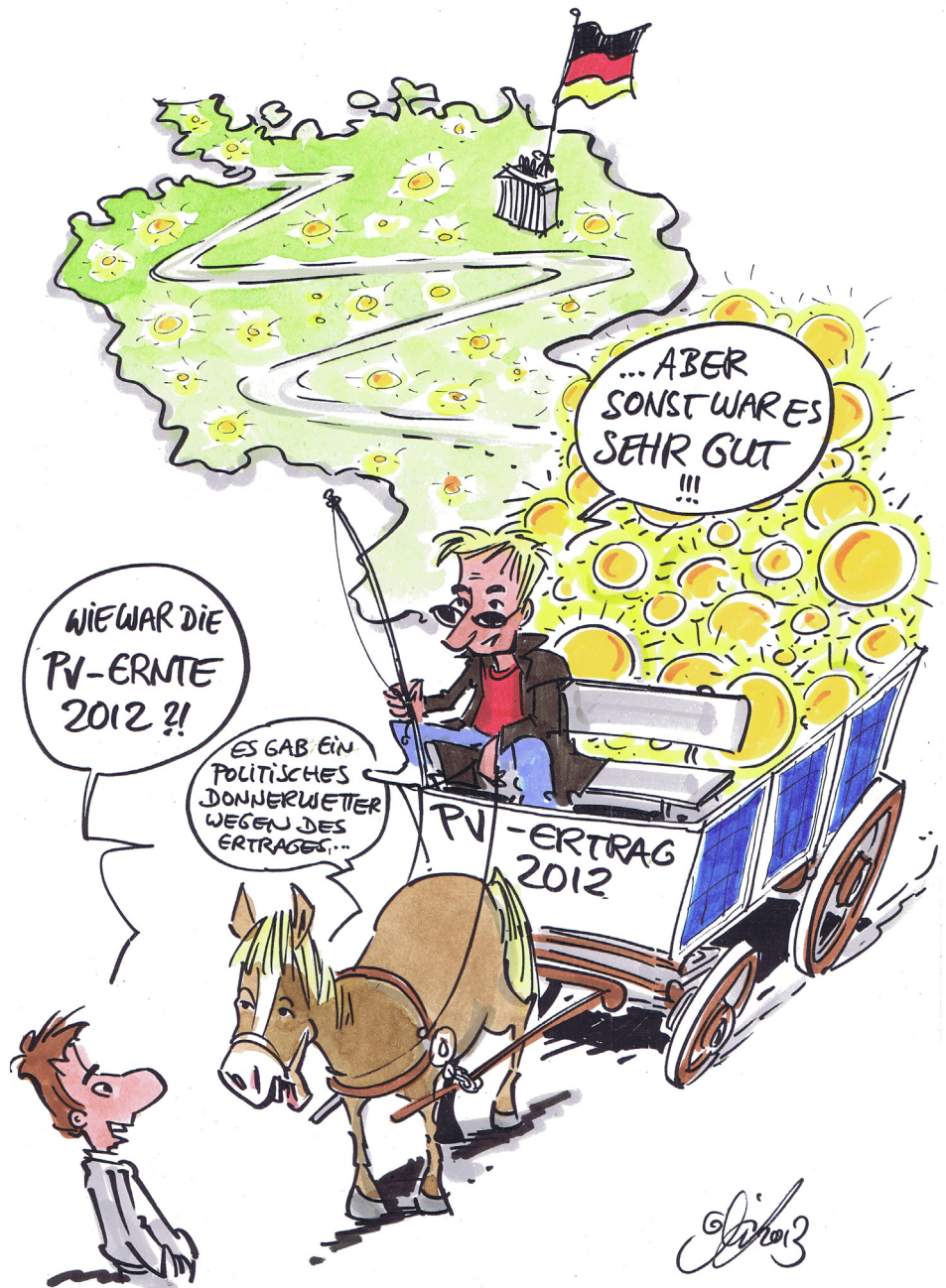


Vergleichsweise heiter

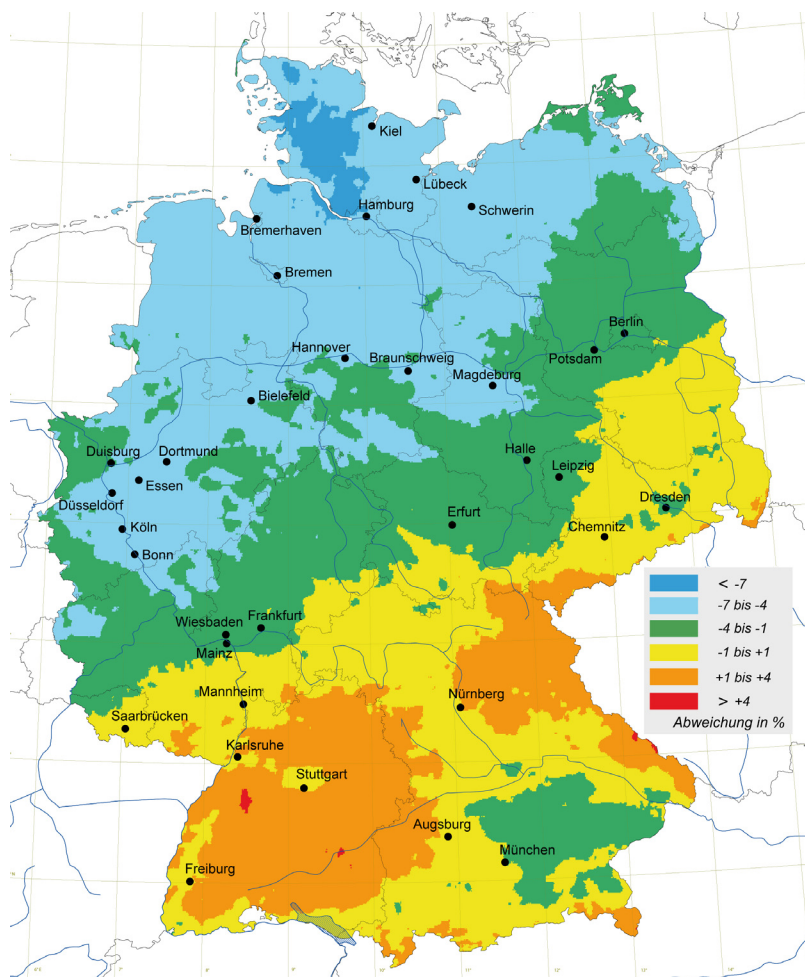
2012 war meteorologisch ein recht typisches Wetterjahr. Bei einzelnen Monaten zeigten sich zwar Abweichungen, insgesamt aber lagen die Wetterdaten für 2012 nah am Durchschnitt der letzten Jahrzehnte. PV-Anlagen erzielten zumeist Erträge oberhalb des langjährigen Mittels.



In Erinnerung geblieben sind vom Wetterjahr 2012 Meldungen über Temperaturen, die wieder einmal etwas höher lagen als im Schnitt der Jahre 1961 bis 1990. Dennoch entsprachen das Jahresprofil und die Jahressummenwerte beinahe den langjährigen Durchschnittswerten. Der Jahreszeitenwechsel verlief geradezu lehrbuchhaft. Der Monat Februar war der kälteste Monat im Jahr, der August der wärmste. Niederschlagswerte und Sonnenstunden kamen den Sollwerten recht nahe.

Nach der ersten pauschalen Bilanz lohnt sich ein differenzierter Blick auf das Wettergeschehen, da einzelne Monate doch Abweichungen zeigten und auch stellenweise wieder neue Wetterrekorde erzielt wurden. Vor allem lässt sich bei detaillierter Betrachtung der einzelnen Monate das PV-Anlagenverhalten im Jahresverlauf besser verstehen. Nach Aufzeichnungen des DWD begann 2012 relativ mild. Dies änderte sich zur ersten Februarhälfte aufgrund eines starken russischen Hochs, das eisige Temperaturen nach Mitteleuropa brachte. Ab Mitte Februar herrschte wieder wärmeres und recht trockenes Wetter, gefolgt von einem äußerst sonnenscheinreichen März. Der April begann relativ kühl, endete aber mit einem ungewöhnlichen Warmluftvorstoß, der zu neuen Spitzenwerten für diese Jahreszeit führte. Diese raschen Temperaturwechsel waren auch im Mai zu beobachten. Betrachtet man dazu Klimaauswertungen des Meteorologischen Instituts der LMU München für den Zeitraum 1982 bis 2012, so findet

tung der einzelnen Monate das PV-Anlagenverhalten im Jahresverlauf besser verstehen. Nach Aufzeichnungen des DWD begann 2012 relativ mild. Dies änderte sich zur ersten Februarhälfte aufgrund eines starken russischen Hochs, das eisige Temperaturen nach Mitteleuropa brachte. Ab Mitte Februar herrschte wieder wärmeres und recht trockenes Wetter, gefolgt von einem äußerst sonnenscheinreichen März. Der April begann relativ kühl, endete aber mit einem ungewöhnlichen Warmluftvorstoß, der zu neuen Spitzenwerten für diese Jahreszeit führte. Diese raschen Temperaturwechsel waren auch im Mai zu beobachten. Betrachtet man dazu Klimaauswertungen des Meteorologischen Instituts der LMU München für den Zeitraum 1982 bis 2012, so findet



Grafik 1: Die Globalstrahlungskarte von Deutschland für das Jahr 2012 zeigt die Abweichungen der Jahreswerte vom langjährigen Mittel (2005 bis 2011). Für diese Auswertung von der Uni Oldenburg und Meteocontrol wurden Daten des MSG-Satelliten (Meteosat Second Generation) in der Ennetsol-Datenbank ausgewertet.

Quelle: Uni Oldenburg, Meteocontrol, 2013

Datenerfassung bei Meteocontrol

Grundlage der Messdatenauswertung sind Fernüberwachungsdaten der Meteocontrol GmbH. Meteocontrol betreut mehr als 31.000 PV-Anlagen mit einer installierten Leistung von mehr als 6,6 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 Betreiber liegen, werden ertragsmindernde Einflüsse auf den Betrieb der PV-Anlage im Rahmen der Datenanalyse anhand mehrstufiger, automatisierter Algorithmen identifiziert.

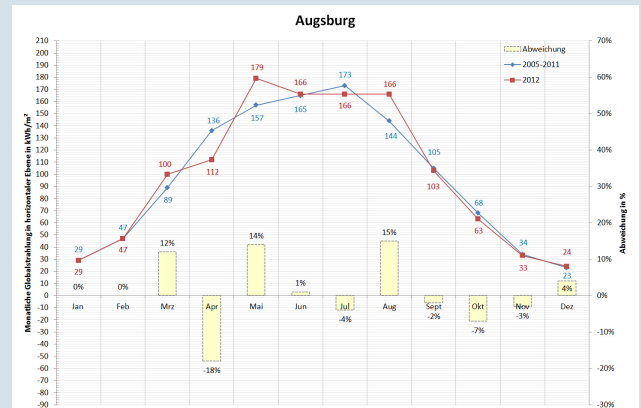
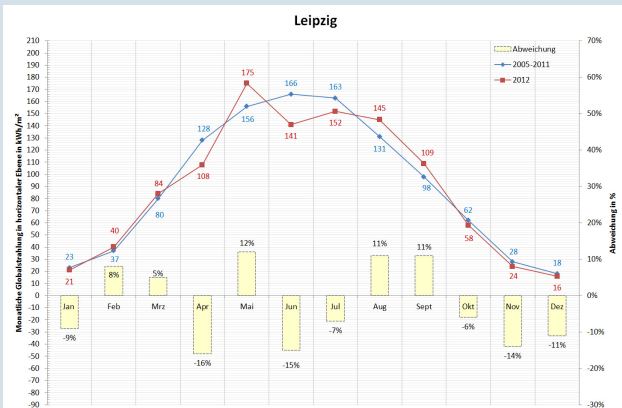
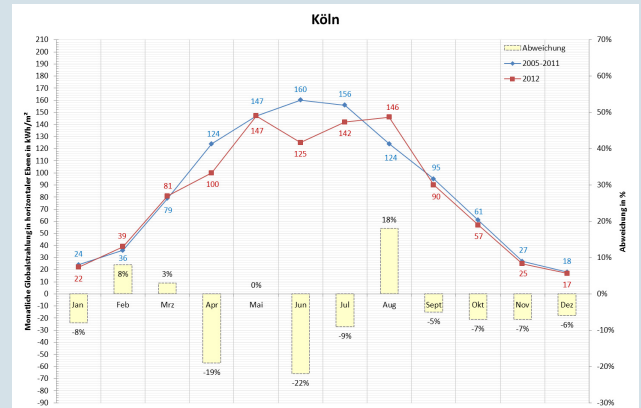
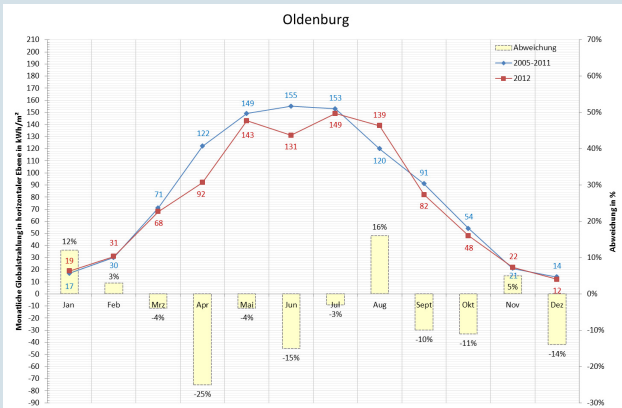
Die Standort- und Konfigurationsinformationen der Anlagen werden auf Fehleinträge geprüft und für die Auswertung korrigiert. Die Intervalldaten werden auf Monatswerte aggregiert und für jeden Monatswert wird aus Ertrag und Einstrahlung die Performance Ratio (PR) berechnet. PV-Anlagen mit fehlenden Ertrags- oder Einstrahlungsmessdaten finden in der Untersuchung keine Berücksichtigung. Die Anlagen werden regional zusammengefasst – alle Anlagen in einem zweistelligen Postleitzahlenbereich und den jeweils benachbarten PLZ-Regionen sind Gegenstand einer Analyse. In einem zweistufigen Verfahren werden Median und Interquartilsabstand pro Region und Monat für Ertrag und Einstrahlung berechnet. Sämtliche Anlagen, deren Erträge und Einstrahlungsdaten als Ausreißerwerte klassifiziert werden, fließen in die Auswertung nicht ein. Dieses Vorgehen sichert eine rein statistische Betrachtung der Messdaten, sodass nur statistisch signifikante PV-Anlagen ausgewertet werden.

man für diesen Messzeitraum hohe maximale Temperaturwerte für die Monatsabfolge März, April und Mai. Die Monatsmittelwerte der Temperatur sind in diesen Aufzeichnungen hingegen nur für den März und den Mai überdurchschnittlich hoch. Der Sommer zeigte sich anfangs verbreitet nass, später dann gewittrig und heiß, bei Temperaturen bis zu 40 °C. Das sommerliche Wetter erstreckte sich bis in den Herbst mit einzelnen Wärmerekorden im Oktober, aber nicht vergleichbar mit 2011. Danach folgte ein relativ früher Wintereinbruch, bis etwa Mitte Dezember. Gegen Ende Dezember setzte sich überall Tauwetter durch. [1]

Energiemeteorologische Auswertungen für Deutschland

Bei der Analyse der Globalstrahlungswerte für Deutschland für das Jahr 2012 zeigt sich wiederum ein zweigeteilter Verlauf. Grafik 1 stellt die Abweichung der Jahreswerte vom langjährigen Mittel (2005 bis 2011) dar. Aufbereitet wurden dazu Daten des MSG-Satelliten (Meteosat Second Generation) in der Ennetsol-Datenbank. Ab einer durch die Mitte Deutschlands leicht schräg von West nach Ost verlaufenden Linie (ungefähr von Saarbrücken nach Frankfurt/Oder) ist bis in den Süden in Bezug auf mehrjährige Mittelwerte entweder kaum Veränderung oder eine leichte Zunahme bei der Einstrahlung zu verzeichnen. Dies gilt nicht für eine Region östlich von München und verschiedene kleinflächige Bereiche unter anderem in der Region rund um Dresden. In diesen Bereichen nahm die Einstrahlung in 2012 leicht ab. Interessant: In den sonnenreichsten Regionen Deutschlands, dem Rheintal bei Freiburg und der Region zwischen Memmingen, Kempten und Weilheim, erfolgten die üblichen hohen Einstrahlungseinträge ohne Veränderung. Zuwachs verzeichneten weite Teile Baden-Württembergs und Regionen östlich von Nürnberg. Spitzenwerte im Zuwachs wurden für den nördlichsten Teil des Schwarzwalds berechnet. In Norddeutschland nahm die Einstrahlung örtlich aber auch 2012 gegenüber dem langjährigen Mittel leicht ab.

Die Grafiken 2a bis 2d zeigen exemplarisch vier Städte und deren monatliche Verteilung der Globalstrahlung im Vergleich zu den jeweiligen Mittelwerten (2005 bis 2011). Sichtbar wird in allen vier Grafiken, wie erstaunlich nahe die in 2012 erzielten Monatswerte der Einstrahlungseinträge bei den langjährigen Mittelwerten liegen. Die Jahresverläufe für 2012 sind, wie eingangs erwähnt, in weiten Teilen fast identisch mit den mittleren Jahresverläufen der einzelnen Städte. Auffallend ist der Minderertrag im April. Sichtbar wird aber auch der zunächst verhalten beginnende Sommer, der im August wieder aufholte. Der Herbst 2012 erreichte bei weitem nicht die hervorragenden Werte des Vorgängerjahres. Auch der frühe Wintereinbruch spiegelt sich in den Messdaten. Zu beachten ist bei der Betrachtung der prozentualen Abweichungen (Balken in Gelb), dass schlechte prozentuale Werte im Januar, Februar, November und Dezember auch den kleinen Zahlen geschuldet ist, bei denen eine kleine Differenz ein großes Delta erzeugt.



Grafiken 2a bis 2d: Monatswerte der Globalstrahlung von 2012 versus jeweilige Mittelwerte (2005 bis 2011) und die entsprechende prozentuale Abweichung für die vier exemplarischen Standorte Oldenburg, Leipzig, Köln und Augsburg.

Quelle: Uni Oldenburg, Meteocontrol, 2013

PV-Deutschland unter der Lupe

Die Grafiken 3 und 4 beschreiben den spezifischen durchschnittlichen PV-Ertrag für das Jahr 2012 sowie deren Abweichung zu den vorhergehenden Jahren auf Basis der Daten des Fernüberwachungsportals von Meteocontrol. Die Karten sind in Postleitzahlenbereiche aufgeteilt, um eine möglichst detaillierte Darstellung zu erhalten. Bei der farblichen Hinterlegung (Unterteilung) der Karten wurde darauf geachtet, möglichst viel Information möglichst übersichtlich darzustellen. In der abschließenden Grafik 5 werden die Erträge der Jahre 2008 bis 2012 in einem Boxplot gegenübergestellt. Dadurch erhält man einen schnellen und präzisen Überblick über mehrere Jahre.

Grafik 3 zeigt zum einen das zu erwartende Nord-Süd-Gefälle. Gleichzeitig erkennt man ein sehr schönes Abbild der Abweichungen der Einstrahlungsverteilung aus Grafik 1. Erfreuliche Erträge sind in Bayern, Baden-Württemberg sowie in Teilen von Rheinland-Pfalz und des Saarlands zu verzeichnen. In Baden-Württemberg zeigt vor allem der Raum um Heidelberg hervorragende Ergebnisse. Auch in Ostdeutschland sind sehr gute Werte erzielt worden. Das typische Einstrahlungsgefälle nach Nordwesten hin spiegelt sich in den Ertragswerten wieder. Je weiter man nach Norden wandert, desto geringer fallen die Erträge aus. Ihr absolutes Minimum erhält man in der niedersächsischen Nordseeregion, in Teilen Schleswig-Holsteins und Mecklenburg-Vorpommerns

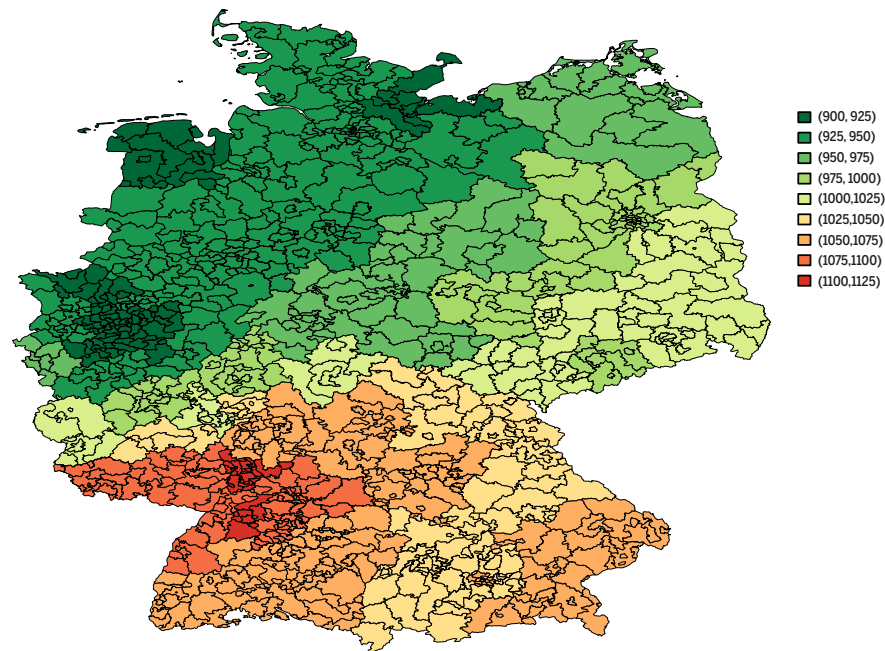
sowie im Ruhrgebiet, wo die PV-Ertragswerte nur noch bei 900 bis 925 kWh/kW liegen. In den 30-jährigen Einstrahlungskarten findet man von der Einstrahlung weniger begünstigte Regionen um Detmold, nördlich von Nordhausen und um Hamburg. Dies lässt sich für 2012 nicht bestätigen. Interessant ist die Abweichung von Grafik 1 für die Region nordwestlich von Hamburg. Diese Mindereinträge in der Einstrahlung zeigen sich nicht in der Karte der PV-Erträge von Grafik 3. Stattdessen findet man die schon erwähnte Region um Lübeck mit geringeren Ertragswerten.

Grafik 4 zeigt die prozentuale Abweichung im spezifischen PV-Ertrag des Jahres 2012 in Bezug auf die vorhergehenden Jahre. Hier fallen die Küstenregionen Deutschlands und das Ruhrgebiet mit Mindererträgen auf. Auch hier zeigen sich die größten Abweichungen in den nördlichen Bundesländern, im Ruhrgebiet und in der Region um Heidelberg. Sichtbar werden Abweichungen zu Grafik 1 besonders für Mecklenburg-Vorpommern. Die PV-Anlagenbesitzer in den sonnenreichen Bundesländern Bayern und Baden-Württemberg erfreuten sich wiederum an überdurchschnittlichen Ertragswerten in 2012. Dies gilt allerdings nicht für Anlagen im Südosten Bayerns. Dort stagnierten im Mittel die Erträge oder nahmen sogar ab. Die Werte lagen damit im oder unter den langjährigen Durchschnittswerten. Einem Ertragsplus von über 5,5 % in der Region Heidelberg und im Nord-schwarzwald steht ein deutliches Minus von bis zu 3,3 % für Mecklenburg-Vorpommern gegenüber.

Grafik 3: Deutschlandkarte für das Jahr 2012 mit den normierten PV-Anlagenerträgen gemittelt auf die einzelnen Postleitzahlenbezirke.

Quelle: Meteocontrol, 2013

Spezifischer Ertrag 2012



Die Gegenüberstellung der Mittelwerte aller normierten PV-Anlagenerträge für das gesamte Bundesgebiet in Grafik 5 zeigt den typischen Jahresverlauf der Erträge. Vergleicht man die vergangenen beiden Jahre, so fallen gerade die breiteren Schwankungen in den Monaten Januar, Februar und Dezember auf, die auch ein deutlich größeres Spektrum haben als in den Jahren zuvor. Auch fällt der Monat April als ertragschwacher Monat auf. Im April waren sonst durchschnittlich Erträge von 105 kWh/kW zu erwarten, der April 2011 lieferte einen Ertrag von knapp über 130 kWh/kW. Der Monat Juli hingegen lag sogar über dem Vorjahreswert in 2011. Eine Gemeinsamkeit haben die beiden Jahre 2011 und 2012 noch - der Monat Mai war jeweils der ertragreichste des gesamten Jahres.

Vergleicht man 2012 mit den restlichen Jahren, so ist erkennbar, dass es sich immer noch um ein gutes Jahr handelte.

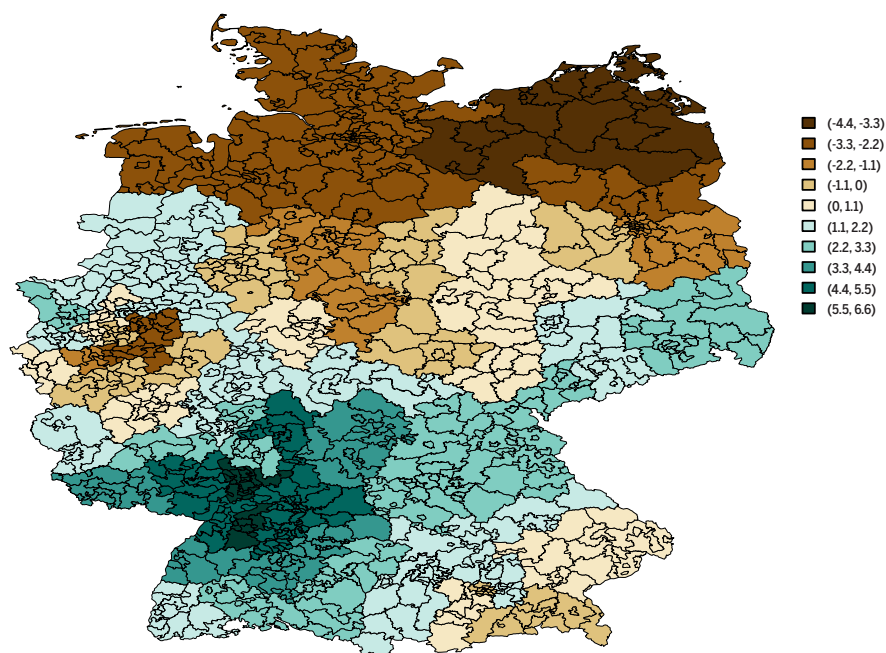
Konkrete Beispiele für 2012

Nachdem 2011 eines der bislang ertragreichsten Jahre für PV-Anlagenbetreiber war, lagen die Erwartungen an 2012 hoch. Ließen sich wieder Anlagen mit Erträgen über 1.200 kWh/kW finden? Und um wie viel würde der Ertrag geringer oder höher ausfallen? Exemplarisch werden verschiedene Anlagen herausgegriffen, um die reale Situation detaillierter zu analysieren. Für die Betrachtung eines größeren Spektrums an Anlagen wurden Aufdach- und

Grafik 4: Die PV-Anlagenerträge aus Bild 3, diesmal dargestellt als Abweichung im spezifischen Ertrag vom mehrjährigen Mittelwert (2008-2011) in Prozent.

Quelle: Meteocontrol, 2013

Spezifischer Ertrag 2012 - Abweichung in Prozent



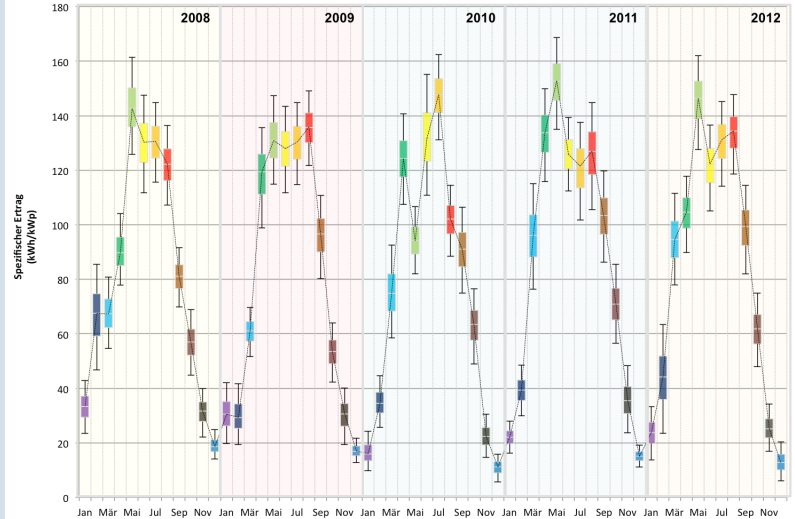
Freiflächenanlagen sowie Systeme unterschiedlicher Leistung ausgewählt – von wenigen kW bis zu mehreren MW.

In Grafik 6 soll der deutschlandweite Anlagenvergleich von Nord- nach Süddeutschland exemplarisch anhand der Monatswerte des Bürgersolarparks Grevesmühlen (1,65 MW installierte Leistung), des Solarparks Maroldsweisach (1,7 MW) und der PV-Anlage in Kirchdorf (3,78 kW) betrachtet werden. Dies sind willkürlich ausgewählte Systeme der IBC Solar AG aus Bad Staffelstein. Dabei fällt auf, dass die Solaranlagen in Unterfranken und Oberbayern relativ identische Erträge haben. Die Anlage an der Ostsee hat auch einen für diese Region typischen Ertrag erbracht. Auffällig sind besonders die Monate Februar und September, welche in Unterfranken deutlich über dem Niveau der anderen beiden Anlagen lag. [4]

Für die Betrachtung einer in das Gesamtenergiekonzept eines Hauses integrierten PV-Anlage zeigt Grafik 7 das Betriebsverhalten einer Anlage auf einem Passivhaus in Samerberg im Landkreis Rosenheim (Oberbayern) für 2012. Es handelt sich um ein Einfamilienhaus in Holzständerbauweise. Die Beheizung erfolgt über einen Raumpelletsofen mit Wasserwärmetauscher und eine thermische Solaranlage mit 14 m² Kollektorfläche. Der durchschnittliche Pelletsverbrauch liegt bei etwa 800 kg pro Jahr. [5] Gut zu sehen sind die normierten Jahreserträge in kWh/kW, die im Durchschnitt bei etwa 1.000 kWh pro installiertem kW liegen.

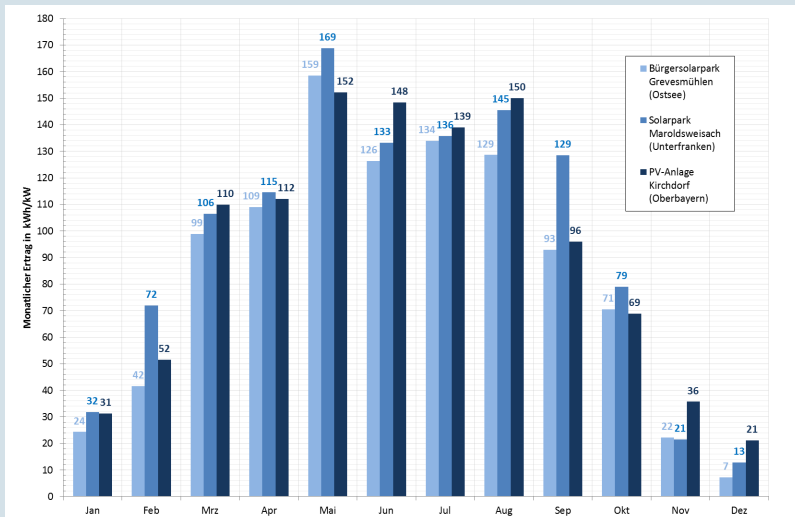
Betrachtet man anschließend die darauffolgende Grafik 8 zu den Jahresverläufen, sieht man, dass die einzelnen Monate Januar, Februar und Dezember unter den Monatsmittelwerten von Grafik 6 liegen. Diese Abweichungen lassen sich eventuell über die Gebirgsnähe und die daraus resultierende höhere Schneebedeckung erklären. Im Gesamtvergleich der einzelnen Monate über die letzten Jahre liegen die Monate Januar, Februar und April unter den Durchschnittswerten. Vergleicht man das Jahr 2012 mit 2011, so zeigt sich, dass in den Sommermonaten die Erträge fast identisch sind. Neben anderen interessanten Vergleichsmöglichkeiten der Grafik zeigt ein Blick auf den Februar 2008 mit einem etwa dreimal so hohen Ertrag wie im Februar 2012, wie viel die Schneebedeckungszeit bei den Erträgen ausmachen kann.

Grafik 9 soll mit allen bisherigen Jahreserträgen der Anlage der Neuen Messe München einen Überblick in normierten Zahlenwerten geben. Wie zu erwarten war der Ertrag 2012 niedriger als im Spitzenjahr 2011. Allerdings hat es für 2012 immerhin zusammen mit 2009 noch zu Platz 3 gereicht. In Summe ist der Ertrag immer noch um etwa 5 % höher ausgefallen als es der langjährige Mittelwert erwarten ließ. Damit konnte in den letzten Jahren, mit Ausnahme von 2010, ein sehr gutes Ergebnis eingefahren werden. Auch auffällig ist, dass trotz guter Einstrahlung in den Jahren zuvor die Erträge niedriger waren. Dies ist zurückzuführen auf ein Retrofit im Jahr 2007, welches den Wirkungsgrad der gesamten Anlage verbesserte. Zusätzlich wurden die immer häufiger auftretenden Ausfälle minimiert. Dieses Beispiel zeigt,

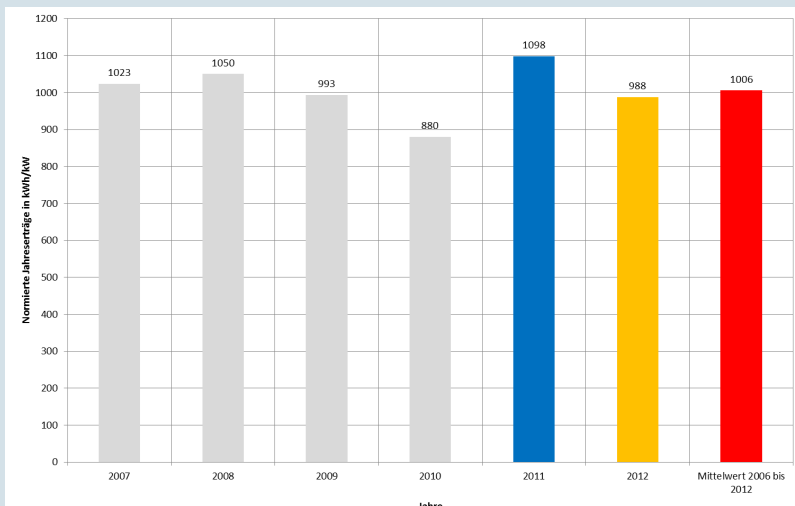


Grafik 5: Mittelwerte der normierten Erträge aller PV-Anlagen in Deutschland von Januar 2008 bis Dezember 2012. Sehr schön vergleichbar im Jahresgang sind die durchschnittlichen Erträge der PV-Anlagen in 2012.

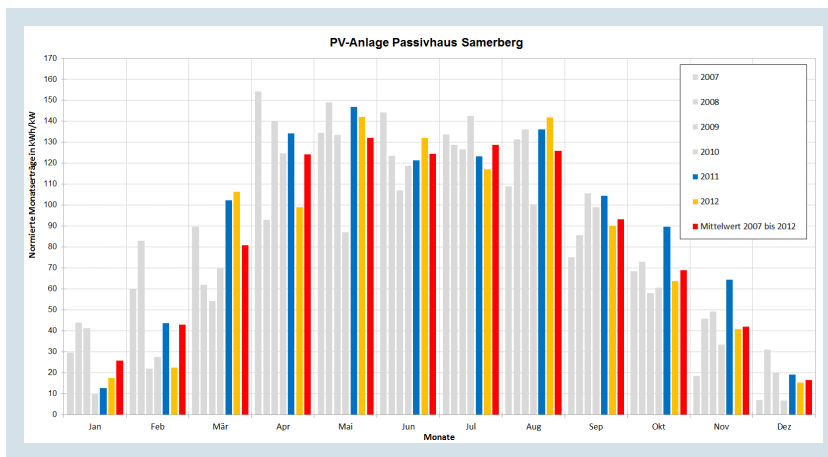
Quelle: Meteocontrol, 2013



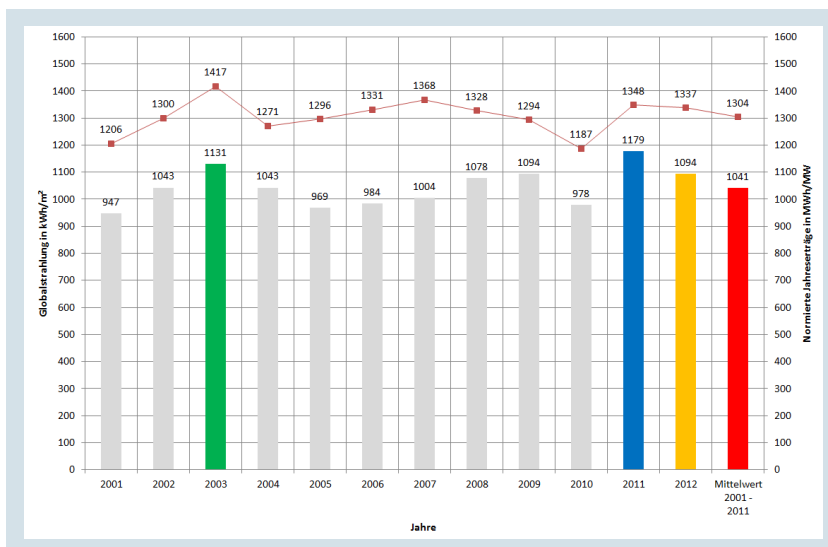
Grafik 6 zeigt den Bürgersolarpark Grevesmühlen (Ostseelage), den Solarpark Maroldsweisach (Unterfranken) und eine PV-Aufdachanlage bei Kirchdorf in Oberbayern mit der spezifischen monatlichen Netzeinspeisung.



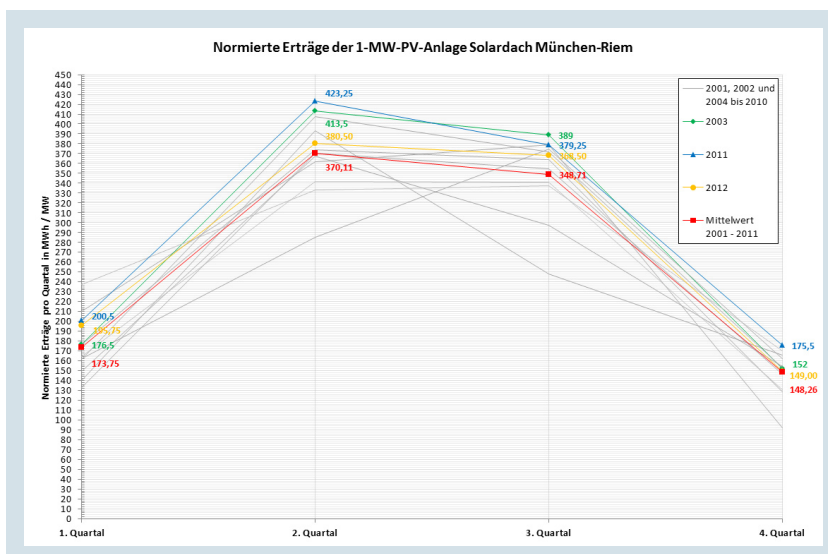
Grafik 7 zeigt die Jahreseinträge der Netzeinspeisung von 2007 bis 2012 und des Mittelwerts im Vergleich.



Grafik 8 zeigt die Monateinträge Netzeinspeisung des Passivhauses Samerberg von 2007 bis 2012 im Vergleich. Zusätzlich ist der monatliche Mittelwert der Anlage rot eingetragen.



Grafik 9: Normierte Jahreswerte von Anlagenenerträgen der 1-MW-Photovoltaikanlage Solardach München-Riem von 2001 bis 2012 im Vergleich als Balkengrafik. Die rote Liniengrafik zeigt den Verlauf der zugehörigen Globalstrahlungswerte. Speziell eingefärbte Balken kennzeichnen besondere Jahre sowie die Jahresmittelwerte.



Grafik 10: Gegenüberstellung normierter Anlagenenerträge der 1-MW-Photovoltaikanlage Solardach München-Riem von 2001 bis 2012 über die Energieeinträge in den Jahresquartalen. Speziell eingefärbte Linien kennzeichnen wieder besondere Jahresverläufe sowie die Quartalsmittelwerte.

wie wichtig eine ständige Überwachung sein kann, da Störungen und Ausfälle den Ertrag deutlich mindern können. [6]

In Grafik 10 sind die normierten Erträge nach Quartalen aufgeschlüsselt. Betrachtet man jetzt wieder 2012, so stellt man fest, dass die Werte zwar immer hinter denen von 2011 liegen, allerdings konstant besser sind als der Mittelwert. Auffällig ist das erste Quartal, welches nur knapp hinter dem Jahr 2011 liegt.

Zusammenfassung und Ausblick

Das Wetterjahr 2012 lag im Jahresprofil sehr nah an den langjährigen Durchschnitts- und Referenzwerten. Einstrahlungskarten mit Abweichungen der Globalstrahlung in 2012 zum langjährigen Mittel entsprechen ungefähr auch den PV-Anlagenenerträgen. Der Vergleich der betrachteten Anlagen zeigt, dass die Erträge stärker standortabhängig waren als im Jahr zuvor. In Summe produzierten die Anlagen mehr Solarstrom als im langjährigen Durchschnitt, ihre Erträge lagen jedoch alle unter den Bestwerten von 2011.

Mike Zehner, Andreas Doll, Annette Hammer,
Henrik te Heesen, Volker Herbolt und Marco Mariani,
Mitarbeit: Ralf Ossenbrink

Die Autoren:

Mike Zehner ist Professor für nachhaltige Energietechnik im Studiengang Energie- und Gebäudetechnik der HS Rosenheim und leitet die Arbeitsgruppe PV-Systeme im Studiengang Regenerative Energien der HS München.

Andreas Doll ist Mitarbeiter dieser Arbeitsgruppe an der Hochschule München.

Dr. Annette Hammer arbeitet in der Arbeitsgruppe Energie-meteorologie der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg mit dem Schwerpunkt Solarstrahlungsinformationen aus Satellitendaten.

Dr. Henrik te Heesen ist Professor für Erneuerbare Energien am Umwelt-Campus Birkenfeld der Hochschule Trier. Gemeinsam mit der Meteocontrol GmbH bearbeitet er ein Forschungsprojekt zur Analyse von Fernüberwachungsmessdaten.

Volker Herbolt 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 ist zuständig für den Bereich Globalstrahlung in der Abteilung 'Prognosen und Meteodaten' der Meteocontrol GmbH.

Ralf Ossenbrink ist stellvertretender Chefredakteur der Zeitschrift SONNE WIND & WÄRME.

Referenzen und Quellen:

- [1] Verschiedene Pressemitteilungen des DWD: Jahresrückblick 2012 und Monatliche Berichte zum Deutschlandwetter in 2012, www.dwd.de
- [2] Hammer Annette, Documentation – EnMetSOL, Satellite Data – Available Regions at Oldenburg University, Carl von Ossietzky University of Oldenburg, 2011;
- [3] Meteocontrol GmbH, Fernüberwachungsdatenbank der Meteocontrol mit 31.000 Anlagen und 6,6 GW an installierter Leistung über die Jahre 2002 bis 2012, www.meteocontrol.de;
- [4] IBC Solar AG, Messdatensätze der PV-Anlagen Grevesmühlen, Maroldsweisach und Kirchdorf des Jahres 2012, www.ibc-solar.de;
- [5] Krause Harald, Messdatensatz zum Passivhaus Samerberg, Januar 2012, www.passivhausprojekte.de;
- [6] Solarenergieförderverein Bayern e.V., Messdatensätze der 1 MW PV-Anlage Neuen Messe München der Jahre 2001 bis 2012, www.sev-bayern.de