

WHITEPAPER

SMA SHADEFIX:

Die beste Lösung zur Leistungsoptimierung in Photovoltaik-Anlagen



Einleitende Zusammenfassung

Wie wirken sich Lösungen zur Leistungsoptimierung auf den Energieertrag von Photovoltaik-Anlagen aus? Das untersuchte die University of Southern Denmark in einer Studie und verglich dazu unterschiedliche Technologien zur Leistungsoptimierung unter unverschatteten sowie verschatteten Bedingungen. Dieses Whitepaper fasst die Ergebnisse der Studie zusammen und erklärt die Auswirkungen auf die Teilbereiche:

- Anlagenleistung und Energieertrag über die gesamte Anlagenlebensdauer
- Anlagenzuverlässigkeit und Wartungsaufwand
- Brandschutz und Sicherheit für den Installateur

Das Whitepaper zeigt außerdem wichtige Unterschiede im Umgang mit den Themen Sicherheit und Abschaltung von PV-Anlagen in den Märkten Nordamerika und Europa auf. Leser erfahren alles über die Vorteile der intelligenten Software SMA ShadeFix.

Leistungsoptimierung in der Praxis

Für Betreiber von Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen) steht die Wirtschaftlichkeit ihrer Investition meist an erster Stelle. Finanzielle Erträge müssen möglichst kalkulierbar sein. Dabei spielen die tatsächliche Anlagenleistung sowie der Energieertrag über die gesamte Anlagenlebensdauer eine wichtige Rolle.

Es liegt daher in der Natur der Sache, dass Photovoltaik-Anlagen sinnvollerweise dort installiert werden, wo sie möglichst viel Energie aus Sonnenlicht produzieren können. Nicht immer lässt sich jedoch vermeiden, dass Dachgauben, Schornsteine oder Bäume die Solarmodule vorübergehend verschatten. Auch wenn man aus Schatten nun mal kein Licht machen kann, **so gibt es doch technische Möglichkeiten, die Leistung der Solarmodule sowohl in unverschatteten als auch in verschatteten Situationen zu maximieren.**

Die Lösungen dazu unterscheiden sich je nach Hersteller und Region. In den USA werden bei Hausdachanlagen bis heute meist zusätzliche Komponenten installiert, um die Stromerzeugung auf Modulebene zu optimieren. Diese sogenannten Moduloptimierer bieten zwar einige Vorteile gegenüber dem gängigen MPP-Tracking (Maximum Power Point) herkömmlicher String-Wechselrichter, zusätzliche Komponenten in der Photovoltaik-Anlage bergen jedoch auch immer Risiken. SMA setzt deshalb bei der Ertragsoptimierung auf moderne Lösungen, die direkt im Wechselrichter integriert sind. So optimiert die von SMA patentierte Softwarefunktion ShadeFix nachweislich die Energieerträge und reduziert gleichzeitig sowohl die Komponentenanzahl als auch die Komplexität einer PV-Anlage (siehe Studienergebnisse unten). Die Vorteile liegen auf der Hand:

- Mehr Energieertrag über die gesamte Anlagenlebensdauer
- Höhere Anlagenzuverlässigkeit
- Niedrigere statistische Ausfallrate

Ertragsoptimierung auf Modulebene

Moduloptimierer sollen die Energieverluste in einzelnen Solarmodulen reduzieren. Dazu wird unter jedem Solarmodul ein zusätzliches elektronisches Gerät installiert. Diese Geräte bezeichnet man als DC-Optimierer oder **Module-Level Power Electronics (MLPEs)**. Über einen Gleichspannungswandler können die Optimierer Ausgangsstrom und -spannung eines Solarmoduls beeinflussen. Insbesondere bei sehr stark verschatteten Solarmodulen kann das den Energieertrag der PV-Anlage optimieren. Allerdings wirken sich die **dafür notwendigen komplexen elektronischen Schaltungen im Verlauf der Zeit nachteilig aus, da ihr Dauerbetrieb den Eigenverbrauch der Anlage erhöht.** Gleichwohl sind Installation, Inbetriebnahme, Wartung, Service sowie ein möglicher Austausch der zusätzlichen Elektronik für den Installateur besonders herausfordernd und bergen zusätzliche Gefahren.

MEHR ERTRAG MIT WENIGER KOMPONENTENTEN

SMA hat deshalb mit SMA ShadeFix eine Lösung zur Ertragsoptimierung entwickelt, mit der sich die negativen Auswirkungen der Verschattung minimieren und der Energieertrag gleichzeitig erhöhen lässt. Diese softwarebasierte Lösung ist direkt im Wechselrichter integriert und reduziert daher die Anzahl der nötigen Systemkomponenten sowie den Installations- und zusätzlichen Service-Aufwand wesentlich. **Aber welche Rolle spielt überhaupt die Anzahl der Komponenten in einer PV-Anlage?**

Je komplexer ein System ist, desto höher ist seine Ausfallrate. Oder umgekehrt: **Weniger Komponenten verringern die Komplexität der Anlage und damit deren Ausfallrate.** Genau deshalb setzt SMA mit ShadeFix auf ein integriertes Optimierungsmodell, das ohne zusätzliche Komponenten auskommt. Dadurch erhöht es die Energieerträge über die gesamte Anlagenlebensdauer besonders zuverlässig.

Lussers Gesetz

Lussers Gesetz ist ein Begriff der Systemtechnik. Damit lassen sich Aussagen über die Zuverlässigkeit eines Systems aus mehreren Komponenten treffen. Es besagt, dass die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems so groß ist wie das Produkt der Zuverlässigkeiten der einzelnen Komponenten. Lussers Gesetz wird oft so beschrieben: Ein in Reihe geschaltetes System ist schwächer als sein schwächstes Glied, da das Produkt der Zuverlässigkeiten einer Reihe von Komponenten niedriger sein kann als der niedrigste Wert eines Einzelbauteils.

Folgende Gleichung veranschaulicht das Prinzip: $R_s = 0,90 \times 0,80 = 0,72$

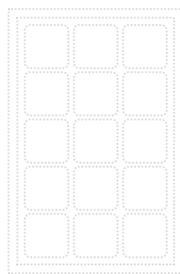
(Systemzuverlässigkeit = Zuverlässigkeit von Komponente 1 \times Zuverlässigkeit von Komponente 2)

Nimmt man an, dass alle Komponenten eine gleiche Zuverlässigkeit von 0,99 aufweisen, ergibt sich eine Systemzuverlässigkeit von:

- 1 Komponente: $R_s = 0,99$
- 2 Komponenten: $R_s = 0,99 \times 0,99 = 0,98$
- 10 Komponenten: $R_s = 0,99^{10} = 0,90$
- 100 Komponenten: $R_s = 0,99^{100} = 0,37$

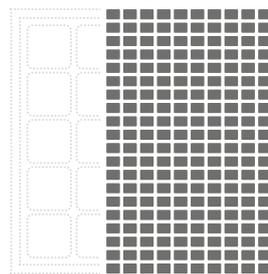
BEISPIELANLAGE

ca. **2.000**
Komponenten



SUNNY TRIPOWER CORE1

ca. **60.000**
Komponenten



200 MODULOPTIMIERER
(1 OPTIMIERER PRO MODUL)



WECHSELRICHTER

VERGLEICHSTUDIE ZU DEN OPTIMIERUNGSKONZEPTEN

Die University of Southern Denmark hat im Jahr 2019 Optimierungslösungen verschiedener Hersteller getestet. Dabei verglichen die Wissenschaftler zwei Lösungen mit DC-Optimierern auf Modulebene mit der von SMA patentierten String-Level-Lösung SMA ShadeFix. Die Ergebnisse der Studie: SMA ShadeFix optimiert die Erträge in der Mehrheit aller PV-Anwendungen besser.

1. Anlagen ohne Verschattung

Unter unverschatteten Bedingungen war eine Optimierung mit SMA ShadeFix immer erfolgreicher als die Optimierung auf Modulebene.

2. Anlagen mit geringer bis mäßiger Verschattung

Bei leichter bis mäßiger Verschattung war eine Optimierung mit SMA ShadeFix immer erfolgreicher als die Optimierung auf Modulebene. Dafür simulierten die Wissenschaftler Schattenwurf durch Äste, Schornsteine, Entlüftungsöffnungen und Dachgauben. Hier benötigten die DC-Optimierer für ihren Betrieb mehr Energie als sie zusätzlich generieren konnten.

3. Anlagen bei bedecktem Himmel

An bewölkten Tagen ohne Schattenwurf war die Optimierung mit SMA ShadeFix erfolgreicher als die Optimierung auf Modulebene. Auch hier benötigten die DC-Optimierer für ihren Betrieb mehr Energie als sie zusätzlich generieren konnten.

4. Anlagen mit starker Verschattung

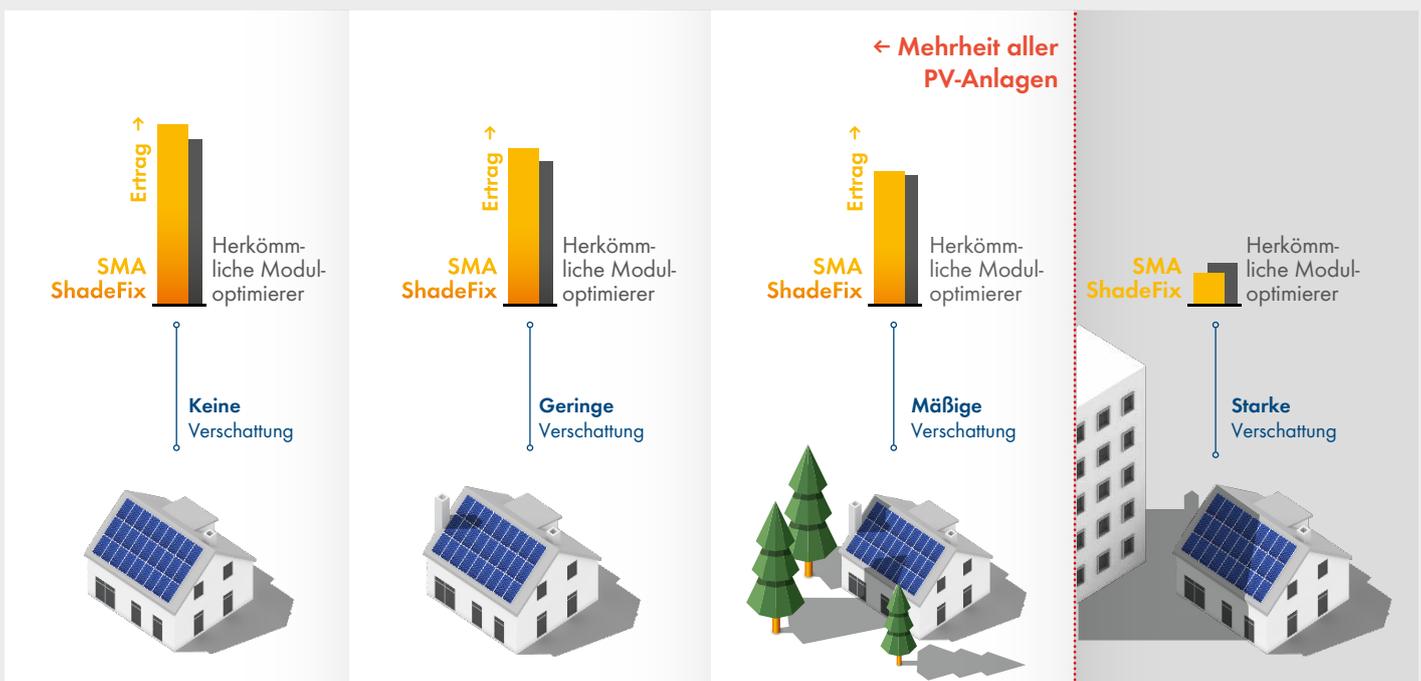
Optimierer auf Modulebene erhöhten nur dann den Ertrag, wenn PV-Module des gleichen Strings den gesamten Tag über stark unterschiedlicher Sonneneinstrahlung ausgesetzt waren. Dazu zählten vollständig und dauerhaft verschattete Situationen, unterschiedliche Ausrichtungen innerhalb eines Strings und sonstige wesentliche Unterschiede zwischen den PV-Modulen.

Solche Szenarien sind allerdings häufig die Folgen eines schlechten Anlagendesigns.

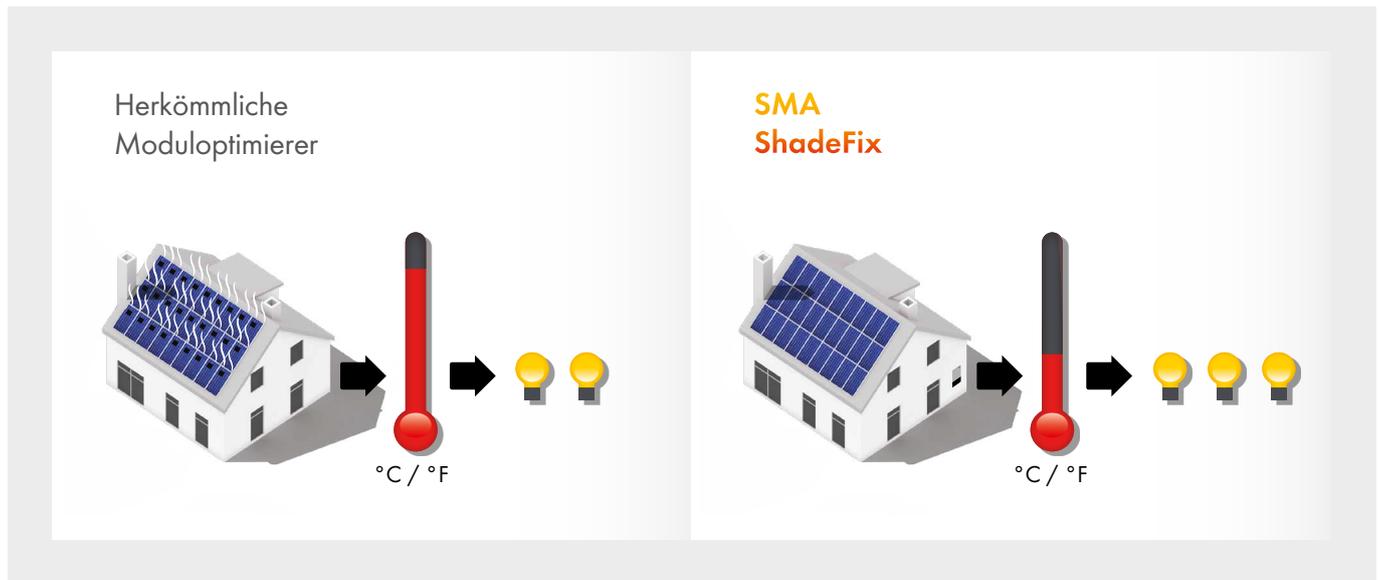
» Optimierer auf Modulebene erzielen aufgrund des Eigenverbrauchs im Dauerbetrieb im Vergleich zur Optimierungslösung SMA ShadeFix insgesamt geringere Energieerträge.

» Anlagen mit Optimierern auf Modulebene weisen aufgrund der sehr hohen Komponentenanzahl ein relativ hohes Ausfallrisiko auf. Auch wenn die Studie Leistungsverluste aufgrund erwarteter Ausfälle nicht separat abbildet, ist ein negativer Einfluss auf den Energieertrag über die Anlagenlebensdauer wahrscheinlich.

Die Studie kommt zu dem Schluss, dass die Optimierung mit SMA ShadeFix in den meisten PV-Anlagen erfolgreicher ist als eine Lösung mit Moduloptimierern – bezogen auf den Energieertrag im Jahresverlauf und die gesamte Anlagenlebensdauer.



STROMERZEUGUNG, ZUVERLÄSSIGKEIT UND SERVICEKOSTEN ÜBER DIE GESAMTE LEBENSDAUER



Neben der höheren Stromerzeugung weist die Studie einen weiteren wichtigen Vorteil für PV-Anlagen mit SMA ShadeFix aus: **Deutlich weniger benötigte Komponenten.**

Dazu ein Fallbeispiel: Eine typische gewerbliche Anlage mit einer Leistung von 50 Kilowatt (kW) besteht mit der SMA Systemlösung aus insgesamt rund 2.000 Elektronikbauteilen. Diese befinden sich alle im wetterfesten Gehäuse des Wechselrichters und können daher einfach gewartet oder ausgetauscht werden.

Bei einem Einsatz von Moduloptimierern würde diese Anlage aus insgesamt mehr

als 60.000 Elektronikbauteilen bestehen. Die Elektronik befindet sich überwiegend in Gehäusen direkt unter den einzelnen PV-Modulen und ist dort in der Regel hohen Feuchtigkeits- und Temperaturschwankungen ausgesetzt. Hier bedarf es zusätzlicher Schutzmaßnahmen vor Witterungs- sowie sonstigen schädlichen Einflüssen.

Fällt in einer PV-Anlage eine Komponente aus, erfordert dies meist einen Vor-Ort-Einsatz durch das Service-Personal. Sind in der Anlage Moduloptimierer verbaut, benötigt der Fachmann neben einem entsprechend abgesicherten Zugang zum Dach auch ausreichend Platz, um mechanische Befestigungen, elektrische Verbindungen,

PV-Module und Halterungen entfernen und anschließend wieder korrekt installieren zu können. Dafür ist er oft mehrere Stunden auf dem Dach im Einsatz.

Zusätzliche Komponenten und Steckverbinder bergen gleichzeitig ein größeres Ausfall- und Brandrisiko etwa durch fehleranfällige Baugruppen. Der erhöhte Servicebedarf kommt für den Installateur meist unvorhergesehen. Der zusätzliche Aufwand für Terminplanung, Logistik und Arbeitskosten kann sich daher negativ auf sein Tagesgeschäft auswirken.



Automatisches Wechselrichter-Monitoring SMA Smart Connected

Die in vielen SMA Wechselrichtern integrierte Service- und Monitoring-Funktion [SMA Smart Connected](#) optimiert den Energieertrag über die gesamte Anlagenlebensdauer zusätzlich. Fehler werden frühzeitig erkannt und dem Installateur automatisch gemeldet. Zum Vergleich: In PV-Anlagen mit Moduloptimierern ist es allein aufgrund der hohen Anzahl der Systemkomponenten sehr wahrscheinlich, dass einzelne Optimierer ausfallen. Jeder Ausfall geht mit Ertragsverlusten für den Anlagenbetreiber einher. Gleichzeitig ist aber der Einsatz eines Servicetechnikers für den

Austausch einzelner ausgefallener Optimierer ineffizient und teuer. Üblicherweise tauschen Installateure die Moduloptimierer daher nur, wenn mehrere Optimierer in einer Anlage ausgefallen sind. Die Ertragsverluste summieren sich also und wirken sich negativ auf das gesamte Anlagenportfolio des Installateurs aus. Hinzu kommt ein weiteres Problem: Der Austausch von Moduloptimierern erfordert in der Regel abwärtskompatible Ersatzteile. Da die bekannten Hersteller ihre proprietären Technologien jedoch regelmäßig überarbeiten, sind Kompatibilitätsprobleme mit älteren Modellen vorprogrammiert.

Mit SMA ShadeFix benötigt die Anlage keine zusätzlichen Komponenten und damit auch keine zusätzliche Energie. Das wiederum steigert den Energieertrag über die gesamte Anlagenlebensdauer. Die automatische Überwachung des Wechselrichters mit SMA Smart Connected gibt dem Installateur bei Fehlern proaktiv Handlungsempfehlungen oder fordert bei Bedarf automatisch Ersatzgeräte an. Der Installateur spart wertvolle Arbeitszeit und der Anlagenbetreiber profitiert von reduzierten Ertragsverlusten.

SMA Smart
Connected reduziert
Vor-Ort-Einsätze um
die Hälfte



WELTWEITE UNTERSCHIEDE IN DEN TECHNISCHEN VORSCHRIFTEN



Zusätzlich zur Leistungsoptimierung wird oft damit argumentiert, dass MLPE auch Abschalt- oder Sicherheitsfunktionen auf Modulebene bietet. **Die Notwendigkeit solcher Zusatzfunktionen ist jedoch nicht einheitlich geregelt, und ihr Nutzen wird insbesondere bezüglich der Sicherheit und des Brandrisikos sowie der Leistung und Zuverlässigkeit von PV-Anlagen weltweit kontrovers diskutiert.** Dabei sollte es insbesondere auch um eine sichere Arbeitsumgebung für alle an einer PV-Anlage arbeitenden Personen gehen.

In der Regel dreht sich die Diskussion um den Einsatz von MLPE zur Abschaltung auf Modulebene (Rapid Shutdown) jedoch häufig ausschließlich um die Sicherheit von Einsatzkräften wie der Feuerwehr vor Ort. Dabei ist die maximale Sicherheit gerade auch für den Installateur entscheidend. Die Rapid Shutdown Regelung der USA und die damit verbundene Begrenzung der Spannung auf 80 Volt kann zu einer falschen Einschätzung der Sicherheitslage führen. Denn erstens ist die Spannung an den Solarmodulen damit immer noch gefährlich hoch und zweitens ist nicht sicher-

Die **SunSpec Alliance** ist ein Industrieverband von mehr als 100 Unternehmen der Solar- und Speicherbranche aus Nordamerika, Europa und Asien. Ihr Ziel sind einheitliche Normen für die Interoperabilität von „Plug-&Play“-Systemen.



gestellt, dass das Rapid Shutdown nach 20 Jahren im Betrieb auf dem Dach oder im Brandfall überhaupt noch zuverlässig funktioniert.

Gleichzeitig erhöht eine höhere Anzahl an Komponenten, insbesondere der Steckverbinder, das Brandrisiko an der Anlage.

Außerdem lassen die Abschalt- und Sicherheitsfunktionen auf Modulebene bisher völlig außer Acht, dass sich die Arbeitszeit der Installateure auf dem Dach dadurch wesentlich erhöht und so auch ihr Unfallrisiko etwas durch einen Sturz vom Dach steigt (siehe dazu auch „Diskussionen zum Thema Sicherheit“ unten).



Die Herausforderung ist also eine Lösung, die einerseits maximale Sicherheitsanforderungen im Arbeitsumfeld der PV-Anlage erfüllt, und dem Betreiber andererseits über die gesamte Anlagenlebensdauer einen möglichst hohen Energieertrag ermöglicht. **SMA setzt deshalb in Märkten wie den USA, in denen eine Abschaltfunktion auf Modulebene Pflicht ist, auf den SunSpec Rapid Shutdown Signal-Standard und damit auf Geräte und Komponenten, die nach dem SunSpec Rapid Shutdown Standard zertifiziert sind. (siehe Kasten SunSpec Alliance). Der Vorteil: Sie benötigen keinen Spannungswandler auf Modulebene, wodurch sich die Anzahl der elektronischen Komponenten auf dem Dach um mehr als 50 Prozent reduziert. Das wiederum minimiert die Risiken für Einsatzkräfte und Installateure vor Ort.**

Wie funktioniert SunSpec Rapid Shutdown?

Das SunSpec Rapid Shutdown Signal ist ein einfaches Rundsteuersignal, das vom Wechselrichter über die vorhandenen DC-

Leitungen des PV-Systems ausgesendet wird. Die dazugehörigen Empfänger an den PV-Modulen bestehen aus kompakten elektronischen Schaltungen, die die Spannung im PV-Generator entsprechend den geltenden US-Vorschriften innerhalb von 30 Sekunden auf maximal 80 Volt begrenzen, sobald das Rundsteuersignal ausfällt. Der Clou: Der SunSpec-Empfänger befindet sich unter normalen Umständen im Standby-Betrieb ohne nennenswerten Energieverbrauch. Im Gegensatz dazu ist der Spannungswandler in einem Moduloptimierer ständig aktiv und produziert dabei Verlustleistung in Form von Wärme, die wiederum zur vorzeitigen Alterung der elektronischen Komponenten beiträgt. Weitere Vorteile der SunSpec-Empfänger: Sie können bereits am Boden vorinstalliert werden, was die Installationszeit auf dem Dach reduziert. Geräte, die über das SunSpec-Signal kommunizieren sind interoperabel und lassen sich durch SunSpec-kompatible Angebote anderer Hersteller ersetzen.

Warum gibt es bisher keine einheitlichen Regelungen?

DISKUSSION ZUM THEMA SICHERHEIT

Es gibt drei wesentliche Gründe, warum die Abschaltung auf Modulebene in großen Teilen der Welt nicht vorgeschrieben ist. Insbesondere außerhalb der USA wird der Einsatz von Moduloptimierern oft kritisch gesehen, weil sie ein Unfallrisiko für die Installateure darstellen, ein falsches Sicherheitsgefühl vermitteln sowie die Brandgefahr der PV-Anlage erhöhen.

1. Erhöhtes Risiko für Installateure

Die in den USA geltende Vorschrift, die Einsatzkräfte durch den Einsatz von MLPE vor Stromschlägen schützen soll, erhöht umgekehrt das Risiko für die Installateure.

Denn bei der Installation von MLPE zur Abschaltung auf Modulebene müssen Installateure mehr Zeit auf dem Dach verbringen. Dadurch sind sie einem erhöhten Absturzrisiko ausgesetzt. Laut Zahlen der OSHA (OSHA ist die Bezeichnung für „Occupational Safety and Health Administration“, einer US-Behörde, die u. a. Zahlen zu Arbeitsunfällen zur Verfügung stellt) aus dem Jahr 2018 waren „Stürze die Hauptursache für Todesfälle von Arbeitern im privaten Sektor der Bauindustrie, gefolgt von Erschlagen durch Gegenstände, Stromschlag und Einklemmung“. Auf Stürze entfielen insgesamt 33,5 % aller Todesfälle im Baugewerbe.

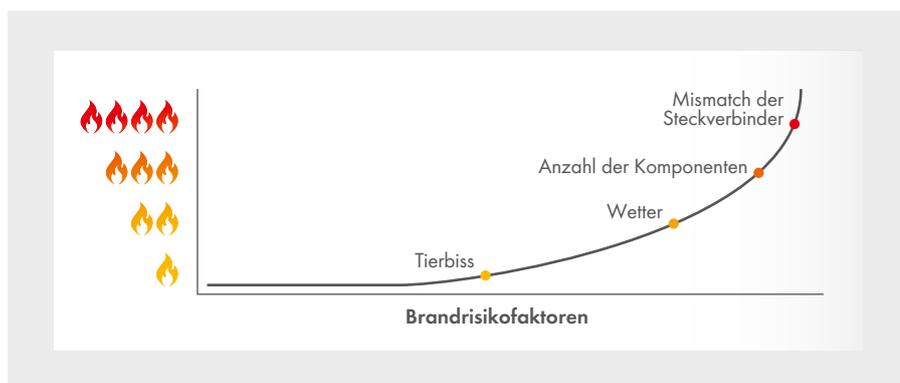
2. Falsches Sicherheitsgefühl

Einsatzkräfte und Installateure könnten annehmen, dass die Anlage durch die Funktion Rapid Shutdown spannungsfrei ist. Da jedoch weiterhin gefährliche bis zu 80 Volt anliegen können, kann das mindestens zu Erschrecken und schlimmstenfalls zu einer Überreaktion und Absturz vom Dach führen.

Außerdem kann die Zuverlässigkeit der Rapid Shutdown Funktion im Brandfall durch den Brand selbst (oder auch durch Alterungsprozesse) beeinträchtigt sein oder schlichtweg nicht mehr funktionieren. In der Praxis sollte sich daher niemand für Arbeiten an der Anlage o. ä. ausschließlich auf das Rapid Shutdown verlassen.

3. Erhöhte Brandgefahr

Jede zusätzliche Komponente – insbesondere zusätzliche Steckverbinder – auf dem Dach erhöht die potenzielle Brandgefahr und damit auch das Gefahrenpotenzial für die Einsatzkräfte. Auch das konterkariert den eigentlichen Sinn und Zweck der MLPE. Denn Einsatzkräfte müssen dann unter Umständen Brände löschen, die ohne die zusätzlichen Komponenten gar nicht erst entstanden wären.



BRANDRISIKEN AN PV-ANLAGEN: STUDIE VON TÜV RHEINLAND UND FRAUNHOFER ISE

[In einer gemeinsamen Studie haben die technische Prüforgansation TÜV Rheinland und das renommierte Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme das Brandrisiko in PV-Anlagen untersucht und daraus Sicherheitskonzepte zur Risikominimierung bei der Brandbekämpfung an PV-Anlagen abgeleitet.](#)

In der Studie heißt es: „Häufig werden in den DC-Teil von PV-Anlagen Sicherheitskomponenten wie Sicherungen oder Schalter integriert. Dabei sollte man im Einzelfall

stets prüfen, ob diese Maßnahme wirklich sinnvoll ist. Jede zusätzliche Komponente birgt in sich das Risiko zusätzlicher Kontaktstellen und anderer Fehlerquellen. Eine „schlanke“ Anlage mit möglichst wenigen Komponenten besitzt den Vorteil, dass es weniger Punkte gibt, an denen die Anlage Schaden nehmen kann.“ (Sepanski et al., 2015, Seite 206).

Solarmodule verfügen üblicherweise über zwei DC-Steckverbinder. Für jedes hinzugefügte MLPE-Gerät werden vier zu-

sätzliche Steckverbinder benötigt. Diese Verdreifachung der Kontaktstellen erhöht das Ausfall- und Brandrisiko. Zu den potenziellen Gefahrenquellen zählen unter anderem fehlerhaft montierte Steckverbinder, gelockerte Steckverbindungen, nicht zueinander passende Steckverbinder unterschiedlicher Hersteller (sogenanntes „mismatching“), Witterungseinflüsse sowie Kabelschäden durch Tierverschleiß.

FALLBEISPIEL WALMART VERKLAGT TESLA

In den USA zeigte ein aufsehenerregender Streit zwischen dem Einzelhandelsriesen Walmart und dem Solarsystem-Hersteller Tesla, wie brisant das Thema in der Praxis ist. Im Mittelpunkt standen dachinstallierte elektrische Steckverbinder, die nach Ansicht von Walmart zu mehreren Bränden auf einzelnen Dächern des Unternehmens geführt hatten. Walmart verklagte Tesla daraufhin wegen grober Fahrlässigkeit und forderte, die PV-Anlagen von seinen 240 Filialen wieder zu entfernen. Über diesen Fall wurde in den [Medien](#) ausführlich berichtet.

Der Fall wurde außergerichtlich beigelegt, die beteiligten Parteien wiesen alle Schuld von sich. Und doch verdeutlicht dieser Rechtsstreit, wie wichtig es ist, die Zahl der dachmontierten Komponenten mit Steckverbindern zu reduzieren: Je weniger Verbindungen, Kabel und Elektrobauteile auf dem Dach installiert sind, desto geringer ist das Ausfall- oder Brandrisiko.

Während die internationalen Märkte dieses Thema nach wie vor sehr unterschiedlich angehen, gibt es doch eine Konstante: SMA Wechselrichter erfüllen stets alle gesetzlich vorgeschriebenen Sicherheitsfunktionen, maximieren dank SMA ShadeFix die

Energieerträge über die gesamte Anlagenlebensdauer und reduzieren so das Risiko für Installateure und Betreiber.



MODERNE LEISTUNGSOPTIMIERUNG

Die Optimierung auf Modulebene konnte Probleme an PV-Anlagen der ersten Generation erfolgreich lösen. Mit modernen Lösungen wie SMA ShadeFix kann die Technologie jedoch nicht Schritt halten. SMA ShadeFix begegnet bestehenden Herausforderungen am Markt mit einer intelligenten und integrierten Software direkt im Wechselrichter. Davon profitieren Anlagenbetreiber, Installateure und Einsatzkräfte vor Ort. PV-Anlagen mit SMA ShadeFix erzielen so die höchsten Energieerträge in den meisten Situationen und über die gesamte Anlagenlebensdauer. Und sie sorgen für mehr Sicherheit vor Ort.

Ausführliche Informationen zu SMA ShadeFix und den zertifizierten SunSpec Shutdown-Geräten erhalten Sie unter www.SMA.de, www.SMA-America.com oder bei Ihrer SMA Niederlassung vor Ort.

Quellenverzeichnis

Assoc. Prof. Wulf-Toke Franke, [The Impact of Optimizers for PV-Modules](#), Wissenschaftliche Studie, University of Southern Denmark, Mai 2019

Sepanski et al, ["Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung"](#), TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, 2018.

Occupational Health and Safety Administration www.osha.gov



SMA Solar Technology AG
Sonnenallee 1
34266 Niestetal
Phone: +49 561 9522-0
Email: Info@SMA.de
www.SMA.de

SOCIAL MEDIA
www.SMA.de/newsroom



 **e modus**

KOMPETENT - PERSÖNLICH - NAH