



Lufft Whitepaper

**Wie Sie 10 Einflussfaktoren auf die Solar-
Anlagen-Leistung auf einmal im Blick behalten**



Das folgende Paper erklärt, warum professionelle Wettersensoren eine wichtige Rolle für Utility-Scale-Photovoltaik-Anlagen spielen und gibt wertvolle Tipps, worauf Sie bei der Wahl eines Wettersensors achten sollten.

Trends am PV-Markt

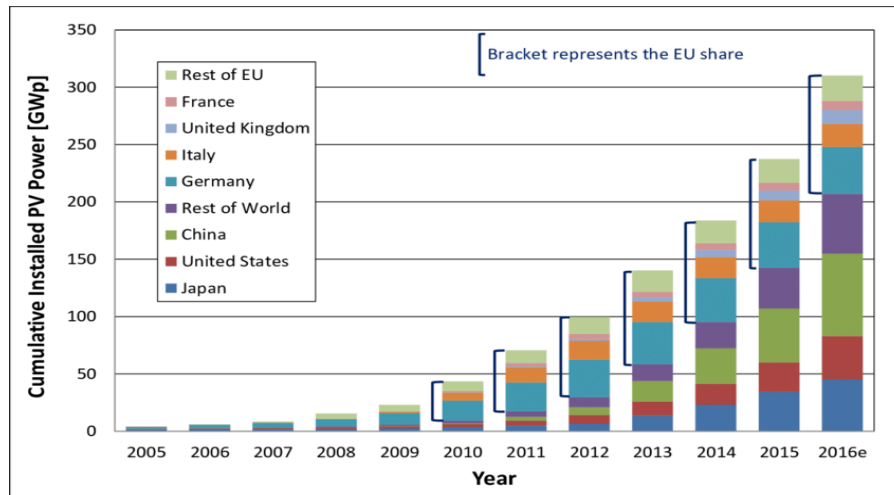


Abb. 1: Weltweites Wachstum von Solarenergie¹

¹ [PV Status Report 2016](#). Arnulf Jäger-Waldau, Nov 25, 2016. In: researchgate.net. Abgerufen am 27. Juli, 2017.

Ende 2015 erbrachten alle Photovoltaikanlagen weltweit zusammen eine Leistung von 227 GW. 2016 kamen ca. 75 GW hinzu. Forscher gehen davon aus, dass das durchschnittliche jährliche Wachstum bis 2020 auf 100 GW pro Jahr ansteigt. In 2030 könnte Solarenergie die 10.000 GW-Marke knacken.

Photovoltaik galt bis vor kurzem aufgrund der hohen Anschaffungskosten als die kostspieligste unter den erneuerbaren Energien. Jedoch sinken die Anschaffungskosten derzeit drastisch: Innerhalb der letzten sieben Jahre sie reduzierten um stolze 75 %. In den USA beispielsweise sind inzwischen Solarstrom-Preise von umgerechnet unter 4,3 Euro-Cent/kWh (5 US-Dollar-Cent/kWh) realistisch. Eine Anlage in Chile generiert Energie für gerade Mal 2,6 Euro-Cent/kWh (umgerechnet 3 US-Dollar-Cent/kWh). Bereits seit 2014 können vielerorts Solaranlagen kostenmäßig mit fossilen Kraftwerken mithalten.

Gründe hierfür sind Skaleneffekte, technische Entwicklung, sinkende Einspeisevergütung, zunehmender Konkurrenzdruck z.B. aus China sowie Förderprogramme im Rahmen der Energiewende.

Solarenergie liegt also voll im Trend, weil sie umweltfreundlich und mittlerweile sogar finanzierbar ist. Kein Wunder, dass PV-Anlagen derzeit wie Pilze aus dem Boden schießen.

Wie machen sich PV-Anlagen schnell bezahlt?

Eine möglichst schnelle Amortisation und Gewinnerbringung erfordert die Maximierung des Jahresertrags, also der jährlich gewonnenen Strommenge. Dies erfordert eine Spitzenleistung der Anlage. Die verfügbare Strahlungs-Energie schwankt je nach Tages- und Jahreszeit: Z.B. kommt es in Deutschland im Juli zu bis zu 10 Mal höheren Erträgen als im Dezember. Zudem spielen Wetterbedingungen und andere Einflussfaktoren eine wichtige Rolle (siehe Abb. 4). In Deutschland lässt sich mit dem richtigen Equipment ein maximaler Jahresertrag von 1000 kWh/1 kWp² Modulfläche erreichen.

Es gilt:

Negative Einflussfaktoren minimieren, positive maximieren

² Kilowatt peak: Leistung einer Photovoltaikanlage unter genormten Bedingungen.

Zum einen erfordert dies einen geeigneten Standort, der vorab im Rahmen des Site Assessments mithilfe von Messtechnik ein Jahr lang ausgewertet wird. Zum anderen ist auch nach der Installation der Anlage professionelle, kontinuierliche Standortüberwachung mithilfe verschiedener Einheiten erforderlich (siehe Abb. 2).

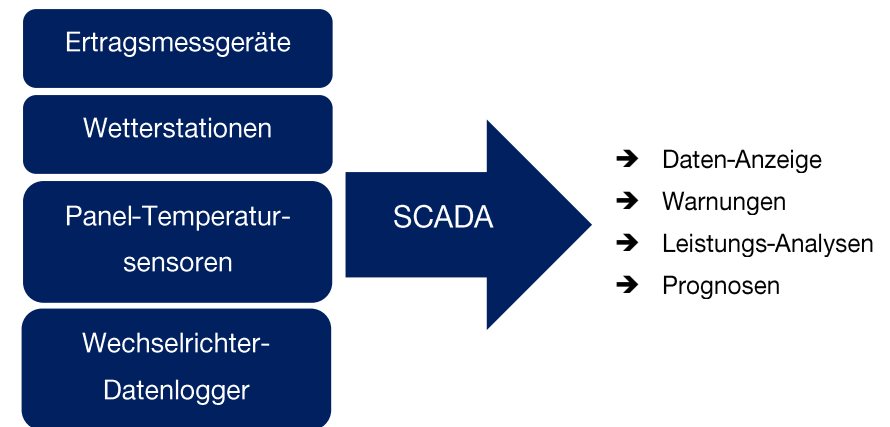


Abb. 2: Datengewinnung und Verarbeitung mithilfe SCADA³-System

³ Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA): Überwachung und Steuerung technischer Prozesse mittels ausgeklügelter Computer-Systeme.

Zu jeder Utility-Scale⁴-Anlage gehört demnach die professionelle Wetter-Beobachtung (siehe Abb. 4). Sie ist mitunter gesetzlich vorgeschrieben und gibt Aufschluss über positive und negative Einflussfaktoren. Somit liefert sie wichtige Erklärungen für Performance-Einbußen und hilft bei der Leistungsoptimierung (z.B. durch Solar-Tracker⁵). Die Leistung einer Solaranlage lässt sich mithilfe der Performance Ratio ermitteln. Hierbei handelt es sich um einen Jahreswert.

$$\text{Performance Ratio} = \frac{\text{tatsächlicher Ertrag}}{\text{Sollertrag}}$$

Sollertrag

$$\text{Sollertrag} = \text{auf Modulfläche eingestrahlte Energie} \cdot \text{nominaler Modulwirkungsgrad}$$

Der Modulwirkungsgrad ist das Verhältnis zwischen momentan erzeugter, inflationsbereinigter, elektrischer Leistung und eingestrahelter Lichtleistung. Je höher er ist, desto geringer kann die Fläche für die Anlage gehalten werden. Der nominale Modulwirkungsgrad stellt

⁴ Eine Utility-Scale-Solaranlage: Anlage ab Größe von ca. 10 MW, die große Energie-Anbieter beliefert.

demnach den Soll-Wert, dar.

In Deutschland ist seit 2010 eine durchschnittliche Performance Ratio von 84 % üblich. Abb. 3 stellt die Entwicklung der durchschnittlichen Performance Ratio seit den 1980er Jahren dar. Sie steigt aufgrund der stetig verbesserten Solarpanel-Technologie.

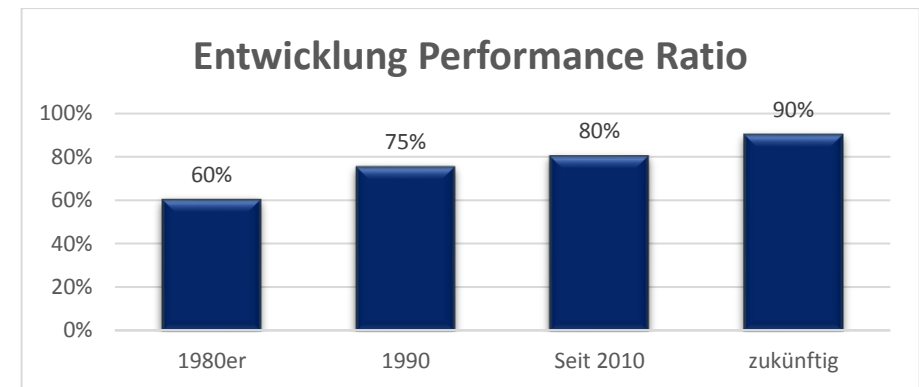


Abb. 3: Entwicklung der Performance Ratio seit 1980

Erreicht eine PV-Anlage diese Durchschnittszahlen nicht, wirkt bzw. wirken sich ein Einflussfaktor oder mehrere -faktoren negativ darauf aus (siehe Abb. 4) - vorausgesetzt alle Module sind intakt.

⁵ Solar-Tracker: Solarmodule, die sich anhand des Sonnenstands ausrichten.



Abb. 4: Einflussfaktoren auf PV-Anlagen-Leistung (Wirkungsgrad)

Es besteht die Möglichkeit, dass sich verschiedene Materialien auf den Solarmodulen ablagert (siehe Abb. 5). In solchen Fällen ist häufig eine Reinigung erforderlich.



Abb. 5: Arten von Ablagerungen auf Solar-Paneelen

Flüssiger Niederschlag (Regen) kann jedoch Abhilfe schaffen. Zur möglichst effizienten Planung und Koordination von Reinigungs-Einsätzen sind demnach Niederschlagssensoren ratsam.

Die Lebenserwartung moderner Sonnenkollektoren beträgt mittlerweile 35 Jahre. Solar-Monitoring-Systeme sollten im besten Fall nicht nur alle relevanten, messbaren Daten liefern, sondern auch mit dem Lebenszyklus einer PV-Anlage mithalten können.

Professionelle Wettersensorik

Professionelle Wetterstationen bilden das Herzstück großer Solaranlagen. Sie helfen beim Betrieb, der Instandhaltung und der Leistungs-Optimierung.

Lufft war der erste Sensorik-Hersteller, der mehrere Wettersensoren in einem Gehäuse kombinierte und somit eine All-in-One Sensor-Familie ins Leben rief.

„Die professionelle, Multiparameter-Wettersensoren-Familie von Lufft ist bislang die größte und vielseitigste auf dem Markt“, bestätigt Udo Kronmüller, Vertriebs-Manager bei Lufft. Die Lufft WS-Familie umfasst aktuell 21 modulare Varianten für alle marktüblichen Einsatzgebiete und ist beliebig erweiterbar. „Unsere Wettersensorfamilie reicht von der WS300, die sich auf die Messung von Temperatur, Feuchte und Luftdruck konzentriert bis hin zur WS800, die sogar Gewitter-Blitze detektiert“, so Kronmüller. Alle sind ähnlich aufgebaut und besitzen die gleichen Messprinzipien, Protokolle und Kanäle. Dies bedeutet: passt einer von ihnen, passen alle. Die Kombination mehrerer Sensoren in einem Gehäuse erspart Installations- und Wartungsaufwand.

Vor Zeiten von modular aufgebauten All-in-One Wettersensoren

mussten Installateure jeden Sensor einzeln anbringen. Das war mit vielen verschiedenen Kabeln, Signalausgängen und Komponenten und somit mit einem immensen Aufwand verbunden – sowohl beim Aufbau als auch im Betrieb.

Smarte, hochintegrierte und wartungsarme Sensorkombinationen, die nur ein Kabel und eine Schnittstelle beanspruchen, decken alles ab, was bei der Wetterbeobachtung zählt. Das spart Zeit und Geld.

Besonders der WS600 ist ein beliebtes Modell: Er misst Niederschlagsintensität, -Menge, Windgeschwindigkeit, -Richtung, den Luftdruck, die relative Feuchte und die Umgebungstemperatur.

Nichts dem Zufall überlassen: behalten Sie alle Einflussfaktoren im Blick

Messung der Global-Strahlung mithilfe verschiedener Pyranometer-Typen

Die Lufft WS-Modelle sind mit drei verschiedenen Pyranometer-Typen verfügbar (siehe Abb. 6):

Silizium-Pyranometer von Lufft:

WS302, WS502, WS504 (kippbär), WS700 & WS800

CMP3 Second Class-Pyranometer von Kipp&Zonen:

WS301, WS303 (kipptbar) WS501 & WS503 (kipptbar)

CMP10 Secondary Standard von Kipp&Zonen

WS310, WS510 & WS3100



Abb. 6: WS-Modelle mit Pyranometern

Für kleinere Budgets bzw. PV-Dachanlagen eignet sich das Lufft Silizium-Pyranometer, das auf einer Foto-Diode basiert. Es reagiert schneller weist aber eine etwas geringere Genauigkeit als termopile Varianten auf. Letztere stellt die derzeit ausgereifteste Technologie auf dem Markt dar.

Das Pyranometer der WS303, WS304, WS503 und WS504 ist mit einem Gelenk versehen, um es kipptbar zu machen. Dies ermöglicht die optimale Anpassung an die Solarmodule bzw. eine Anbringung unter den Solarzellen, um die Modul-Position möglichst genau nachzuempfinden.

Der Secondary Standard-Strahlungssensor CMP10 (siehe Abb. 7) mit der höchsten Genauigkeit kommt hauptsächlich bei Multimegawatt-Anlagen zum Einsatz.



Abb. 7: CMP10 Pyranometer von Kipp&Zonen

Umgebungstemperatur

Die Leistung von PV-Modulen sinkt bekanntermaßen mit steigender Temperatur (siehe Abb. 4). Daher dürfen bei PV-Anlagen hochgenaue Temperatursensoren nicht fehlen (siehe Abb. 8: Temperatur-Sensorik am Beispiel des WS510

). Auf folgende Eigenschaften ist zu achten, um die höchstmögliche Genauigkeit zu gewährleisten:

Strahlungsabschir-

Aktive Belüftung¹

Zusätzl. Modular-temp.²



Abb. 8: Temperatur-Sensorik am Beispiel des WS510

¹ Aktive Belüftung schützt vor direkter Sonneneinstrahlung und Niederschlag, die zu Abweichungen von mehreren °C führen können. Alle Lufft-WS sind aktiv belüftet, indem diese Luft zur Temperatursonde im Inneren saugt.

² Eine modulare, selbsthaftende, ca. 10 m vom Wettersensor entfernte Temperatursonde, die mithilfe von externem Sensoreingang angeschlossen wird und Vergleichs-Messungen liefert.

Sensoren mit diesen Eigenschaften weisen Genauigkeiten von $\pm 0,2$ °C auf.

Nice-to-have: Wind- & Niederschlags-Sensorik

Windrichtungs- und Geschwindigkeitsmessungen machen Sinn, wenn es um die Verhinderung möglicher Sturm-
schäden geht. Beispielsweise ermöglichen sie die Steuerung von Solar-Trackern: sie lassen sich der Windrichtung entsprechend ausrichten um diesem möglichst wenig Angriffsfläche zu geben. Für Anlagen ohne Solar-Tracker liefern sie Beweise für mögliche Sturm-Schäden.

Abb. 9: Ultraschall-Wind-sensor



Zur **Windmessung** eignen sich besonders wartungsfreie Ultraschall-Sensoren ohne bewegliche Teile (siehe Abb. 9). Diese sind in vielen Lufft Kompaktwettersensoren standardmäßig

verbaut (WS500 – WS800).

Für **Niederschlags-Messungen** bieten sich zwei verschiedene Messprinzipien an: Kipp-Löffel mit Auffangbehälter oder Doppler-Radar. Daraus ergeben sich Unterschiede bezüglich der Messgenauigkeit und der Messobjekte. Während ein Kippplöffel nur erkennt, ob zum Messzeitpunkt Niederschlag fällt oder nicht, kann der Radar-Sensor zwischen Intensität, Menge und Typ (Regen, Schnee, Graupel und Hagel) unterscheiden. Diese Werte informieren über eine natürliche Modul-Reinigungsfunktion von Niederschlag. Zudem informieren sie über drohende Schneeablagerungen oder Hagelschäden (siehe dazu auch Abb. 5).



Abb. 10: WS601 mit Kipp-Waage



Abb. 11: WS600 mit Radar-Sensor

MODBUS RTU

Das Modbus RTU-Protokoll (Remote Terminal Unit) ist ein offenes Standard-Kommunikations-Protokoll, auf das die meisten marktüblichen Datenlogger zurückgreifen. Somit Zur einfachen Integration von Sensorik ins PV-Netzwerk ist es wichtig, dass die eingesetzten Wettersensoren und Pyranometer ebenfalls im MODBUS kommunizieren. Abb. 12 stellt ein mögliches Sensornetzwerk dar, das auf MODBUS basiert.

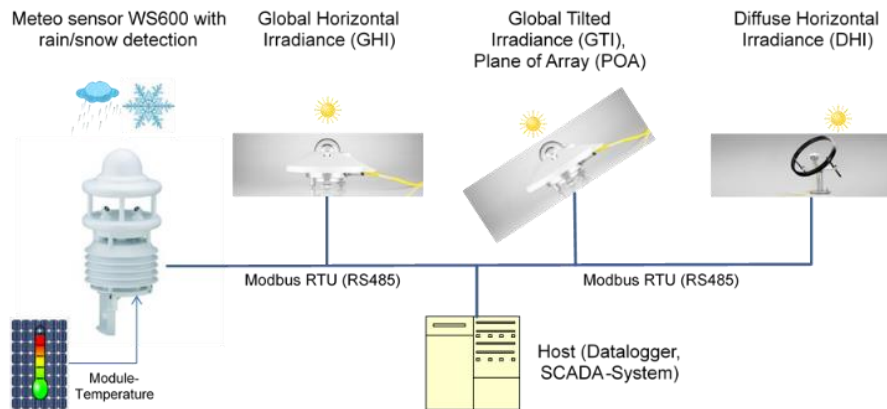


Abb. 12: möglicher Modbus-Kommunikations-Aufbau eines Solar-Netzwerks⁶

⁶ WS600, Modultemperatur, mehrere Pyranometer (horizontal, diffus horizontal und im Modul-Winkel), das über MODBUS RTU (RS485-Stecker) mit Host-Datenlogger und letztendlich SCADA-System kommuniziert.

WS800 – Flaggschiff der Lufft WS-Familie

Der WS800 All-in-One Wettersensor vereint acht Parameter in einem Gehäuse (siehe

) und ist somit die vielfältigste WS-Variante.

Er kam im Juli 2015 auf den Markt und unterscheidet sich durch einen innovativen Blitzerkennungs-Modul vom WS700. Dieses differenziert ausgestrahlte elektromagnetische Wellen eines Gewitterblitzes zuverlässig von anderen Lichteffekten. Besonders im Schadensfall sind solche Informationen z.B. für Versicherungen hilfreich.

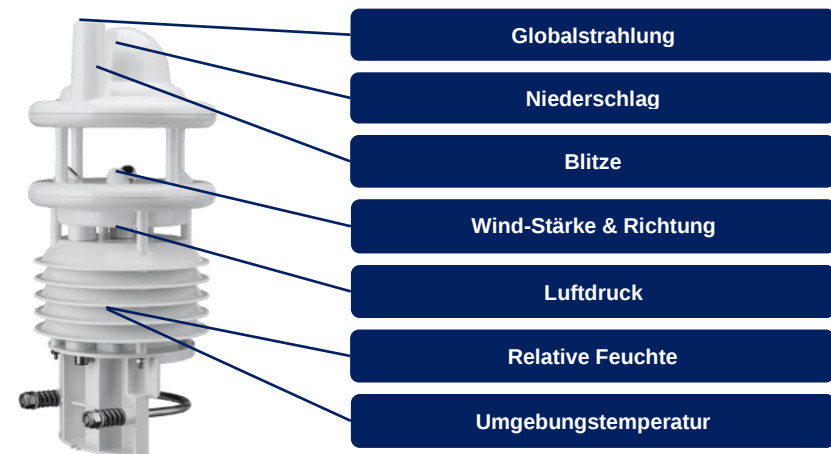


Abb. 13: WS800 - Lufft WS-Flaggschiff

Fazit

Professionelle modulare Wettersensoren, die mehrere Parameter auf einmal abdecken sind demnach eine einfache Möglichkeit alle Einflussfaktoren, die sich auf die Leistung Ihrer Solaranlage auswirken, mühelos im Blick zu behalten.

Je weniger Angriffsfläche der Sensor in Form von Kabeln, mechanischen und beweglichen Teilen bietet, desto langzeitstabiler ist er. Der MTBF⁷ im Feld für Lufft Kompaktwettersensor liegt bei durchschnittlich 10 Jahren. Im Gegensatz dazu müssen mechanische Sensoren i.d.R. nach 24 Monaten ausgetauscht werden (siehe Vergleichstabelle in Abb. 14). Moderne Solarzellen und digitale Wettersensoren ergänzen sich somit perfekt.

Digitale Kompaktwettersensoren	Mechanische Wettersensoren
Decken viele Parameter auf einmal ab	Decken nur einen Parameter je Sensor ab (z.B. Windrichtung und -geschwindigkeit)
Keine beweglichen Teile	Bewegliche Teile mit hohem Verschleiß
Wartungsfrei	Wartung erforderlich (z.B. Ölung von Kugellager)
IP66 – IP68	IP55
Sehr geringe Ansprechschwelle (Bsp. Wind ab 0,1 m/s)	Ansprechschwellen höher durch Reibung (Bsp. Wind ab 0,3 m/s)
Höhere Anschaffungskosten, keine/geringe Wartungskosten	Geringere Anschaffungskosten, höhere Wartungs-/Ersatzkosten
Kosten nach 5 Jahren Ø 2.000	Kosten nach 5 Jahre Ø 6.000
MTBF Ø 10 Jahre	MTBF Ø 2 Jahre

Abb. 14: mechanische vs. digitale Sensorik

⁷ Mean Time before Failure

G. Lufft Mess- und Regeltechnik GmbH

Gutenbergstr. 20

70736 Fellbach

Germany

E-Mail: info@lufft.de

Tel: +49 711 51822 0

Fax: +49 711 51822 41

*Weitere Informationen finden Sie auf der Lufft Homepage unter www.Lufft.de
oder kontaktieren sie uns unter www.lufft.com/Kontakt/*