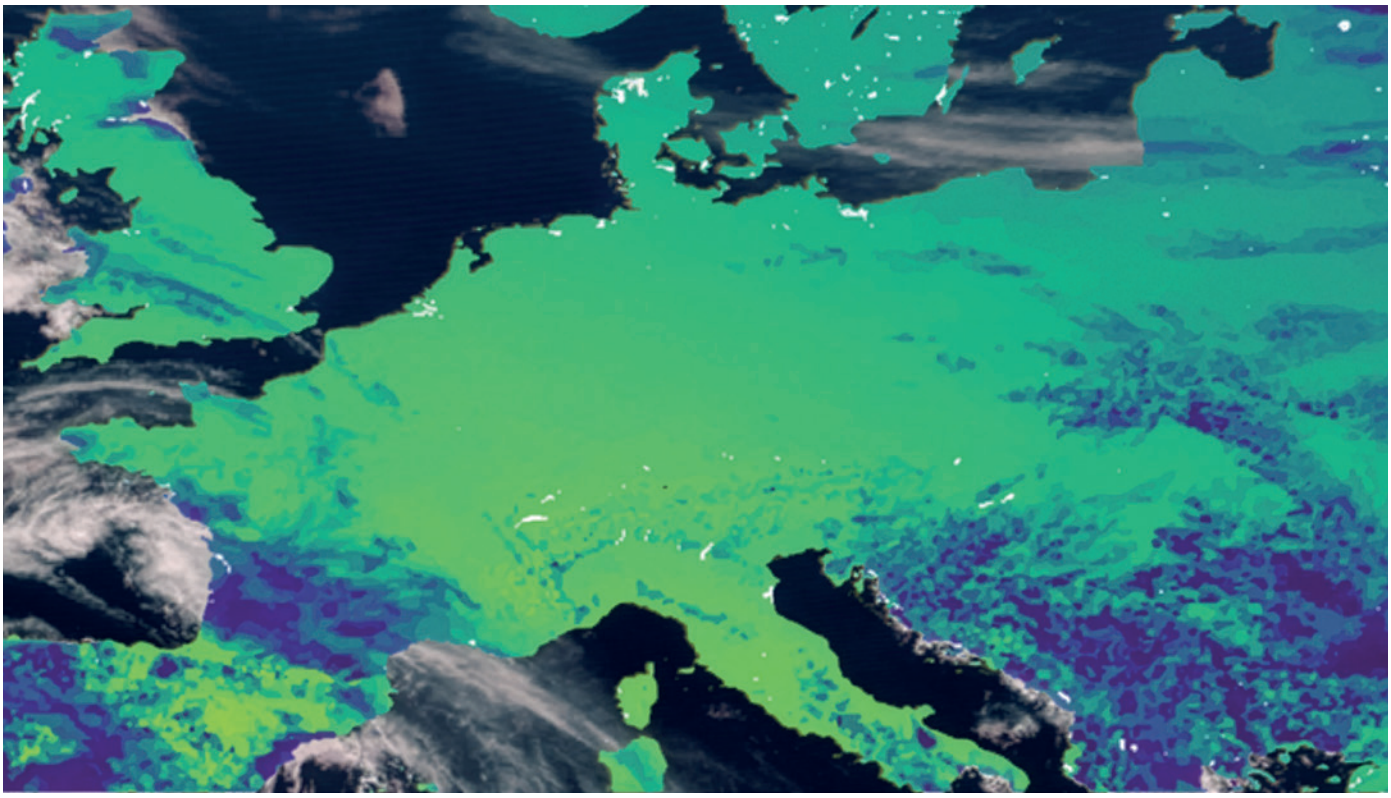

Bild: [1]

Abb. 1: „SARAH-3"-Globalstrahlungsdaten des CM SAF/Eumetsat (2025) über Europa in W/m²

Solare Kraft: Wie kostenfreie Fernerkundungsdaten die Energiewende unterstützen können

Die Energiebranche ist durch den Ausbau der erneuerbaren Energien verstärkt von meteorologischer und klimatologischer Variabilität beeinflusst, so auch die Photovoltaik-Branche. Um langfristige Planungen und die Wirtschaftlichkeit zu testen, sind kostenfreie Daten zur solaren Einstrahlung unabdingbar.

Autoren: **Eileen Kuhl, Sven Brinckmann und Uwe Pfeifroth**

Die solare Einstrahlung nimmt im Energiebereich einen immer wichtigeren Stellenwert ein. Die Arbeitsgruppe Erneuerbare-Energien-Statistik (AGEE-Stat) schreibt in ihrem Bericht zu den vorläufigen Zahlen von 2025, dass der Ausbau der Photovoltaik (PV) eine installierte Leistung von knapp 120 GW erreicht hat und damit das vom Erneuerbare-Energien-Gesetz vorgeschriebene Zwischenziel von 128 GW im Jahr 2026 in erreichbarer Nähe liegt. Ob das Ziel für 2030 von 215 GW erreicht werden kann, bleibt dabei abzuwarten [2].

Ein Diskussionspunkt auf vergangenen Windenergie-Veranstaltungen mit Relevanz für den PV-Ausbau ist besonders die Definition des Ziels, denn die installierte

Leistung entspricht nicht unbedingt der tatsächlichen Energiegewinnung. Dies hängt vor allem mit der teils hohen Variabilität der meteorologischen Größen Globalstrahlung und Wind auf Nabenhöhe zusammen. Zwar ist die solare Einstrahlung im Vergleich zum Parameter Wind bedingt durch die astronomischen Gegebenheiten in ihrem Jahresverlauf gut vorhersagbar, jedoch ist die kurzfristige solare Einstrahlung stark von der Bewölkung abhängig.

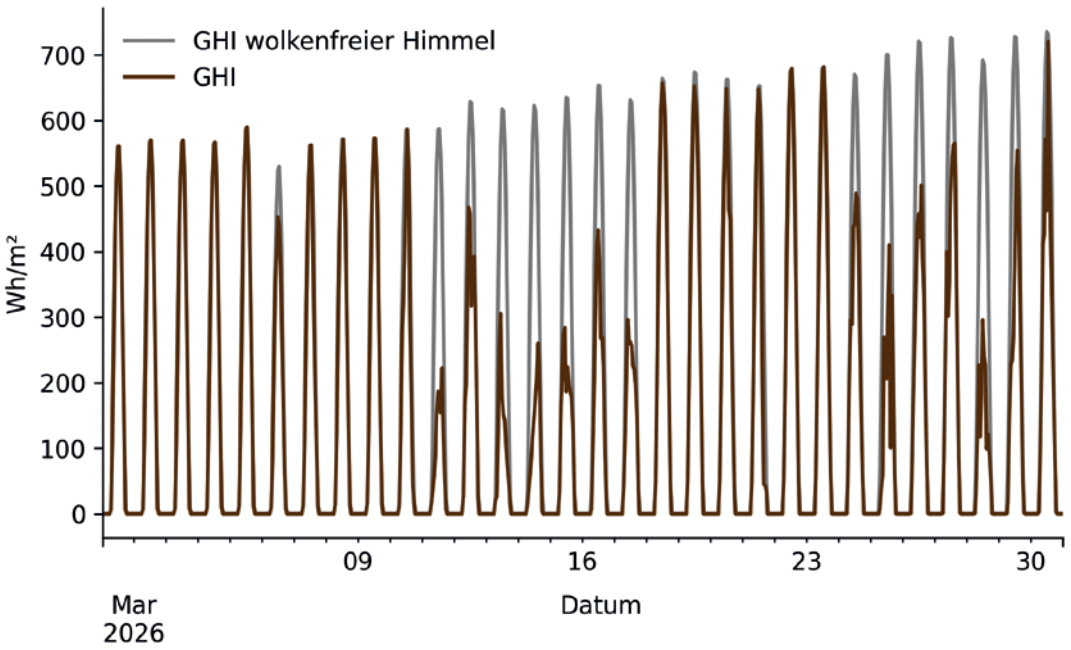

Bild: [10]

Abb. 2: Zeitreihe der summierten stündlichen Globalstrahlungsdaten für März 2026 des CAMS-Solarstrahlungs-Services für den Standort Mainz (~ 50° N, 8° E). Die Kurven zeigen die am Standort mögliche Einstrahlung unter klarem Himmel (grau) sowie die tatsächliche horizontale Globalstrahlung (kurz GHI) (braun) in Wh/m².

Auswertungen des Deutschen Wetterdienstes zeigen, dass die solare Strahlung in Deutschland im Beobachtungszeitraum 1991 bis 2025 einen signifikanten positiven Trend aufweist. So hat das Jahr 2025 den vierthöchsten Jahreswert der Globalstrahlung seit 1991 [3]. Diese Strahlungsdaten basieren auf einer Kombination aus Boden- und Satellitenmessungen und bieten einen flächendeckenden und weit in die Vergangenheit reichende Überblick zur Variabilität der Strahlung und dem Potenzial in Deutschland.

Dieses Beispiel zeigt, wie Fernerkundung den Energiesektor mit wichtigen Messdaten unterstützen kann. Satellitendaten spielen dabei eine zentrale Rolle, da sie eine räumlich (und zeitlich) vollständige Datenabdeckung der solaren Einstrahlung liefern können. Die solare Strahlung wird durch passive Systeme ermittelt, welche die natürliche Strahlung in der Atmosphäre messen bzw. diese aus anderen Messgrößen ableiten. Eine weitverbreitete Methode zur Extraktion der Globalstrahlung ist die sogenannte Heliosat-4-Methode [4]. Vereinfacht ausgedrückt werden aus von Wolken reflektierter Strahlung sogenannte Cloud-Index-Bilder erzeugt. Diese Daten werden neben weiteren in zwei physikalischen Modellen genutzt, um die Global-, Direkt- und Diffusstrahlung zu berechnen (siehe Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS): User Guide to the CAMS Radiation Service) [5]. Außerdem stellt die Eumetsat Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF) relevante Klimadatensätze für die Solarenergie kostenlos bereit.

Fernerkundungsdaten werden auf vielfältige Weise im PV-Bereich angewendet. Sie können sowohl für Bestands- als auch für Potenzialanalysen genutzt werden. Weiter können Strahlungsdaten für lokale Energiesysteme genutzt werden. In diesem Beitrag werden verschiedene Fernerkundungsdaten und ihre Einsatzmöglichkeiten für die solare Energiewirtschaft beleuchtet, wobei der Fokus auf kostenfrei verfügbaren Strahlungsdaten liegt und der Beitrag keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

Fernerkundungsdaten für die solare Energiewirtschaft

Das europäische Erdbeobachtungsprogramm Copernicus (s. Infobox „Copernicus“ auf S. 31) stellt neben eigenen Satellitenmissionsdaten aufbereitete Produkte über die Datenportale der jeweiligen Copernicus-Dienste bereit. Am relevantesten für die Energiewirtschaft in Deutschland sind der „Atmosphere Data Store“ (ADS) [6] des Copernicus-Dienstes zur Überwachung der Atmosphäre (CAMS) und der „Climate Data Store“ (CDS) [7] des Copernicus-Dienstes zur Überwachung des Klimawandels (C3S).

Für die solare Einstrahlung stellt der CAMS-Solarstrahlungs-Dienst zwei Produkte zur Verfügung: historische Zeitreihen [8] solarer Strahlungsparameter (Abbildung 2) für einen beliebigen Ort sowie einen gegitterten Rasterdatensatz [9] der verschiedenen Strahlungsparameter. Beide Datensätze stellen die Variablen globale, direkte, direkt-normale (rechtwinklig zur auftreffenden Solarstrahlung) und diffuse solare Einstrahlung unter tatsächlichen und unter wolkenfreien Bedingungen bereit. Die historischen Zeitreihen decken den Zeitraum 2004 bis gestern ab und beinhalten 1-minütige Messungen für einen frei wählbaren Ort. Um die tatsächliche Einstrahlung bereitzustellen, werden Wolkeninformationen im Sichtbereich der geostationären Satelliten der Meteosat Second Generation (MSG) und der Himawari-Satelliten genutzt. Sie decken Europa, Afrika, Teile Südamerikas, des Mittleren Ostens, Teile Asiens und Australiens ab und die tatsächliche Einstrahlung liegt entsprechend nur für diese Ausschnitte vor. Aus den punktspezifischen Zeitreihen wird jährlich ein gegitterter Datensatz erstellt, welcher vom Jahr 2004 bis zum Ende des Vorjahrs reicht und auf 15-minütige Zeitintervalle gemittelt ist. Die dazugehörigen Daten liegen gesammelt in monatlichen Dateien vor (räumliche Auflösung 0,1°).

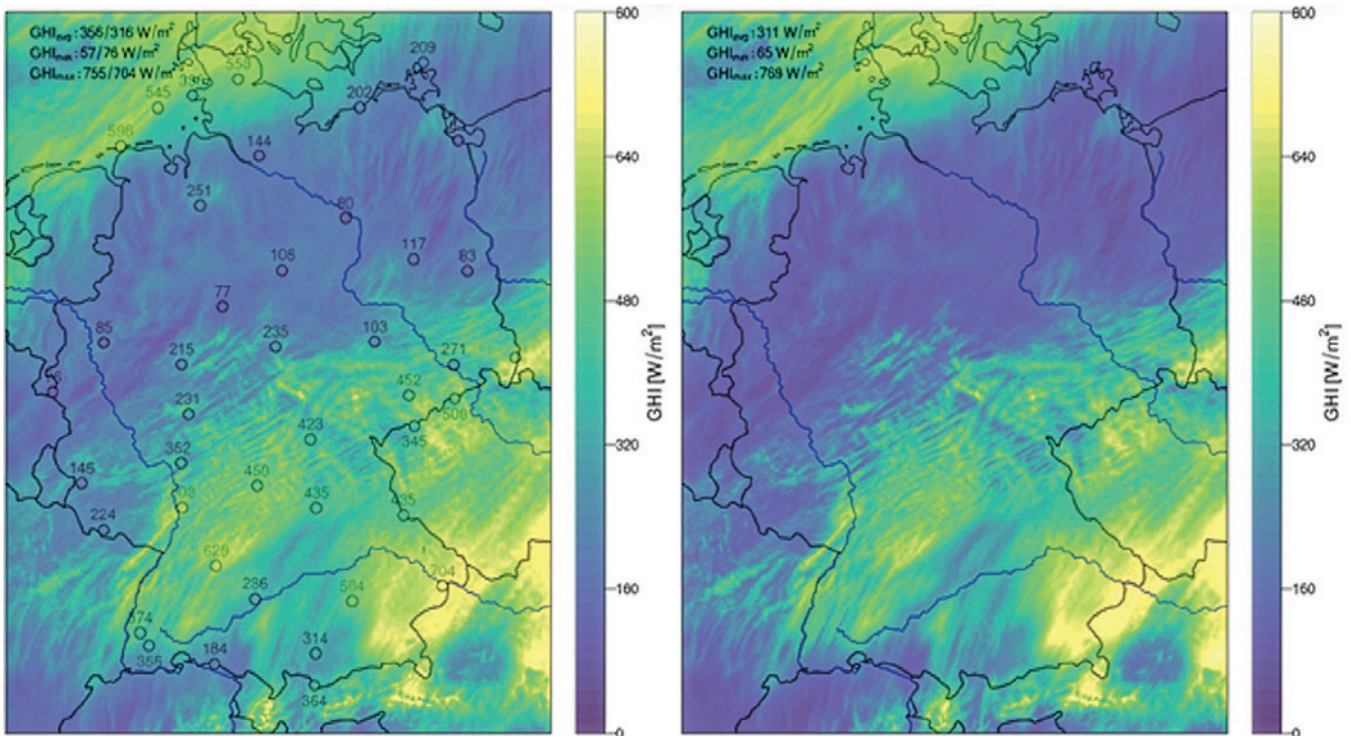

Bild: [14]

Abb. 3: Beispieldaten Globalstrahlung „DUETT" (rechts) im Vergleich zu den beiden Eingangsdatensätzen für die Kombination (links), den Stations-daten (als farbige Punkte) und den Satellitendaten, für den 6. 5. 2026 08:50 UTC

Das Ziel des CAMS-Solarstrahlungs-Services ist es, europäische und nationale politische Entwicklungen zu unterstützen und zu einem gewissen Teil die Anforderungen von kommerziell nachgelagerten Diensten zu bedienen. Während die historischen Zeitreihen dabei vor allem für die Standortbewertung, Planung und Anlagenüberwachung von Solaranlagen an einem bestimmten Ort relevant sind, eignen sich die Rasterdaten zum Beispiel für die Energiesystemanalyse, Energieeffizienzstudien oder die Integration von PV-Anlagen in die Energieversorgungsnetze.

Neben den Produkten, welche durch Dienste wie CAMS bereitgestellt werden, sind auch direkte prozessierte Sentinel-Messdaten, zum Beispiel der Radarmission (Sentinel-1) oder der Multispektralmission (Sentinel-2) für die PV-Branche interessant. So kann der Bestand und Ausbau erneuerbarer Energien durch lange historische und flächendeckende Zeitreihen global beobachtet werden.

Erdbeobachtungsdaten spielen eine zentrale Rolle für die Durchführung von Bestands- und Potenzialanalysen sowie für die Unterstützung von Entscheidungsträgern bei der Entwicklung zukünftiger PV-Flächenpotenziale.

Diese Bestands- und Potenzialanalysen, welche mittels Fernerkundungsdaten ermöglicht werden, können so beispielsweise die kommunale Wärmeplanung in Deutschland unterstützen. Da die Haushaltslage der Kommunen in den letzten Jahren zunehmend herausfordernder war [11], nehmen kostenfreie Daten und Dienste eine immer zentralere Rolle ein. So können diese auch bei der Wärmeplanung eine kostengünstige Alternative bieten.

Eumetsat CM SAF erstellt und verbreitet satellitenbasierte Klimadaten mit Schwerpunkt auf Parametern des Energie- und Wasserkreislaufs. Das CM SAF besteht aus einem internationalen Konsortium, welches durch den Deutschen Wetterdienst geleitet wird. In verschiedenen Datensätzen werden Parameter der solaren Einstrahlung zur Verfügung gestellt. Zu erwähnen sind hier speziell die Klimadatensätze „SARAH-3" und „CLARA-A3". „SARAH-3" beinhaltet u. a. die Globalstrahlung, Direktstrahlung, Direktnormalstrahlung und die Sonnenscheindauer in 30-minütiger zeitlicher und 0,05° (~ 5 km) räumlicher Auflösung. „SARAH-3" deckt den Bereich Europa, Afrika und umliegende Ozeanbereiche ab. „CLARA-A3" beinhaltet neben Wolkeninformationen die Globalstrahlung in täglicher Auflösung auf einem globalen 0,25° (~ 25 km) Gitter. Große Beachtung bei der Erstellung von CM-SAF-Daten hat stets ihre räumliche und zeitliche Konsistenz, sodass Aussagen über mittel- und langfristige Variabilität möglich werden.

Ein anderer Ansatz wird für die Erstellung der „DUETT"-Daten (Abbildung 3) verfolgt. Hierbei werden in Echtzeit Stations- und Satellitendaten in einen Datensatz kombiniert. Dadurch können die Vorteile beider Datenquellen ideal genutzt werden: hohe Genauigkeit von Stationsdaten am Standort und räumlich vollständige Informationen durch Satelliten. „DUETT" beinhaltet die Globalstrahlung und Sonnenscheindauer für Deutschland in stündlicher Auflösung auf einem 2-km-Gitter. In naher Zukunft wird auch die diffuse Strahlung angeboten und die räumliche Auflösung aller Parameter auf 1 km erhöht. Weitere Information zu den CM-SAF und „DUETT"-Daten sind über [12] und [13] verfügbar.

In [15] werden diese Datensätze gemeinsam mit weiteren im Detail vorgestellt. Ein aus dem Paper resultierender Entscheidungsbaum (Abbildung 4) wurde hier um die CAMS-Strahlungsdaten ergänzt.

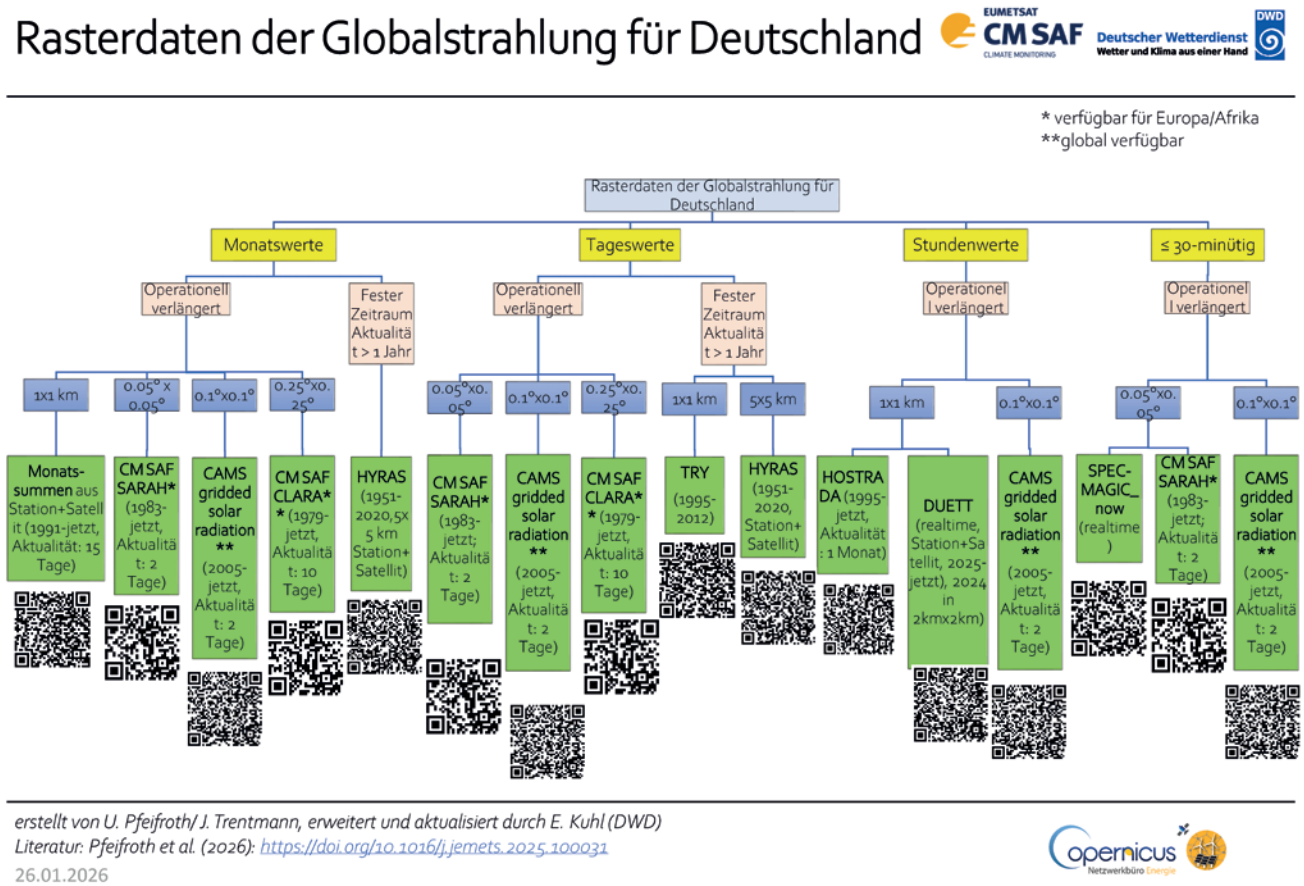

Abb. 4: Übersicht der Rasterdaten der Globalstrahlung für Deutschland (erweiterte Darstellung aus [15])

Von der Forschung in die Praxis: Zwei Use-Cases

Das Projekt „Copernicus-Daten für Energy Sharing“ (Co-DatES) beschäftigt sich mit Möglichkeiten zur Nutzung von Erdbeobachtungsdaten für *Energy Sharing* (Start Oktober 2024). *Energy Sharing* beschreibt das Konzept, das sogenannte Erneuerbare-Energie-Gemeinschaften (EE-Gemeinschaften) Energie gezielt miteinander im öffentlichen Stromnetz teilen können. Dies soll nach § 42c EnWG in Deutschland ab dem 1. 6. 2026 möglich sein. Im Projekt „Co-DatES“, welches durch das Bundesministerium für Verkehr (BMV) gefördert ist, liegt der Fokus auf digitalen Werkzeugen, um die Planung und Umsetzung von EE-Gemeinschaften zu vereinfachen. Eine zentrale Fragestellung ist: Wie wichtig sind hoch aufgelöste Strahlungsdaten für die Wirtschaftlichkeit innerhalb einer EE-Gemeinschaft? Hierfür werden die Solarstrahlungsdaten von CAMS mit anderen Wetterdaten verglichen. Das Projektkonsortium besteht aus dem Institut für Vernetzte Energiesysteme beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Copernicus und das Netzwerkbüro Energie

Copernicus ist das Erdbeobachtungsprogramm der EU. Es ist in die drei Komponenten Raumfahrt, Dienste und In-situ aufgeteilt. Die Dienste umfassen sechs verschiedene Themenbereiche und werden jeweils durch eine sogenannte „entrusted entity“ koordiniert. Auf der nationalen Ebene gibt es in Deutschland das nationale Copernicus-Fachnetzwerk. Hierzu zählen nationale Fachkoordinationen für die Copernicus-Dienste, das Expertennetzwerk sowie die Netzwerkbüros. Weitere Informationen unter [20].

Das „Copernicus Netzwerkbüro Energie“ ist neben drei weiteren aktiven Netzwerkbüros seit Dezember 2024 als nationaler „Point-of-Contact“ aktiv und wird durch den Deutschen Wetterdienst koordiniert. Das Netzwerkbüro informiert zu Daten und Diensten des europäischen Copernicus-Programms für den Sektor Energie und dient als Multiplikator für Anwendungsbeispiele. Es vernetzt Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft und öffentlicher Hand, um den Wissenstransfer und die Zusammenarbeit hinsichtlich der erfolgreichen Nutzung von Copernicus-Daten und -Diensten zu fördern. Es dient zugleich als Schnittstelle zu nationalen Copernicus-Institutionen und kann gezielt Potenziale und Hemmnisse weiterleiten.

(DLR), der Stadt Oldenburg, dem Oldenburger Energiecluster OLEC e. V. und greenventory GmbH. Nähere Informationen zum „Projekt Co-DatES“ unter [16] (Kontakt beim DLR: Jonas Stührenberg, jonas.stuehrenberg@dlr.de).

Daten des CM SAF sind für alle Zwecke frei verfügbar und werden vielfältig eingesetzt. Eine populäre Anwendung von „SARAH-3“-Daten des CM SAF ist „PVGIS“ [17]. PV-GIS ist ein freies Online-Tool des „Joint Research Center“ der Europäischen Kommission. Das Tool kann für einen beliebigen Standort den erwartbaren Ertrag bzw. die erwartbare Stromerzeugung einer PV-Anlage berechnen, jeweils unter Angabe ihrer individuellen Eigenschaften, wie Größe, Ausrichtung, Modultyp oder Systemverluste. Im Hintergrund werden hierzu die Daten der Global- und Direktstrahlung aus SARAH-3 als Standard-Datenquelle verwendet. PV-GIS ermöglicht auch den direkten Download von Zeitreihendaten für den jeweiligen Standort. PV-GIS ermöglicht somit jeder Person die Analyse eines Standortes auf PV-Tauglichkeit und ein Monitoring der Erträge im Vergleich zum klimatologisch Erwartbaren.

Mehr als nur Fernerkundung?

Neben Fernerkundungsdaten wie den bereits erwähnten Strahlungsdaten, können auch Modelldaten eine wichtige Rolle für die Energiewende spielen, besonders auch für die PV-Branche. So gibt es von CAMS neben den Messzeitreihen der Vergangenheit auch globale Aerosol-Vorhersagen. Die täglich gerechneten Vorhersagemodelle für die kommenden fünf Tage können in einer Webmap [18] in 3-stündigen Schritten beobachtet werden. Weiter stehen über den CAMS ADS die kompletten Modellvorhersagen des CAMS Global Atmospheric Composition Forecasts [19] zur Verfügung.

Quellen:

[1] Pfeifroth, U.; Kothe, S.; Drücke, J.; Trentmann, J.; Schröder, M.; Selbach, N.; Hollmann, R. (2023): Surface Radiation Data Set – Heliosat (SARAH) – Edition 3, Satellite Application Facility on Climate Monitoring. https://doi.org/10.5676/EUM_SAF_CM/SARAH/V003. Die Daten können hier abgerufen werden: https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewHome (Provider: CM SAF/Eumetsat).

[2] Umweltbundesamt (Hrsg.) | Geschäftsstelle der Arbeitsgruppe Erneuerbare-Energien-Statistik (AGEE-Stat) (Red.): Erneuerbare Energien in Deutschland. Daten zur Entwicklung im Jahr 2025 (März 2026). www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/479/publikationen/2026-03/UBA_Erneuerbare Energien in Deutschland 2025.pdf

[3] Drücke, J. et al.: Energiewetter im Jahr 2025: Meteorologischer Jahresrückblick auf energierelevante Wetterelemente. Deutscher Wetterdienst, Abteilung Hydrometeorologie, Offenbach am Main (2026). www.dwd.de/DE/leistungen/energiewetter_rueckblick/publikationen/bericht_jahresrueckblick-2025.pdf?__blob=publicationFile&v=2

[4] Qu, Z. et al.: Fast radiative transfer parameterisation for assessing the surface solar irradiance: The Heliosat4 method. In: Meteorologische Zeitschrift 26 (2017) 1, S. 33 – 57.

[5] Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS): User Guide to the CAMS Radiation Service (2021). https://atmosphere.copernicus.eu/sites/default/files/2022-01/CAMS2_73_2021SC1_D3.2.1_2021_UserGuide_v1.pdf

[6] https://ads.atmosphere.copernicus.eu

[7] https://cds.climate.copernicus.eu

[8] https://ads.atmosphere.copernicus.eu-datasets/cams-solar-radiation-timeseries?tab=overview

[9] https://ads.atmosphere.copernicus.eu/datasets/cams-gridded-solar-radiation?tab=overview

[10] Copernicus Atmosphere Monitoring Service (2020): CAMS solar radiation time-series. Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Atmosphere Data Store. https://doi.org/10.24381/5cab0912 (18. 5. 2026)

[11] www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2026/04/PD26_114_71137.html

[12] www.cmsaf.eu

[13] www.dwd.de/duett

[14] Die DUETT-Daten werden vom Deutschen Wetterdienst bereitgestellt und können hier heruntergeladen werden: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/hourly/duett/radiation_global/recent

[15] Pfeifroth, U. et al.: An overview of surface solar radiation data products at the German meteorological service. In: Journal of the European Meteorological Society 4 (2026), 100031. https://doi.org/10.1016/j.jemets.2025.100031

[16] www.oldenburg.de/startseite/wirtschaft/wirtschaftsfoerderung/zukunftsprojekte/codates-copernicus-daten-fuer-energy-sharing.html

[17] https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

[18] https://atmosphere.copernicus.eu/charts/packages/cams/products/aerosol-forecasts?base_time=202604210000&layer_name=composition_aod550&projection=classical_global&valid_time=202604210300

[19] https://ads.atmosphere.copernicus.eu/datasets/cams-global-atmospheric-composition-forecasts?tab=overview

[20] www.erdbeobachtung.info/programme/copernicus

Kontakt:

Dr. Eileen Kuhl

Copernicus Netzwerkbüro Energie | Deutscher Wetterdienst

E: copernicus-energie@dwd.de