



Quelle: TÜV SÜD (alle Bilder)

**Bild 1:** Bei einer ersten Inaugenscheinnahme werden bereits ertragsmindernde Faktoren wie schattenwerfende Pflanzen oder Schmutz sichtbar. Erfahrene Experten können so mitunter auch oberflächliche Schäden an den Zellen entdecken

### Fehler finden und beheben

# Mehr Effizienz für PV-Anlagen

Wie kann die Leistung bestehender Photovoltaik-Anlagen erhöht werden? Indem sie einwandfrei laufen. Was zunächst einfach klingt, ist längst nicht selbstverständlich: Unentdeckte Defekte führen bei vielen Anlagen zur Leistungsminderung. Mit regelmäßigen Leistungsmessungen, einem nachhaltigen Instandhaltungskonzept und Reparaturen können Errichter die Effizienz deutlich steigern. TÜV SÜD prüft die elektrische Sicherheit und Wirtschaftlichkeit vor Inbetriebnahme und im laufenden Betrieb (**Bild 1**).

**A**us Bestandsanlagen lässt sich deutlich mehr herausholen: Nach Schätzungen des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft GDV auf Grundlage von Zahlen aus 2020 weist rund jede fünfte PV-Anlage in Deutschland Mängel und Beschädigungen auf. Das ist nicht nur problematisch, weil Fehler in den Systemen Sicherheitsrisiken darstellen. Defekte Anlagen erreichen – ohne dass die Errichter, Betreiber und Eigentümer es wissen – längst nicht die Leistung, die möglich wäre. Schon kleinste Schäden oder Fehler mindern die Stromausbeute zum Teil deutlich: Weil

sich durch einen Defekt an Zellen der PV-Module der elektrische Widerstand erhöht, findet eine stärkere Wärmeentwicklung statt, die neben des erhöhten Brandrisikos auch zu

#### Beispielrechnung

##### Ertragseinbuße durch Defekt in einem Modul

- Fünf Prozent Reduktion durch Beschädigung – 0,28 kWp Reduktion
- Ertragsminderung um 280 kWh bis 336 kWh
- Einbuße pro Jahr: 100 € bis 130 €

Lasten der Effizienz geht. Eine einzelne defekte Zelle kann bei fehlenden oder fehlerhaften Freilaufdioden so die Effizienz des gesamten Strings um vier bis sechs Prozent reduzieren. Da gerade bei älteren Anlagen oft keine Freilaufdioden vorhanden sind oder Defekte daran nicht erkannt werden, dürfte sich der Ertragsverlust aller verbauten Altanlagen also unbemerkt auf viele tausend Megawattstunden summieren.

Werden solche Beschädigungen mit Hilfe moderner Prüfmethode erkannt und von erfahrenen Fachleuten behoben, kann der Stromertrag der Bestandsanlagen deutlich

erhöht werden. Davon profitieren insbesondere Eigentümer und Betreiber. Das gilt selbst für kleinere Anlagen, z.B. wenn das Ende der Herstellergarantie oder der Gewährleistung des Anlagenerrichters bevorsteht. Im Schadensfall stützen Gutachten anerkannter Prüfdienstleister die Beweislast gegenüber Errichtern oder Versicherern. Zugleich ist es ein weiterer Schritt hin zu einem höheren Anteil der erneuerbaren Energien am Strommix in Deutschland.

**Mögliche Defekte im gesamten Lebenszyklus**

Wie kommt es zu solchen Beschädigungen an PV-Anlagen? Die Ursachen sind vielfältig – u. U. liegen sie in der Produktion, dem Transport oder der Montage, aber auch im laufenden Betrieb sind sie zu finden. Einige der Beeinträchtigungen sind offensichtlich, beispielsweise Verschmutzungen von PV-Modulen oder Schattenwürfe durch Bäume, Pflanzen oder andere Gebäude. Auch Produktions-, Konstruktions- und Montagefehler kommen immer wieder vor. Sie können von Anfang an Effizienzeinbußen verursachen. Neben defekten Freilaufdioden und beschädigten Zellen sind hier auch fehlerhafte Unterkonstruktionen und Befestigungen von Modulen sowie ungeeignete Montageabstände und Stringaufteilungen zu nennen.

Kritische Phasen sind insbesondere der Transport und die Installation der PV-Module – hier kann es trotz großer Vorsicht zu winzigen Beschädigungen kommen, die zu Wirkungseinbußen führen. Im laufenden



*Bild 2: TÜV-SÜD-Experte bei der Prüfung der ordnungsgemäßen Montage und des elektrischen Anschlusses der Wechselrichter*

Betrieb wiederum können Module durch Alterung, Umwelteinflüsse oder das Wetter Schaden nehmen. Sind beispielsweise die Unterkonstruktion und Befestigung der Module fehlerhaft, kann es in Folge von Temperaturänderungen zu Spannungen am Modul und damit einhergehenden Rissen/Brüchen kommen.

Was auch immer die Ursache ist: Bereits einzelne defekte Zellen in einem PV-Modul können die Leistung eines gesamten Strings – also aller in Reihe geschalteten Module – beeinträchtigen. Eine Überprüfung der Funktionsfähigkeit ist deshalb regelmäßig sinnvoll: schon im Verlauf der Abnahme,

aber auch im Rahmen der ohnehin vorgeschriebenen Regelprüfungen.

**Verschiedene Arten der Überprüfung**

Für eine solche Überprüfung bieten die Fachleute von TÜV SÜD verschiedene Varianten an – von der Sichtprüfung und I-U-Kennlinienmessungen über Abgleiche der Ertragsdaten mit Simulationen basierend auf den vorgelegten Wetterdaten und Aufnahmen mit Drohnen und Wärmebildkameras bis hin zur Elektro-Lumineszenz-Messung (Bild 2).

Im Rahmen der obligatorischen Sicherheitsüberprüfung können erfahrene Ex-

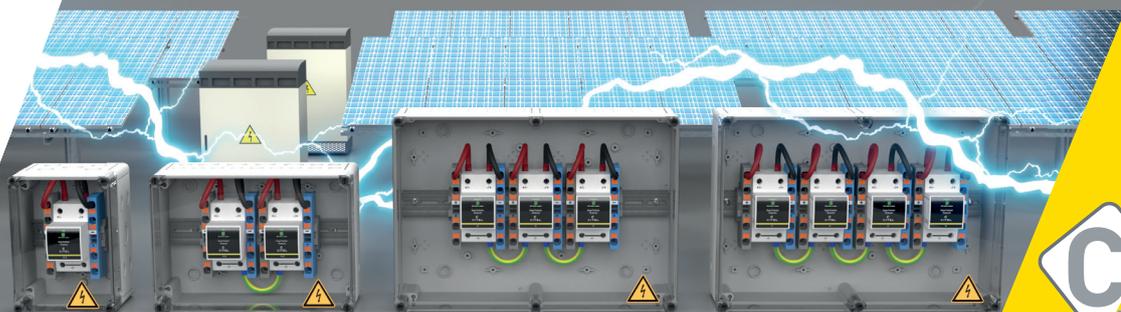
**CITEL ÜBERSPANNUNGSSCHUTZ für PHOTOVOLTAIKANLAGEN**



inter solar connecting solar business | EUROPE

Besuchen Sie uns auf der Messe in München vom 19.- 21.6.24

Halle / Stand A5 - 530



SEHR KOMPAKTE **GAK-XS SERIE** für 1 bis 6 MPP-Tracker



SCHNELLER & KOMPAKTER **DPVN SERIE** mit CTC-Technology



Central Thermal Control

[citel.de](http://citel.de)



**Bild 5:** Prüfung im laufenden Betrieb: EL-Messungen mit auf Rahmen montierten Kameras; so wird ein gleichmäßiger Abstand zu den Modulen gewährleistet. Die Messungen können auch per Drohne erfolgen

perten zunächst eine Sichtprüfung vornehmen: Gibt es Verschmutzungen, Verschattungen oder sichtbare oberflächliche Schäden? Bereits auf diese Weise können sie erste Ursachen für Effizienzeinschränkungen ausmachen. Zugleich werden die Leistung der Anlage und die Strom-Spannungs-Kennlinien der einzelnen Module

## Prüfungspflicht

### Vorgeschriebene regelmäßige Prüfungen der elektrischen Sicherheit

PV-Anlagen müssen regelmäßig überprüft werden. Vor der Inbetriebnahme ist eine Erstprüfung gemäß DIN VDE 0100-600 vorgeschrieben, anschließend muss die Anlage regelmäßig nach DGUV Vorschrift 3 sowie VDE 0126-23 und DIN VDE 0105-100/A1 überprüft werden – je nach Alter der Anlage sowie den betrieblichen Umgebungsbedingungen alle zwölf bis 48 Monate. Zu prüfen sind u. a. die Wechselrichter, der Schutz- und PA-Leiter und deren Durchlässigkeit, die Verschaltung der PV-Module, die Isolationswiderstände des PV-Generators, und ob die Anlage bei einem Fehler automatisch abschaltet. Es gehört zu den Pflichten von Betreibern, die Prüfungsintervalle so zu legen, dass Mängel in jedem Fall frühzeitig entdeckt werden.

gemessen und die dabei erhobenen Daten über eine Simulationssoftware mit den Soll-Leistungen, die der Hersteller vorgibt, verglichen. Hier können sich bereits erste Hinweise auf Mängel und damit Beschädigungen ableiten.

### Überprüfung per Wärmebildkamera

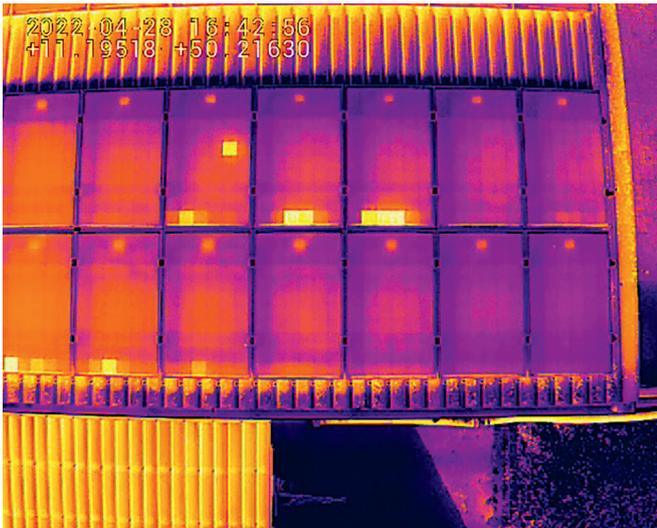
Eine andere Variante ist die Untersuchung per Wärmebildkamera, mit der per Hand oder Drohne Aufnahmen gemacht werden. Vor allem die Drohnentechnik bietet viele Vorteile: Anders als früher müssen bei schwer zugänglichen Dächern oder Bauwerken keine Gerüste oder Hebebühnen mehr bereitgestellt werden, um dem Sachverständigen einen Zugang zur Generatorfläche der Anlage zu ermöglichen. Bei der Bildauswertung erkennen die Fachleute, ob es besondere Punkte mit Erwärmungen auf der Oberfläche der Module gibt, sogenannte Hot-Spots (Bild 3). So lassen sich vor allem grobe Schäden erkennen, etwa vollständig inaktive Module, defekte Zellen oder auch unterbrochene Sub-Strings.

Wer es noch genauer wissen und Schäden möglichst frühzeitig erkennen möchte, kann die sogenannte inverse Thermografie – auch Rückstromthermografie – anwenden. Sie eignet sich vor allem für Dünnschichtmodule und arbeitet ebenfalls mit

Wärmebildkameras. Bei dieser Methode werden die PV-Module für kurze Zeit umgekehrt betrieben: Statt Strom zu liefern, werden sie selbst mit Strom versorgt. Durch die eingesetzten Wärmebildkameras wird die dabei abgegebene Infrarotstrahlung für das menschliche Auge sichtbar gemacht. Die Auswertung der Bilder gibt konkrete Hinweise auf kleinere Zell-Beschädigungen. Vorteil dieser Untersuchungsmethode ist die Möglichkeit zur Durchführung in der Nacht – unabhängig von der vorhandenen Sonneneinstrahlung, möglichen Blendwirkungen oder dem aktuellen Leistungszustand der Anlage (Bild 4).

### Elektro-Lumineszenz-Messung

Die genaueste Untersuchungsmethode ist schließlich die sogenannte Elektro-Lumineszenz-Messung, die ebenfalls nachts – und damit annähernd ohne Betriebsunterbrechung – vorgenommen werden kann (Bild 5). Sie arbeitet ähnlich wie die inverse Thermografie: Auch bei dieser Methode werden die Module selbst unter Spannung gesetzt. Die entstehende Strahlung im Nahinfrarotbereich wird durch besonders hochauflösende Spezialkameras visualisiert, und zwar mit einer Wellenlänge von 1150 nm. Auf diese Weise lassen sich zahlreiche Schäden erkennen, etwa an Bypass-Dioden, einzelnen Zellen,



**Bild 3:** Deutliche Hotspots: Stärkere Wärmeentwicklung macht in thermografischen Aufnahmen defekte Zellen sichtbar



**Bild 4:** Zu sehen sind einzelne hellere Zellen, die auf Defekte hinweisen. In diesem Beispiel wird als Ursache mechanische Belastung vermutet

ebenso Mikrorisse und Zellbrüche. Auch eine Leistungsminderung durch LeTID (Light and elevated Temperature Induced Degradation) können die Experten auf diese Weise ausmachen. Die Elektro-Lumineszenz-Messung kann im Übrigen auch eingesetzt werden, wenn bei einer Bestandsanlage die Dokumentation fehlt oder unvollständig ist, da mit dieser Methode genau nachvollzogen werden kann, wie die einzelnen Modulstränge verlaufen.

Sind Schäden an einer PV-Anlage erst einmal bekannt und lokalisiert, ist die Behebung der Ursachen häufig vergleichsweise einfach: Manchmal ist es bereits mit einer Reinigung getan, manchmal müssen Pflanzen zurückgeschnitten oder entfernt werden. In anderen

Fällen können defekte Module oder schadhafte Verbindungen ausgetauscht werden.

**Fazit**

Damit eine PV-Anlage die höchstmögliche Menge an Energie liefert, sollten Errichter die Wirtschaftlichkeit prüfen lassen. TÜV SÜD bietet von ersten Sichtkontrollen bis hin zu Detailmessungen durch Wärmebildkameras ein breites Spektrum an Leistungen. Diese können häufig mit ohnehin fälligen Prüfterminen zusammengelegt werden. So kombinieren die Experten Aspekte der elektrischen Sicherheit und des Brandschutzes mit Ertragsberechnungen – damit die PV-Anlage nicht nur sicher, sondern auch effizient läuft.

**FÜR SCHNELLESER**

Die **regelmäßige Prüfung** von Photovoltaik-Anlagen ist eine wesentliche Grundlage für deren sicheren und wirtschaftlichen Betrieb

Für die **Durchführung** der Anlagenprüfung stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, die je nach Art und Dimension der Photovoltaik-Anlage zum Einsatz kommen



**Autor:**  
MBA, B. Eng. Stefan Veit,  
Leiter Produkt- und Qualitätsmanagement Elektrotechnik,  
Gruppenleiter EG-RI, TÜV SÜD  
Industrie Service GmbH

[www.janitza.de](http://www.janitza.de)



Unsere effizienten Systemlösungen finde Sie in Halle B5, Stand 474

<https://info.janitza.de/smarter-e-europe>



LAST ABWERFEN – KOSTEN SENKEN

ZIELE ERREICHEN MIT INTELLIGENTEM LASTMANAGEMENT

Mit intelligentem Lastmanagement von Janitza steuern Sie Ihren Energieverbrauch und Ihre Kosten nach Ihren individuellen Bedürfnissen.

**Janitza®**