

REKORDHOCH

PV-ANLAGENERTRÄGE IM JAHR 2022 ÜBERTREFFEN ALLE ERWARTUNGEN

Energiemeteorologie: Wie in den Vorjahren bleibt auch 2022 als ein Jahr mit extremen Wetterbedingungen in Erinnerung. Schon zu Beginn des Jahres, während des Frühlings und Sommers bis hin zu den Wintermonaten, gab es flächendeckende Trockenperioden und Rekordtemperaturen. In vielen Regionen war die Sonneneinstrahlung deutlich höher als der langjährige Durchschnitt, was in ganz Deutschland zu erfreulichen Erträgen bei der Photovoltaik führte.

Das war das Wetterjahr 2022¹⁾

Mit einer Durchschnittstemperatur von 10,5 °C gehört das Jahr 2022 zu den zweitwärmsten Jahren seit Beginn der Messaufzeichnungen im Jahr 1881 und liegt 2,3 Grad über dem international anerkannten Referenzwert von 1961 bis 1990 (Bild 1). Sogar im Vergleich zur wärmeren Referenzperiode von 1991 bis 2020 betrug die Abweichung 1,2 Grad. Auch in Bezug auf den Niederschlag war das vergangene Jahr bemerkenswert: Mit einer Menge von 670 Litern pro Quadratmeter lag der Niederschlag 15 % unter dem anerkannten Referenzwert (Bild 2) und hatte erhebliche Auswirkungen auf Natur und Landwirtschaft.

Der Januar begann bereits mit durchschnittlichen 3,6 °C im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt deutlich zu warm und es war ein Winter, der nur in höheren Berglagen spürbar war. Der Februar wurde von kräftigen Stürmen und Orkanen mit milden Luftmassen beeinflusst, was zu einer Durchschnittstemperatur von 4,4 °C und 4,0 Grad über der Referenzperiode und einem Anstieg des Niederschlags um 64 Prozent führte. Nach einem vergleichsweise milden Winter wurde Deutschland in der ersten Hälfte des Aprils von einem Wintersturm heimgesucht, aber die Temperaturen stabilisierten sich überdurchschnittlich im Laufe des Monats.

Der Frühling war bereits von einer Trockenheit geprägt: Mit nur 125 Litern Niederschlag pro Quadratmeter wurden nur 67 Prozent des langjährigen Durchschnitts erreicht. Die hohen Temperaturen und die Trockenheit setzten sich im Sommer fort. Im Juni, Juli und August gab es europaweit Temperaturrekordtemperaturen und Dürren, insbesondere das Saarland, Rheinland-Pfalz und Hessen erlebten his-

torische Sommerdürren. Viele Regionen riefen die Menschen dazu auf, Wasser zu sparen. Der vergangene Sommer gehört zu den sechs trockensten und einem der vier wärmsten seit Beginn der Messaufzeichnungen.

Insgesamt kann gesagt werden, dass das Jahr 2022 von den hohen Temperaturen und einer Trockenheit geprägt war, die sowohl im Winter, Sommer als auch im Herbst zu spüren waren. Besonders im Sommer kam es zu Temperaturrekor-

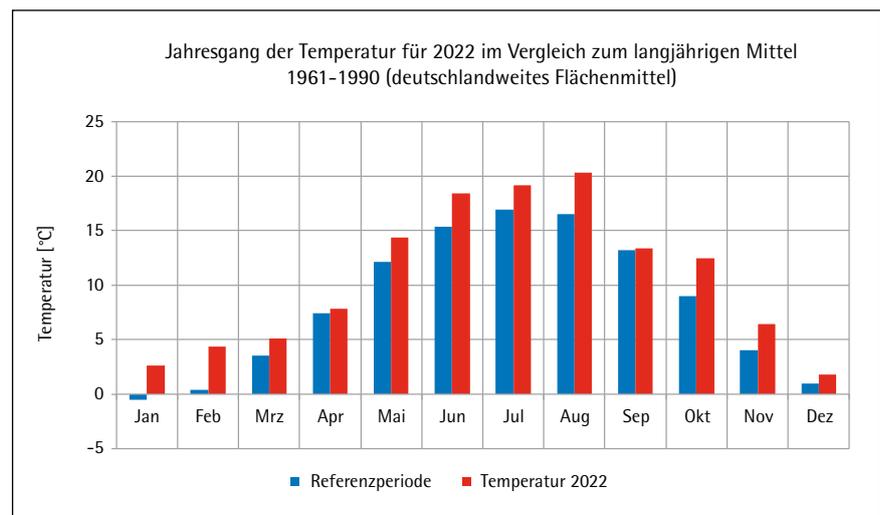


Bild 1: Diese Grafik zeigt den Verlauf der monatlichen Durchschnittstemperatur für 2022 (in rot) im Vergleich zur langjährigen Referenzperiode von 1961 bis 1990 (in blau). Es ist ersichtlich, dass die Temperatur in allen Monaten im vergangenen Jahr höher war als im Vergleich zur Referenz.

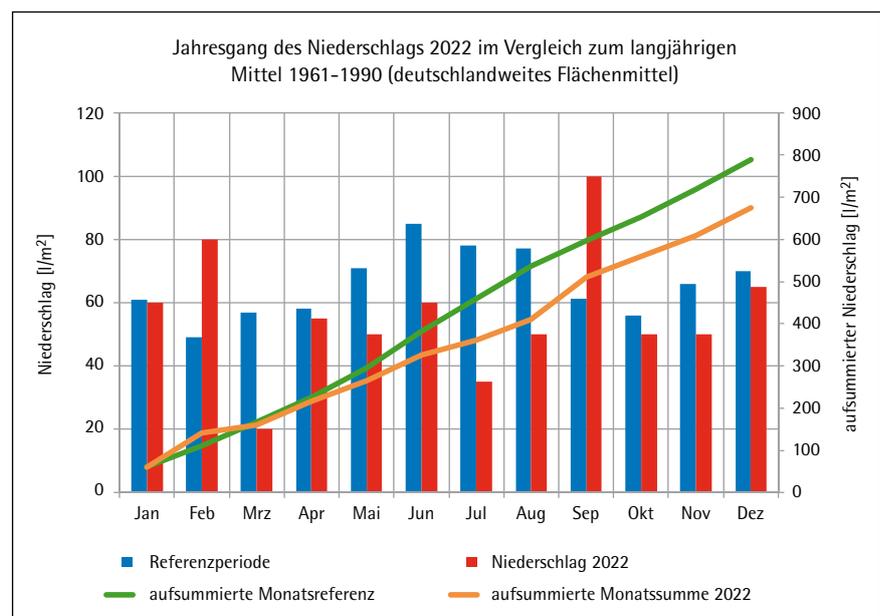


Bild 2: Eine Vergleichsdarstellung des Niederschlags im Jahr 2022 (rote Säule) mit der langjährigen Referenzperiode von 1961 bis 1990 (blaue Säule). Im Februar und September fielen überdurchschnittliche Niederschläge, während in den restlichen Monaten die Niederschläge unter dem Referenzwert lagen. Die aufsummierte Monatssumme (orangene Linie) im Vergleich zur aufsummierten Monatsreferenz (grüne Linie) zeigt ein deutliches Defizit bei den Niederschlägen im Jahr 2022.

den und Dürren, die Auswirkungen auf die Natur und Landwirtschaft hatten. Die flächendeckenden Regenmengen im September brachten eine Entspannung, aber das Jahr verabschiedete sich trotzdem als eines der wärmsten seit Messbeginn. Diese Veränderungen im Klima haben gezeigt, wie wichtig es ist, Maßnahmen zum Schutz unseres Planeten zu ergreifen.

Vulkanausbruch Hunga Tonga

Am 15. Januar 2022 (05:10 MEZ) ist der Inselstaat Tonga (Pazifik) gelegene Vulkan Hunga Tonga-Hunga Ha'apai ausgebrochen. Auf den Ausbruch folgte eine massive Eruption, dessen Luftdruckereignisse an den Wetterstationen der Technischen Hochschule Rosenheim nachgewiesen werden konnten. Die ersten Luftdruckereignisse erreichten den Landkreis Rosenheim am 15.01. gegen 20:20 Ortszeit. Die Zeitdifferenz zwischen dem Ausbruch und den ersten Ereignissen an der Hochschule betragen ca. 55.900 Sekunden. Die gemessene Druckerhöhung von ca. 1,5 hPa bei einer Messrate von 1/s zeigt die hohe Qualität der Messgeräte und Datenaufzeichnung. Die Verwendung des GNSS als synchronisierende Zeitquelle hat zu einer präzisen und zuverlässigen Messung beigetragen. Die nördlichste Messstation der TH Rosenheim detektierte den Druckanstieg zuerst, die 17,3 km Luftlinie weiter südlich gelegene Station in Steinach bei Nussdorf (Inntal) 50 Sekunden später. Die letzten Luftdruckereignisse wurden in Rosenheim am 16. Januar gegen 02:00 Uhr aufgezeichnet. Hier ist der gleiche Zeitversatz erkennbar, jedoch erreichte die nun aus Süden kommende Druckwelle

die Station Steinach zuerst. In Bild 3 ist dieser Zeitversatz des ersten Druckanstiegs zwischen Rosenheim und Steinach erkennbar. Die Messungen bestätigen damit die Ankunft der Druckwelle über die kürzere Laufstrecke aus Norden²⁾.

PV-Anlagenenerträge 2022 unter der Lupe

Bei den Anlagenenerträgen spielen die Ausrichtungen der Module im Zusammenhang mit den Intensitäten der Strahlungsanteile, das jeweilige Mikroklima vor Ort, die individuellen Verschattungssituationen oder die verschiedenen Montagearten eine wichtige Rolle für den tatsächlichen Energieeintrag. Die Ertragskarte in Bild 4 beschreibt die deutschlandweiten Anlagenenerträge für das Jahr 2022 in verschiedenen Regionen. Das Ergebnis der Grafik ist qualitativ von der Anlagendichte und -qualität aller Regionen abhängig, aber aufgrund der großen Anzahl überwachter Systeme repräsentativ. In der Karte in Bild 5 ist hingegen die Ertragsabweichung zu den vorhergehenden Jahren (2012 bis 2021) dargestellt, wodurch Besonderheiten im Ertrag für das Jahr 2022 sichtbar werden. Die beiden Ertragskarten wurden auf Basis der Meteocontrol VCOM Cloud erstellt³⁾. 2022 war in den PV-Anlagenenerträgen vielerorts ein Rekordjahr. Die erzielten Erträge in fast ganz Deutschland sind wieder beeindruckend hoch. Wenig überraschend ist der bekannte und sehr ertragreiche Bereich im Süden Deutschlands. Die Ertragskarte zeigt das typische Süd-Nord-Gefälle in Deutschland. Vom Schwarzwald, über den Bodensee, Allgäu, Schwaben bis ins südliche Oberbayern ist ein deutliches Ertragsplus zu ver-

zeichnen. Allerdings ist das vergangene Jahr für weite Teile in Deutschland leicht überdurchschnittlich. Deshalb konnten sich auch Anlagenbetreiber in Niedersachsen, NRW, Rheinland-Pfalz und Saarland über einen überdurchschnittlichen Jahresertrag freuen. In Summe reicht die sehr positive Jahresbilanz auf Bundesebene aus, um die Ertragsverluste in Teilen von Mittelfranken, Sachsen und Sachsen-Anhalt auszugleichen. Für Deutschland wurde im vergangenen Jahr eine mittlere Jahressumme der Globalstrahlung von 1.227 kWh/m² erreicht und es ist damit das strahlungsreichste Jahr seit der zuverlässigen Datenverfügbarkeit von 1983. Die zuvor strahlungsreichsten Jahre 2018 mit 1.207 kWh/m² und 2003 mit 1.197 kWh/m² rutschen auf die Plätze zwei und drei ab⁴⁾.

PV-Anlagenverhalten Solardach München-Riem in 2022

Als Referenzsystem dient die 1-MW-PV-Anlage Solardach München-Riem⁵⁾. Die Grafik in Bild 6 zeigt die spezifischen Jahreserträge der Anlage von 2001 bis 2022 sowie den Verlauf der Globalstrahlung im selben Zeitraum. Der schwarze Balken zeigt den Mittelwert der Jahre 2001 bis 2021. Der spezifische Jahresertrag für 2022 ist in rot gekennzeichnet, in grün (2003), blau (2011) und gelb (2013) sind besonders hohe oder niedrige Werte hervorgehoben. Eindeutig erkennbar ist hier der Zusammenhang zwischen den spezifischen Erträgen und der Globalstrahlung. Mit einem spezifischen Ertrag von 1.154 kWh/(kW_p·a) wurde ein Wert von 11 % über dem langjährigen Mittel und damit ein Rekordhoch im Jahresertrag erzielt. Die hohe mittlere Jahressum-

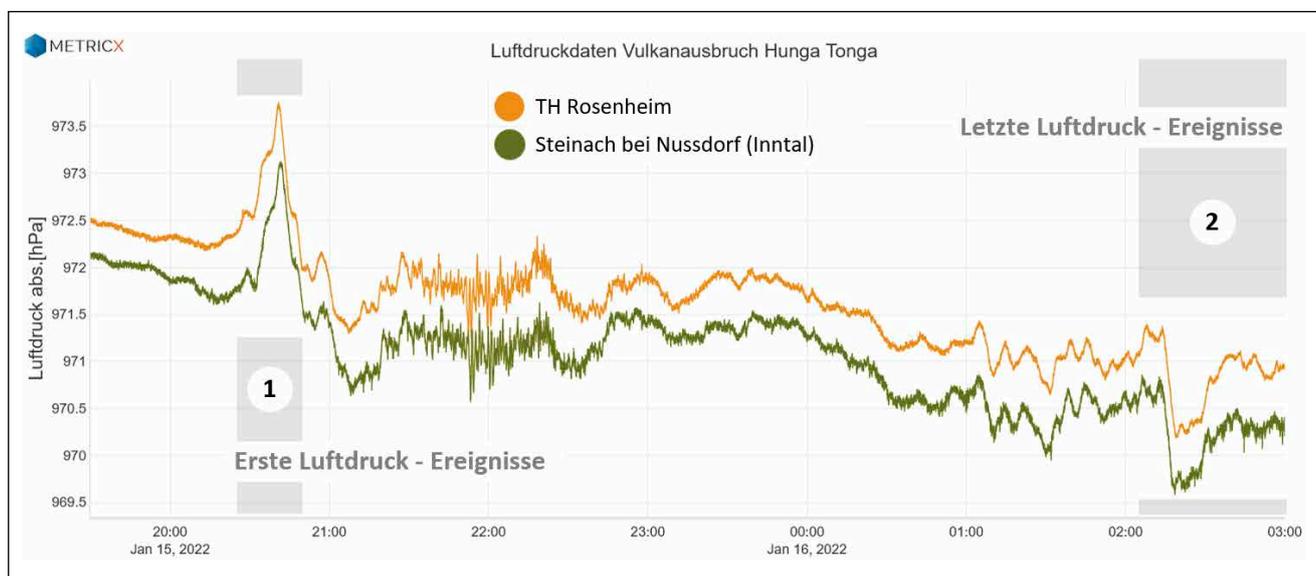


Bild 3: Darstellung der Luftdruckereignisse an den beiden Wetterstationen der Technischen Hochschule Rosenheim auf dem Campus der Hochschule (orange Linie) und in Steinach (grüne Linie) bei Nussdorf im Inntal. Deutlich zu sehen ist der erste Peak um 20:20 Uhr und das letzte Luftdruckereignis gegen 02:00 Uhr Ortszeit.

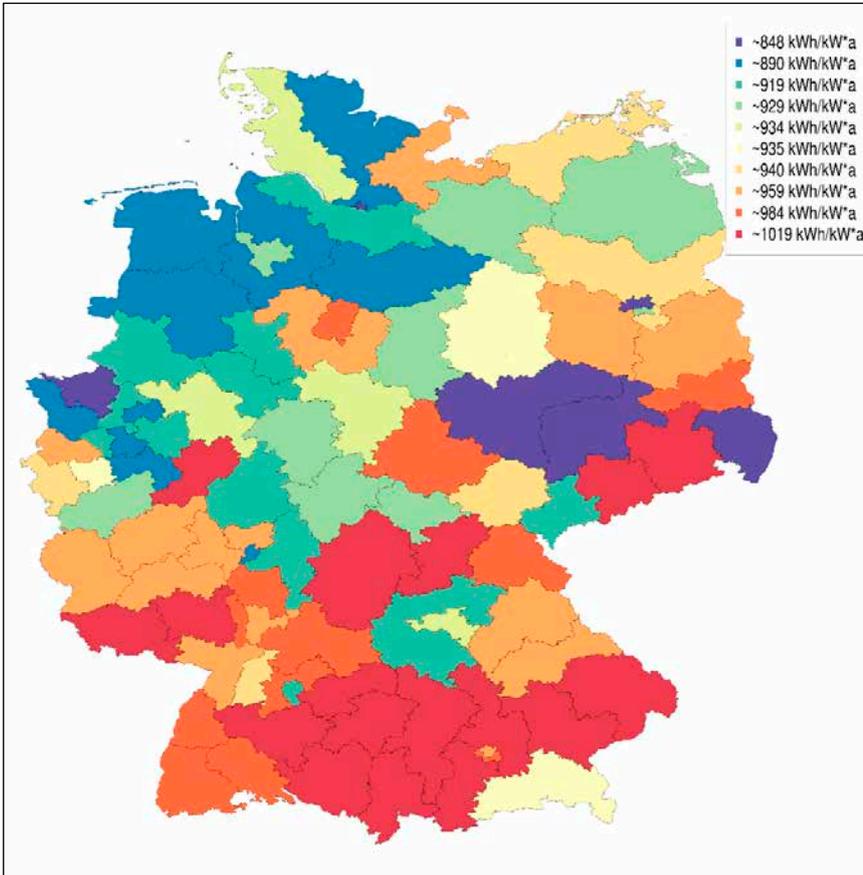


Bild 4: Deutschlandkarte für das Jahr 2022 mit den normierten PV-Anlagenerträgen gemittelt auf einzelne Regionen.

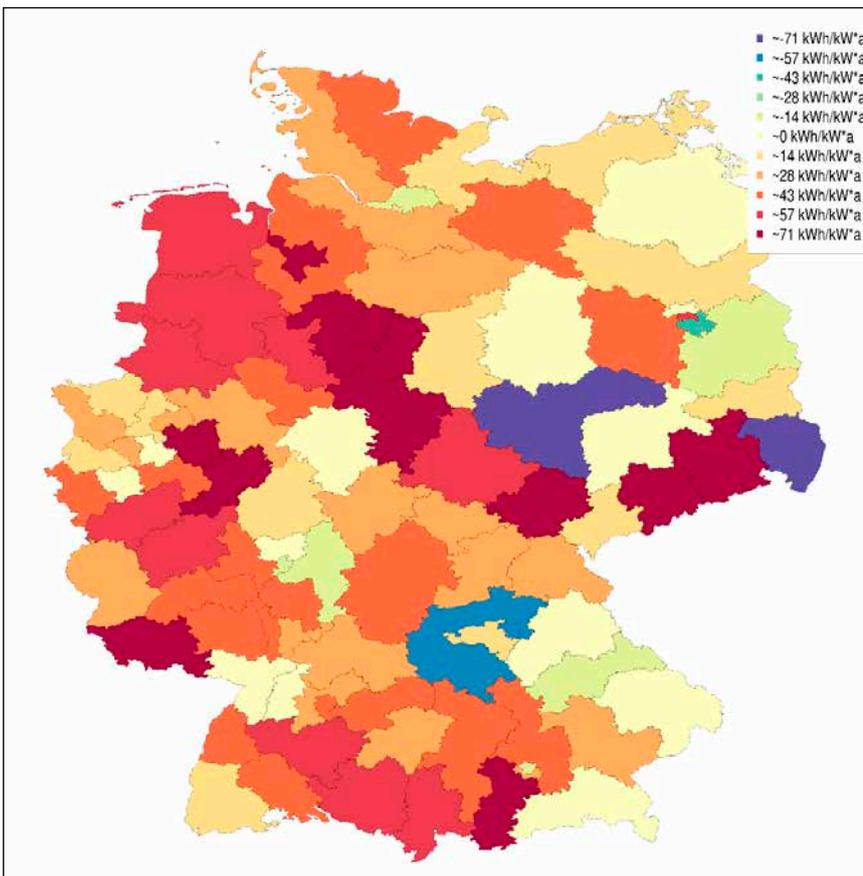


Bild 5: Die Photovoltaik-Anlagenerträge aus Bild 4 werden in dieser Deutschlandkarte als Abweichung vom spezifischen Ertrag im Vergleich zu einem mehrjährigen Mittelwert (2012–2021) dargestellt. Die Abweichungen sollen sich auch in einer Prognose, die auf einem langjährigen Durchschnitt basiert, widerspiegeln.

me der Globalstrahlung im deutschlandweiten Flächenmittel spiegelt sich also auch in dem PV-Anlagenertrag wieder. Zum Zeitpunkt der Auswertungen lagen für Dezember 2022 keine Werte der PV-Anlage vor, weshalb für diesen Monat langjährige Mittelwerte (2001 bis 2021) angenommen wurden.

Bild 7 stellt die Quartalerträge der Jahre 2001 bis 2022 dar. Farblich hervorgehoben sind auffällige Verläufe der spezifischen Erträge und die langjährigen Quartalsmittelwerte. Bei Beachtung der Grafik fällt auf, dass der spezifische Ertrag im ersten Quartal 2022 einen Maximalwert erreicht. Im zweiten Quartal erzielten die beiden Rekordjahre 2003 und 2011 höhere Erträge als in 2022, allerdings lag auch das Quartal in 2022 weit über dem langjährigen Durchschnitt. Die letzte Jahreshälfte erzielte nur ein geringfügig besseres Ergebnis als 50 % der bisherig erzielten Erträge. In Summe sind allerdings alle Quartale für den Rekord-Jahresertrag verantwortlich. In dieser Darstellung wird besonders deutlich, wo die beiden anderen Rekordjahre 2003 und 2011 ihren Mehreintrag hereinholten oder wo sie bei dem unterdurchschnittlichen Jahr 2013 verloren. Die Erträge der 1 MW-Photovoltaikanlage passen gut zur erfolgten Darstellung des Wettergeschehens.

Meteocontrol

Meteocontrol ist ein unabhängiger Full-Service-Anbieter für ganzheitliche Energie- und Asset-Management-Lösungen im Bereich der Erneuerbaren Energien. Zum Leistungsportfolio gehören Lösungen zur professionellen Anlagenüberwachung, Steuerungssysteme, Einspeisemanagement sowie technische Beratung und Solarstromprognosen.

Zusammenfassung und Ausblick

Das Wetterjahr 2022 hatte viel zu bieten. Auf einen milden Winter folgte ein sonniger Frühling. Im sonnenreichen Sommer fielen etliche Hitzerekorde und die wenigen Niederschläge sorgten für Trockenheit in weiten Teilen des Landes. Der September brachte langanhaltenden Regen, allerdings endete das Jahr zu warm und zu trocken. 2022 gehört zu den wärmsten Jahren seit Messbeginn im Jahr 1881. Das vergangene Jahr erzielte auch die höchste mittlere Jahressumme der Globalstrahlung und ist das strahlungsreichste Jahr seit der Datenverfügbarkeit im Jahr 1983. Für fast ganz Deutschland wurden teils beeindruckende und erfreuliche Mehrerträge und Anlagenergebnisse erzielt.

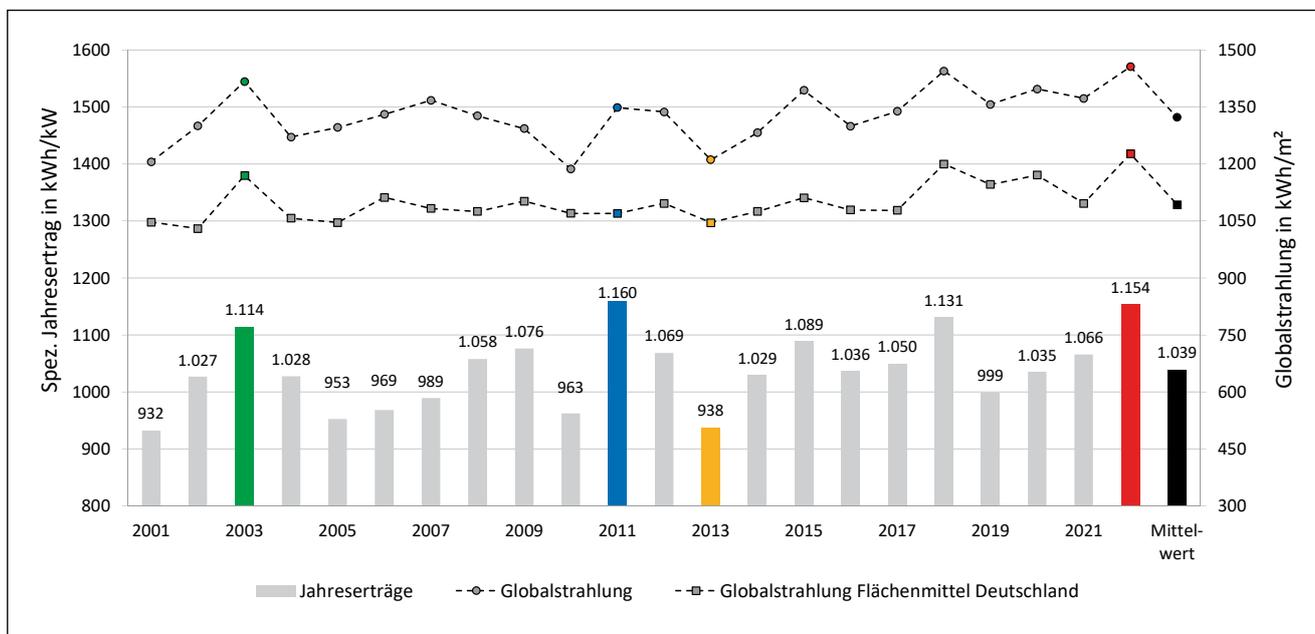


Bild 6: Spezifische Jahreswerte von Anlagenerträgen der 1-MW Photovoltaikanlage Solardach München-Riem von 2001 bis 2022. Die oberen Liniengrafiken zeigen den Verlauf der zugehörigen Globalstrahlungswerte für den Standort und als Vergleich die Globalstrahlung als deutschlandweites Flächenmittel. Der rot eingefärbte Balken repräsentiert den Jahresertrag für 2022 in Gegenüberstellung zum langjährigen Mittelwert (schwarzer Balken).

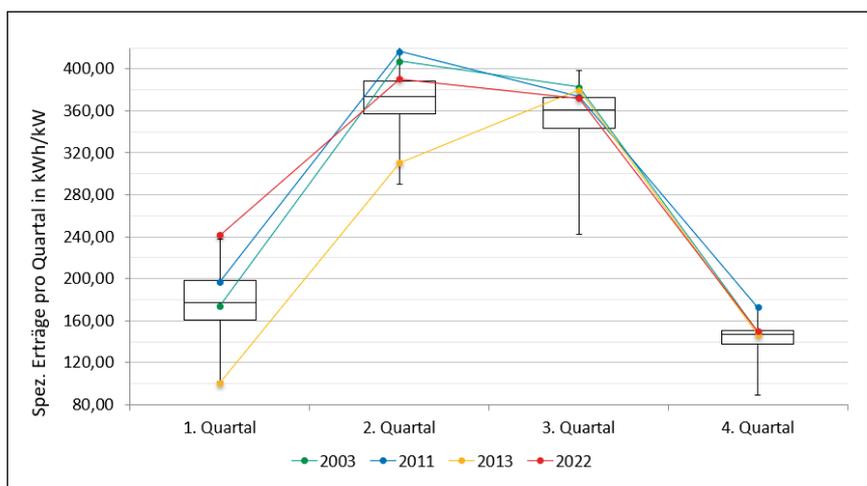


Bild 7: In dieser Grafik wird eine Gegenüberstellung normierter Anlagenerträge der Jahresquartale der 1-MW-Photovoltaikanlage Solardach München-Riem von 2001 bis 2022 dargestellt. Speziell eingefärbte Linien kennzeichnen besondere Jahre: 2003 in grün und 2011 in blau als besonders ertragsreiche Jahre und 2013 in gelb als besonders schlechtes Jahr. Diese Linien wurden über eine statistische Auswertung der Ertragswerte der Anlage von 2001 bis 2021 (einen Boxplot mit den Min, 25 % Quantil, Median, 75 % Quantil und Max-Werten) aufgetragen. So werden die erzielten Jahreserträge durch die Vergleichbarkeit des Anlagenverhaltens innerhalb des Jahres schnell transparent und erklärbar.

ZU DEN AUTOREN:

► **Andreas Boschert** ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentrum für Forschung, Entwicklung und Transfer an der Technischen Hochschule Rosenheim und kooperativer Doktorand an der Technischen Universität München im Munich Institute of Integrated Materials, Energy and Process Engineering (MEP). Sein Forschungsschwerpunkt liegt in der Energiemeteorologie.

► **Mike Zehner** ist Professor für Nachhaltige Energietechnik im Studiengang Energie- und Gebäudetechnologie der Technischen Hochschule Rosenheim. Darüber hinaus leitet er das Labor für Solare Energiesysteme im Rosenheimer Technologiezentrum Energie und Gebäude (roteg) und ist Vorsitzender des Fachausschuss Energiemeteorologie und Simulation der DGS.

► **Dr. Severin Kaspar** Dr. Severin Kaspar ist Teamleiter in der Abteilung Prognosen und Data Analytics bei Meteocontrol. Seine Verantwortung umfasst die Entwicklung von Tools im Bereich Künstlicher Intelligenz und Machine Learning.

Referenzen und Quellen

- 1) Verschiedene Pressemitteilungen des DWD zum „Deutschlandwetter im Jahr 2022“ und monatliche Berichte, www.dwd.de.
- 2) Kurzbericht: Luftdruck-Ereignisse des Vulkanausbruchs Hunga Tonga in den Daten der Technischen Hochschule Rosenheim Wetterstationen, Prof. Dr.-Ing. Frank Buttinger, Dipl.-Ing. (FH) Martin Heigl, Markus Hartmann, M. Sc., Dipl.-Ing. (FH) Peter Viehhauser, Dipl.-Inf. (FH) Ralf Hager, Oberwerkmeister Erwin Resch
- 3) Die Angaben basieren auf PV-Erzeugungsdaten der meteocontrol VCOM Cloud Plattform.
- 4) Pressemitteilung des DWD zum „Das Strahlungsjahr 2022“, www.dwd.de
- 5) Solarenergieförderverein Bayern e.V., Messdatensätze der 1 MW PV-Anlage der Neuen Messe München der Jahre 2001 bis 2022, www.sev-bayern.de