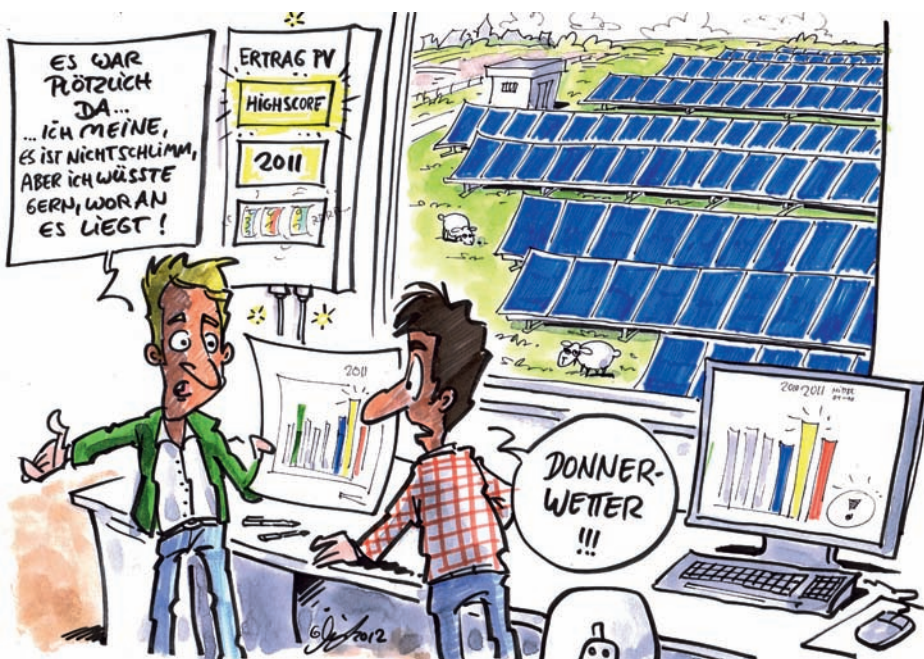


# Solarer Erntedank

Dieser Beitrag erscheint am 9. März in  
SONNE WIND & WÄRME 4/2012



Cartoon: Michael Hüter

In einer „gefühlten“ Wetterbilanz würde das Jahr 2011 wohl als eher regnerisch bezeichnet. Tatsächlich aber machte die Sonne Überstunden. Und das spiegelt sich auch in den PV-Anlagenenerträgen für 2011 wieder. Bei manchen Anlagen wurden selbst Best Case Szenarien übertroffen.

Die pauschale Charakterisierung des Wetters im Jahr 2011 als durchwachsen und wenig sonnenreich hält einer detaillierten und differenzierten Wetterbeobachtung nicht stand. Zur Erinnerung: Der Frühling 2011 war überdurchschnittlich warm bei wenig Regen. Betrachtet man dazu beispielsweise die Klimaauswertungen des Meteorologischen Instituts der LMU München für den Zeitraum 1982 bis 2011, so findet man für diesen Messzeitraum die höchsten mittleren maximalen Temperaturwerte für die Monate März, April und Mai (mit 12,1 °C; 19,2 °C; 21,8 °C). Auch die Temperaturwerte für die Monate August bis Dezember sind zwar nicht die jeweils höchsten, aber in ihrer Abfolge wiederum rekordverdächtig. Dies führt dazu, dass 2011 eines der fünf wärmsten Jahre seit 1881 wurde. Der unbeständige Verlauf des Sommers mit viel Niederschlag und etwas kühleren Temperaturen hinterließ bei enttäuschten Urlaubern den bestimmenden Eindruck. Der Juli war beispielsweise in ganz Deutschland eher zu kühl. In den Aufzeichnungen des Meteorologischen Instituts war dies der viertkälteste Monat mit einem mittleren minimalen Temperaturwert von 13,4 °C. Dem unbeständigen Sommer folgte ein sonnenreicher Herbst und Winterbeginn mit wenig Regen und den erwähnten hohen Durchschnittstemperaturen. In München regnete es im November nur ein einziges Mal.

## Die energiemeteorologische Bilanz

Bei der Analyse der Globalstrahlungswerte für Deutschland für das Jahr 2011 zeigt sich ein zweigeteilter Verlauf. Grafik 1 zeigt die Abweichung der

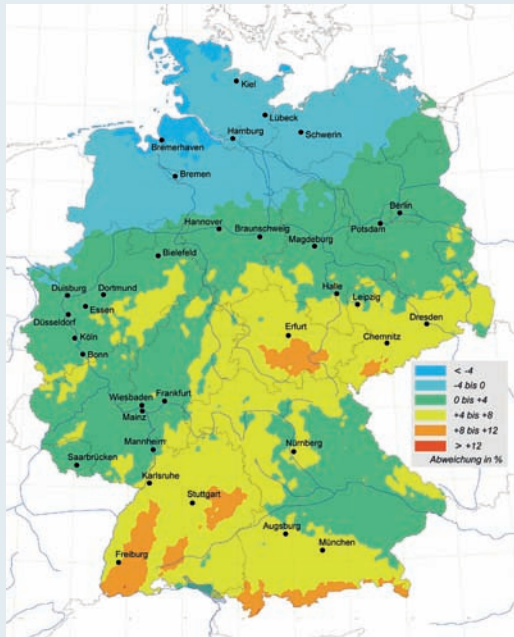
Jahreswerte vom langjährigen Mittel (2005 bis 2010). Aufbereitet wurden dazu Daten des MSG-Satelliten (Meteosat second generation) in der Ennetsol-Datenbank. In weiten Teilen Deutschlands zeigte sich in Bezug auf mehrjährige Mittelwerte ein Plus bei der Einstrahlung. In Norddeutschland nahm sie hingegen an verschiedenen Stellen leicht ab. Freiburg hat beispielsweise ein Plus von 8 % erreicht, wohingegen Kiel knapp 4 % Minus verzeichnete.

Die Grafiken 2a und b zeigen für Oldenburg und Augsburg die monatliche Verteilung der Globalstrahlung im Vergleich zu Mittelwerten (2005 bis 2010). Besonders auffällig dabei ist der November. In Köln und Leipzig lag die Globalstrahlung zum Teil über 50 % höher als im Vorjahr. Die Sonnenscheindauer betrug in Köln fast 100 Stunden, was einer Abweichung vom langjährigen Mittel um 167 % entspricht. In Leipzig gab es bei 110 Stunden eine Abweichung um 224 %. Dagegen verzeichnet Augsburg einen Rückgang bei der Sonnenscheindauer. In den Grafiken erkennt man auch, dass die Werte für 2011 in 5 Monaten unter, aber in 7 Monaten über dem Durchschnitt lagen. Die schlechten prozentualen Werte im Januar und Dezember sind allerdings auch den kleinen Zahlen geschuldet, wo eine kleine Differenz ein großes Delta erzeugt. Auffällig ist auch, dass die Sommermonate schlechter waren als im Vorjahr, Frühling und Herbst verliefen aber sonniger als erwartet. Auch allgemein war die Sonnenscheindauer sehr viel höher als normal. Seit Beginn der Wetteraufzeichnung waren nur die Jahre 2003 und 1959 besser. Generell lässt sich sagen, dass die positiven Abweichungen eher aus den Zeitbereichen Frühjahr und Herbst resultieren.

Helga Nitsche vom Deutschen Wetterdienst weist auf die Häufigkeitsverteilung der Wetterlagen des Jahres 2011. Im Vergleich zum Mittel über 1981 bis 2000 zeigte sich generell eine größere Häufung von antizyklonalen Lagen, d.h. „Hochdruckwetter“ in 2011. Grafik 1 mit der deutschlandweiten Verteilung der Globalstrahlung entspricht deutlich ähnlichen Karten des DWD, die auf Basis des DWD-Strahlungsmessnetzes erstellt wurden. Mit Blick auf die Bewölkung ist der Gesamtbedeckungsgrad wichtig. So ergibt sich 2011 für Deutschland auch im Jahresmittel noch eine leichte negative Anomalie im Vergleich zum Mittel über 1971 bis 2000, wobei die Monate März, April, Mai und September, Oktober und November (also wieder das Frühjahr und der Herbst) wolkenärmer waren.

## Solarstromerträge 2011 deutschlandweit unter der Lupe

In den Grafiken 3 und 4 werden der spezifische Ertrag für das Jahr 2011 sowie die prozentuale Abweichung zu den vorhergehenden Jahren auf Basis der Daten



**Grafik 1:** Die Globalstrahlungskarte für das Jahr 2011 zeigt die Abweichungen der Jahreswerte vom langjährigen Mittel (2005 bis 2010). Für diese Auswertung wurden Daten des MSG-Satelliten (Meteosat second generation) in der EnmetSol-Datenbank ausgewertet.

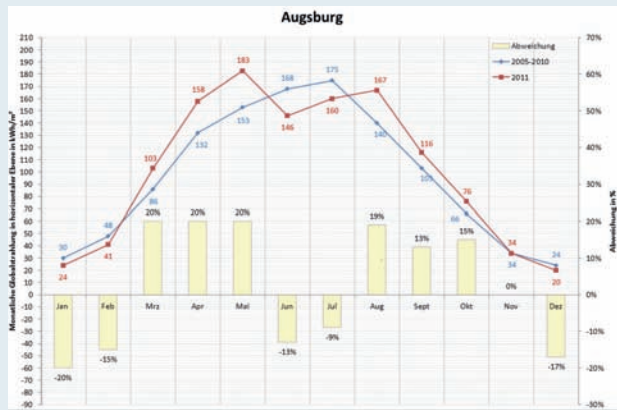
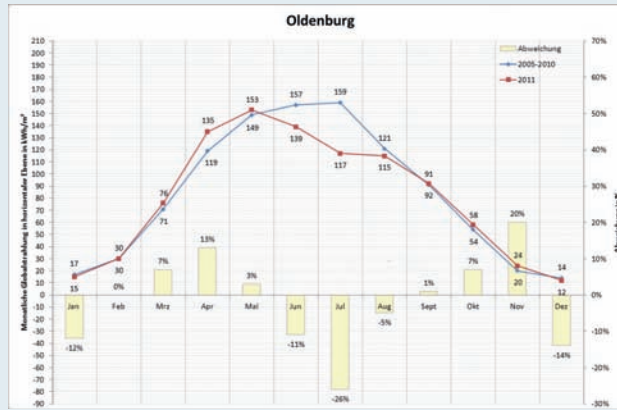
Quelle: Uni Oldenburg, Meteocontrol, 2012

des Fernüberwachungsportals von Meteocontrol dargestellt. Die Karten sind in Postleitzahlenbereiche aufgeteilt, um eine möglichst detaillierte Darstellung zu erhalten. Bei der farblichen Hinterlegung (Unterteilung) der Karten wurde darauf geachtet, einen möglichst hohen Informationsgehalt bei gleichzeitig maximaler Übersichtlichkeit zu übermitteln.

In Grafik 3 erkennt man das zu erwartende Nord-Süd-Gefälle. Die Erträge sind in Bayern, Baden-Württemberg sowie in Teilen Sachsens durchwegs mit Werten ab 1027 kWh/kW sehr gut. In Bayern heben sich besonders die Bezirke im Alpenvorland ab. In Baden-Württemberg zeigt vor allem der Raum um Freiburg hervorragende Ergebnisse. Auch in Mitteldeutschland und Ostdeutschland lassen sich sehr gute Werte erzielen.

Je weiter man nach Norden blickt, desto geringer fallen die Erträge aus. Ihr absolutes Minimum erhält man an den Küstenregionen in Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, und Schleswig-Holstein, wo man nur 854-951 kWh/kW erhält. Dies lässt sich durch die dortigen schon angedeuteten klimatischen Bedingungen erklären.

Grafik 4 zeigt die prozentuale Abweichung im spezifischen Ertrag des Jahres 2011 in Bezug zu den vorhergehenden Jahren. Hier fallen die Küstenregionen Deutschlands, wie schon vorher bei der Einstrahlung, mit negativen Werten auf. Schwache bis mittlere Abweichungen beschränken sich Großteils auf die nördlichen Bundesländer. Mittlere bis starke positive Abweichungen ab 7,8 % konzentrieren sich weitgehend auf Mittel- und Süddeutschland, wobei wiederum Teile Sachsens und große Teile Baden-Württembergs besonders positiv auffallen. In Bayern liegen die prozentualen Veränderungen durchweg im



**Grafik 2a und b** zeigen Monatswerte der Globalstrahlung von 2011 versus jeweilige Mittelwerte (2005 bis 2010) und die entsprechende prozentuale Abweichung für zwei exemplarische Standorte.

Quelle: Uni Oldenburg, Meteocontrol, 2012

oberen Bereich bei durchschnittlich 9,2 bis 11,6 %. Beim Vergleich der Mittelwerte aller normierten PV-Anlagenenerträge für Deutschland in Grafik 5 sieht man den typischen Jahresverlauf der Erträge bei PV-Anlagen. Ein leichter Trend hin zu höheren (besseren bzw. steigenden) Erträgen in den Monaten März, April, September, Oktober und November lässt sich auch hier erkennen. Auffallend sind die starken Schwankungen in den Sommermonaten des Jahres 2010. Dort bilden die Monate Mai und August regelrechte Ausreißer nach unten. Diese lassen sich bei der Gesamtbilanz für das Jahr 2010 erkennen. Insgesamt lässt sich sagen, dass 2011 im Vergleich zu den Vorjahren ein sehr gutes Jahr für PV-Anlagen darstellte.

## Messdatenerfassung bei Meteocontrol

Die Grundlage der Messdatenauswertung sind Fernüberwachungsdaten der Meteocontrol von rund 24.000 Photovoltaikanlagen mit einer installierten Nennleistung von mehr als 4,4 GW. In die technische Bewertung der Energieerträge von PV-Anlagen in Deutschland fließen die Anlagenkonfiguration (Leistung, Standort, Ausrichtung, Neigung, Montageart, Module, Wechselrichter etc.), die eingespeiste Energie sowie die Sonneneinstrahlung in die geneigte Modulebene auf viertelstündiger Basis ein. Da sowohl die Einrichtung und Pflege der Anlagenstammdaten als auch die zeitnahe Identifikation und Beseitigung

von Betriebsstörungen im Verantwortungsbereich der Anlagenbetreiber liegen, müssen den Ertrag mindernde Einflüsse auf den Betrieb im Rahmen der Datenanalyse anhand mehrstufiger, automatisierter Algorithmen identifiziert werden.

Die Standort- und Konfigurationsinformationen der Anlagen werden auf Fehleinträge geprüft und für die Auswertung korrigiert. Die Intervalldaten werden auf Monatswerte aggregiert und für jeden Monatswert wird aus Ertrag und Einstrahlung die Performance Ratio (PR) berechnet. In Abhängigkeit des Monats müssen die monatl. PR und der spezifische Ertrag individuellen Kriterien entsprechen, damit der Monatswert als valide gekennzeichnet werden kann. Die Prüfung der einzelnen Monate pro Anlage stellt sicher, dass zum Beispiel Betriebsstörungen, eine fehlerhafte Montage oder Konfiguration im Fernüberwachungsportal bzw. Messfehler keinen Einfluss auf die Anlagenauswertung haben. Aus den validen Monatsdaten werden anlagenübergreifende Metadaten ermittelt, um Ersatzwerte bilden zu können. Sollten einzelne Monate einer Anlage die Validierungskriterien nicht entsprechen, können aus validen Monatswerten der Anlage sowie den Metadaten die Fehlmonate korrigiert werden. Monatsdaten, die den Validierungskriterien nicht entsprechen, werden in der Auswertung nicht berücksichtigt.

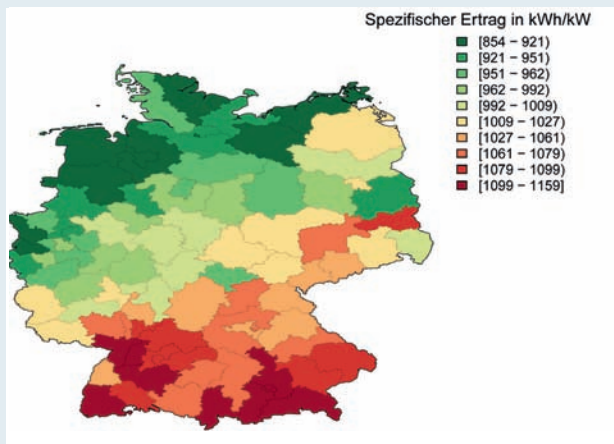
## Anlagenverhalten 2011: Ein Beispiel

Den Anlagenbetreibern fielen die zumeist auffallend hohen Ertragswerte des Jahres 2011 entweder schon im Jahresverlauf durch das Anlagenmonitoring oder spätestens beim Ablesen der Zählerwerte auf. Dabei wurden Werte erzielt, die teilweise über den Best Case Szenarien in den Ertragsberechnungen lagen. Werte bis über 1200 kWh/kW wurden im Umland von München immer wieder aufgezeichnet. Selbst PV-Anlagen mit reiner Westausrichtung lieferten in dieser Region über 900 kWh/kW. Gegenüber dem Jahr 2010 wurden Ertragssteigerungen von bis zu 20 % beobachtet.

Exemplarisch wird das Anlagenverhalten 2011 an der 1-MW-PV-Anlage auf der Neuen Messe München analysiert. Die PV-Anlage zeigt seit Baubeginn 1997 stabile Performance-Ratio-Werte um 80 % und spezifische Jahreserträge von beispielsweise 1160 kWh/kW in 2011, welcher bisher der beste Wert seit 1997 ist. Grafik 6a zeigt als Liniengrafik die Einstrahlung pro Monat der Jahre 2010 (in blau) und 2011 (in rot). Die Balken zeigen den prozentualen Unterschied von 2010 auf 2011. Deutlich zu erkennen ist, dass in den meisten Monaten die Einstrahlung höher war als im Jahr zuvor. Besonders extrem zeigt sich dies am Monat Mai mit über 80 % und August mit 36 % Mehrertrag. Dagegen war wetterbedingt die Einstrahlung im Juni und Juli gleich, bzw. schlechter. Grafik 6b zeigt die Netzeinspeisung pro Monat. Hier zeigt nur der Monat Juli einen schlechteren Ertrag als im Vorjahr, alle anderen Monate lagen zum Teil weit darüber, wobei alleine 5 Monate über 40 % liegen. Der Monat Mai liegt wie bei der Globalstrahlung über 80 %, 2010 mit 85 MWh und 2011 mit 156 MWh. Die Kurven mit gelbem Hintergrund sind Trendlinien und machen beide Grafiken schön und schnell vergleichbar. Der Unterschied in den nach rechts auslaufenden Trendlinien ist durch Schneebedeckung der PV-Anlage im Winter 2010 zu erklären. Weiterhin fällt auf, dass in der Jahresmitte die Ertragssteigerungen stark den Einstrahlungssteigerungen gleichen.

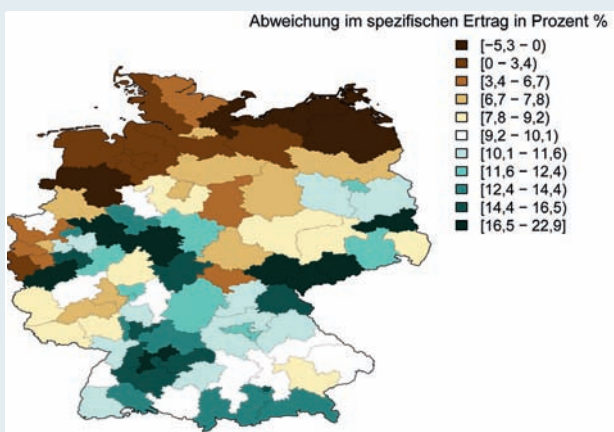
Grafik 7 zeigt alle bisherigen Jahreserträge der Neuen Messe München in normierten Zahlenwerten. Auffällig sind der relativ schlechte Ertrag 2010 und der Spitzenwert 2011. Aber auch das Jahr 2003 mit dem „Rekordsommer“ liegt noch unter dem Ertrag von 2011, obwohl 2003 die Globalstrahlung höher war als 2011. Dies ist auf das Retrofit im Jahr 2007 zurückzuführen, dabei wurden elektrische Komponenten beim Wechselrichter erneuert und optimiert, welche höhere Erträge bei gleicher Einstrahlung ermöglicht haben.

Interessant ist auch der Quartalsvergleich in Grafik 8: Stellt man die Jahre 2003 und 2011 gegenüber, so stellt man fest, dass im 2. und 3. Quartal die Erträge in Summe fast identisch sind. Dafür schneidet das Jahr 2011 im 1. und 4. Quartal besser ab, was auf einen milden und sonnenreichen Winter und Herbst hindeutet. Festzustellen ist auch, dass 2010 in allen Quartalen schlecht abgeschnitten hat und unter dem Durchschnitt lag.



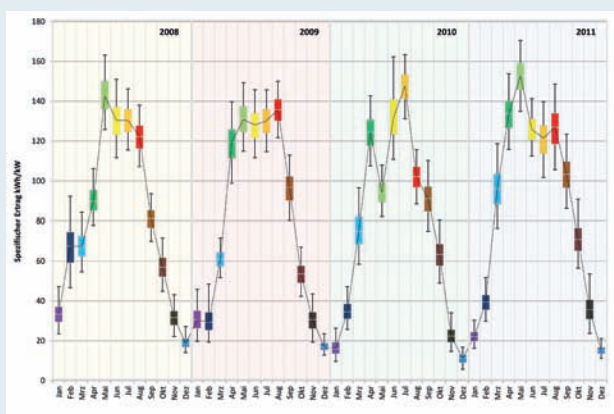
Grafik 3: Deutschlandkarte für das Jahr 2011 mit den normierten PV-Anlagenenerträgen gemittelt auf die einzelnen Postleitzahlenbezirke.

Quelle: Meteocontrol, 2012



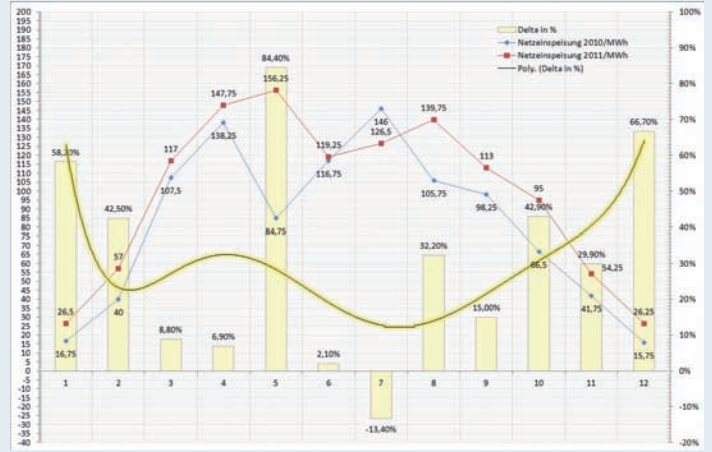
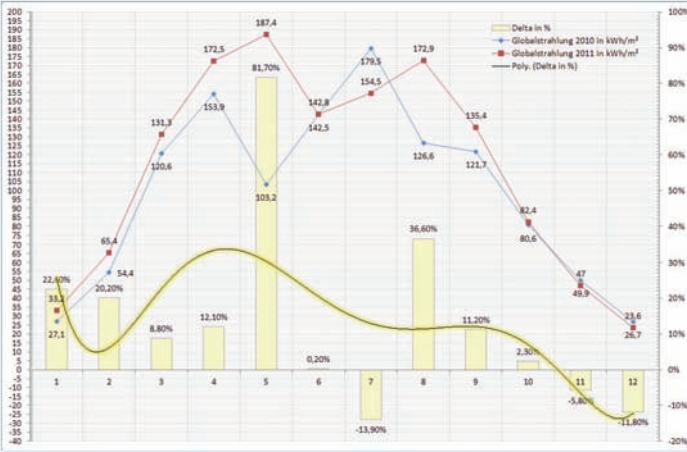
Grafik 4: Die Werte aus Bild 3 diesmal dargestellt als Abweichung im spezifischen Ertrag von einem mehrjährigen Mittelwert (2008 bis 2010) in Prozent.

Quelle: Meteocontrol, 2012



Grafik 5: Mittelwert der normierten PV-Anlagenenerträge aller PV-Anlagen von Januar 2008 bis Dezember 2011. Sehr gut sichtbar werden die Ursachen der hohen Jahresenergieerträge in 2011.

Quelle: Meteocontrol, 2012



Grafik 6a + b: Das obere Bild zeigt die Monatsbeiträge der Globalstrahlung für 2010 und 2011 im Vergleich. Die Balkengrafik im Hintergrund benennt die prozentualen Veränderungen zum Vorjahr. Die gelbe Kurve ist eine Trendlinie und ermöglicht einen schnellen Vergleich mit den Ergebnissen im Bild unten. Diese Grafik ist ähnlich aufgebaut, zeigt aber die korrelierenden monatlichen Erträge im Vergleich.

Quelle: Solarenergieförderverein Bayern e.V.

## Zusammenfassung

Die Witterung im Frühjahr und im Herbst 2011 war gekennzeichnet durch milde und niederschlagsarme Schönwetterperioden. Dies ist gut darstellbar in der Betrachtung einer in der PV eher ungewöhnlichen, aber diesen Sachverhalt schön illustrierenden Größe, der Sonnenscheindauer. Diese war generell in 2011, und detaillierter betrachtet besonders in den Frühjahrs- und Herbstmonaten, sehr viel höher als normal. Einstrahlungskarten mit Abweichungen der Globalstrahlung in 2011 zum langjährigen Mittel entsprechen in etwa auch den PV-Anlagenenerträgen. Detaillierte monatliche Betrachtungen des Anlagenverhaltens spiegeln wiederum die Monatsverläufe der Globalstrahlung.

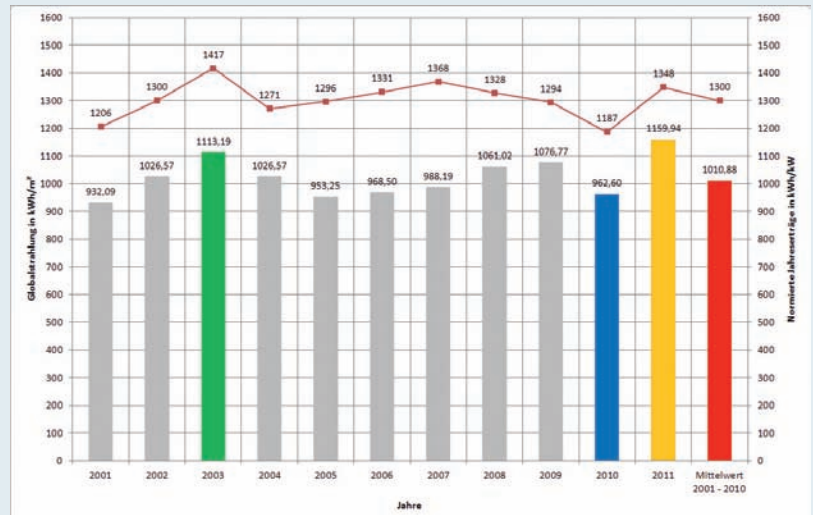
Mike Zehner, Andreas Doll, Annette Hammer, Henrik te Heesen, Volker Herbort, Marco Mariani

### Die Autoren:

**Mike Zehner** leitet die Arbeitsgruppe PV-Systeme des Labors für Solartechnik im Studiengang Regenerative Energien Energietechnik der Hochschule München. **Andreas Doll** ist Mitarbeiter der Arbeitsgruppe an der Hochschule München. **Dr. Annette Hammer** arbeitet in der Arbeitsgruppe Energiemeteorologie der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg mit dem Schwerpunkt Solarstrahlungsinformationen aus Satellitendaten. **Dr. Henrik te Heesen** ist Leiter der technischen Betriebsführungsabteilung der Meteocontrol GmbH und leitet das Forschungsprojekt zur Analyse von Fernüberwachungsmessdaten. **Volker Herbort** betreut das Data-Mining-Vorhaben der Meteocontrol GmbH zur Auswertung von PV-Betriebsdaten und promoviert in Kooperation mit der Hochschule Ulm zum Thema Leistungsbeurteilung von PV-Komponenten. **Marco Mariani** arbeitet in der Abteilung ‚PV Ertragsgutachten und Prognosen‘ der Meteocontrol GmbH und ist dort für Globalstrahlungsprodukte zuständig.

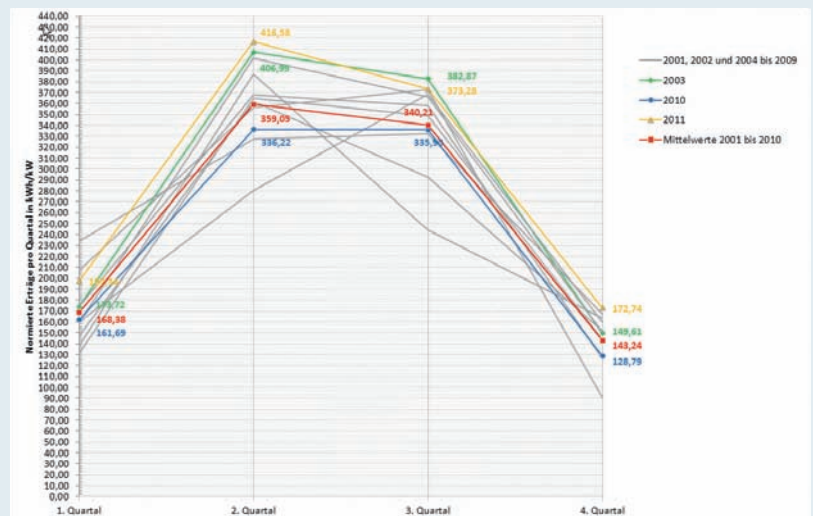
### Referenzen und Quellen:

- [1] Hammer A., Documentation – EnMetSOL, Satellite Data – Available Regions at Oldenburg University, Carl von Ossietzky University of Oldenburg, 2011;
- [2] Meteocontrol GmbH, Fernüberwachungsdatenbank der Meteocontrol mit 24.000 Anlagen und 4,4 GW an installierter Leistung über die Jahre 2002 bis 2011, www.meteocontrol.de;
- [3] Solarenergieförderverein Bayern e.V., Messdatensätze der 1 MW PV-Anlage Neuen Messe München der Jahre 2001 bis 2011, www.sev-bayern.de
- [4] Globalstrahlungskarten des Deutschen Wetterdienstes (www.dwd.de/globalstrahlung)



Grafik 7: Normierte Jahreswerte von Anlagenenerträgen der 1-MW-Photovoltaikanlage Solardach München-Riem von 2001 bis 2011 im Vergleich als Balkengrafik. Die rote Liniengrafik zeigt den Verlauf der zugehörigen Globalstrahlungswerte. Speziell eingefärbte Balken kennzeichnen besondere Jahre sowie die Jahresmittelwerte.

Quelle: Solarenergieförderverein Bayern e.V.



Grafik 8: Gegenüberstellung normierter Anlagenenerträge der 1-MW-Anlage Solardach München-Riem von 2001 bis 2011 über die Energieerträge in den Jahresquartalen. Eingefärbte Linien kennzeichnen besondere Jahresverläufe sowie die Quartalsmittelwerte.

Quelle: Solarenergieförderverein Bayern e.V.