.1.2](https://doi.org/10.4229/EUPVSEC20212021-4BO.1.2).
- [109] Yang Yu, Hong Li, Haibo Bao; Price dynamics and market relations in solar photovoltaic silicon feedstock trades; Renewable Energy Vol. 86 (2016), p. 526-542, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.08.069>.

