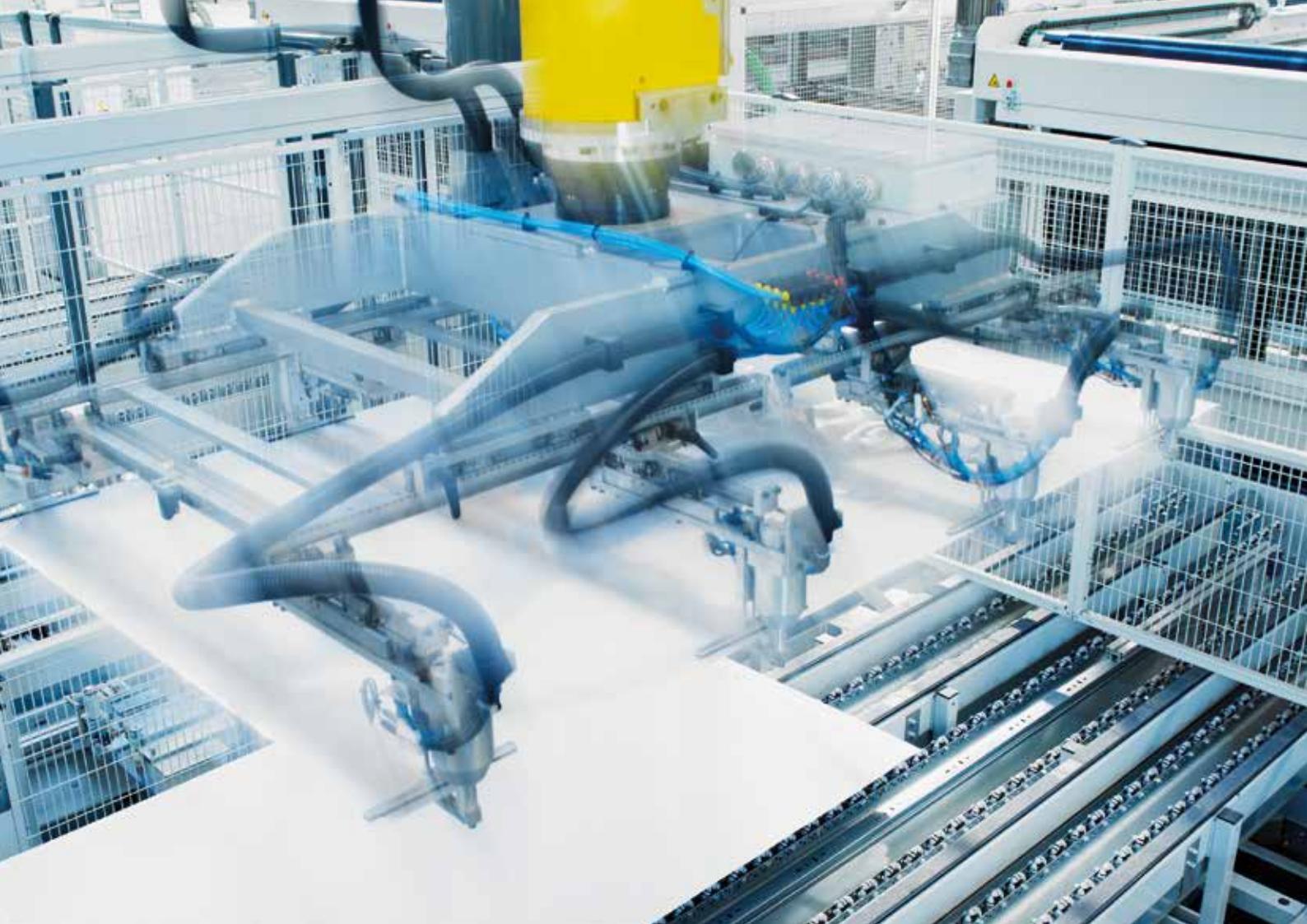


# Zell- technik erklärt Solarmodule





# Funktionsweise und Aufbau einer Solarzelle

Die grundlegende Funktion einer Solarzelle ist einfach, Sonnenlicht wird in elektrischen Strom umgewandelt. Tiefgründiger lässt sich der Prozess wie folgt erläutern.

Solarzellen bestehen meistens aus mehreren Silizium-Schichten. Silizium ist ein Feststoff mit einer kristallinen Anordnung der kleinsten Teilchen, deshalb spricht man auch von monokristallinen oder polykristallinen Solarmodulen. Die Siliziumschichten werden zusätzlich mit Fremdstoffen wie Phosphor oder Bor gezielt verunreinigt. Dadurch entsteht ein Elektronenüberschuss bzw. -defizit in den unterschiedlichen Schichten.

Sonnenlicht besteht aus Photonen. Wenn Sonnenlicht auf die Zelle trifft übertragen die Photonen Energie auf die Elektronen und aktivieren diese. Sie beginnen sich zwischen den Schichten zu bewegen und die Ladungsunterschiede auszugleichen. Es entsteht eine Spannung

und somit elektrischer Strom. Diesen Prozess nennt man den photoelektrischen Effekt. Dabei kann sich der Zellaufbau je nach Technologie unterscheiden. Die am Markt verbreitesten Technologien sind die P-Type und die N-Type Technologie.

## Solar Fact

Eine Solarzelle besteht außerdem aus mehreren Schichten um das „komplette“ Sonnenlicht aufzufangen.

Denn das Sonnenlicht setzt sich aus Spektralfarben (rot, gelb, grün, blau und lila) zusammen. Diese Farben haben unterschiedliche Wellenlängen. Das bedeutet, wenn das Licht auf die Oberfläche der Zelle auftrifft, erreicht es unterschiedlich tiefe Schichten innerhalb der Zelle.

# Zelltechnologien

## Monokristalline Zellen

In der heutigen Solarindustrie werden fast ausschließlich monokristalline Solarzellen produziert. Sie haben sich in Effizienz, Optik und Funktion stark bewährt und am Markt etabliert. Auch die Solar Fabrik verwendet ausschließlich monokristalline Solarzellen. Kombiniert werden monokristalline Zellen mit weiteren Technologien, wie P-Type, N-Type und der bifazialen Zelle. Monokristallin bedeutet, dass die Zelle aus einem einzigen Siliziumkristall hergestellt wird. Hier liegt der Unterschied zu polykristallinen Solarzellen, die aus mehreren Siliziumkristallen hergestellt werden.

### Vorteile Monokristallin

Monokristalline Solarzellen besitzen aufgrund der Zellstruktur einen hohen Wirkungsgrad. Das bedeutet, sie können im Verhältnis zum einstrahlenden Sonnenlicht mehr Sonnenenergie in elektrische Energie umwandeln als andere Zellen.

Außerdem sind monokristalline Solarzellen sehr langlebig und robust, da sie aus einem Kristall gefertigt werden haben sie keine Bruchstellen.

Auch bei hohen Temperaturen glänzen monokristalline Solarzellen, denn sie haben auch bei erhöhten Temperaturen einen geringen Leistungsabfall.

## Bifaziale Zellen

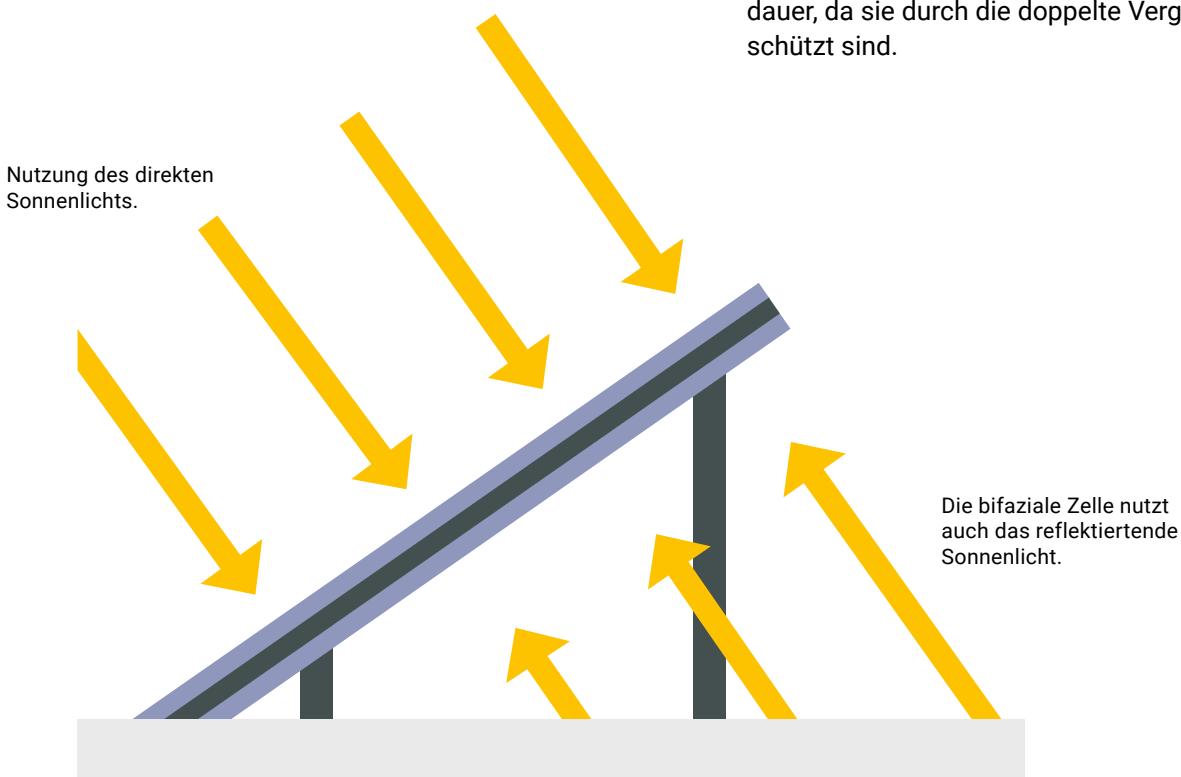
Monokristalline Zellen können gleichzeitig auch bifazial sein. Bifaziale Zellen, auch zweiseitige Zellen nehmen zusätzlich zur direkten Sonnenlichtaufnahme auch reflektiertes Licht an der Zellrückseite auf. Dieses Rückstrahlvermögen nennt man auch Albedo-Effekt. In Kombination mit einem Rückseitenglas statt einer Rückseitenfolie gewinnen bifaziale Zellen immer mehr Zuspruch. Durch die Doppelverglasung auf der Vorder- und Rückseite des Moduls kann Sonnenlicht zwischen den Zellen hindurchscheinen und vom Boden an die Unterseite der Zelle reflektiert werden. Zusätzlich kann auch Licht, welches neben dem Modul auf den Boden auftrifft an der Zellrückseite aufgenommen werden.

### Vorteile Bifazial

Die Technologie ist optimal für Flachdächer und Freiflächenanlagen geeignet, so kann die beidseitige Energiegewinnung optimal genutzt werden. Bei Solar Fabrik Modulen kann so ein bis zu 30% höherer Ertrag generiert werden.

Bifaziale Zellen können auch diffuses Licht und Sonnenlicht am Morgen und am Abend besser aufnehmen. Morgens und Abends ist der Winkel des einfallenden Lichtes flacher, das führt zu einer optimalen Reflexion an die Zellrückseite.

Zusätzlich haben bifaziale Zellen eine verlängerte Lebensdauer, da sie durch die doppelte Verglasung optimal geschützt sind.



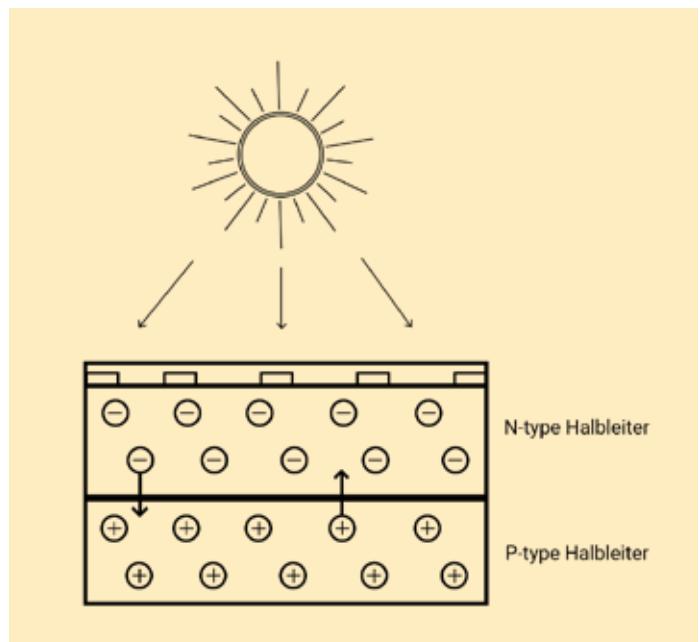
## P-Type Zelle -> PERC

Der Begriff „PERC“ bedeutet Passivated Emitter and Rear Cell. Die Technologie nutzt das Verfahren der Rückseitenpassivierung. Das bedeutet es gibt eine zusätzliche Schicht an der Zellrückseite. Hier wird das durchscheinende Licht teilweise wieder zurück in die Zelle reflektiert und geht somit nicht komplett verloren. Allerdings ist nicht jede Zelle mit P-Type Technologie eine PERC-Zelle. Solar Fabrik P-Type Zellen kombinieren beide Zelleigenschaften.

Eine P-Type Zelle besteht aus zwei Siliziumschichten. Durch das Beifügen der Zusatzstoffe werden die Schichten dotiert. Die Elektronenzahl der Zusatzstoffe bestimmt die Dotierung der Schicht.

Wobei bei einer P-Type Zelle die untere Schicht mit Bor dotiert ist. Da Bor ein Elektron weniger als Silizium besitzt, wird die Schicht positiv dotiert. Daher erhält die Technologie auch ihren Namen, das „P“ steht für positiv.

Die obere Schicht besteht aus reinem Silizium und ist in Kombination mit der positiven Grundschicht, negativ dotiert. Dieser Ladungsunterschied wird bei Lichteinfall durch die Elektronen ausgeglichen und elektrischer Strom entsteht (siehe Funktion Zelle).

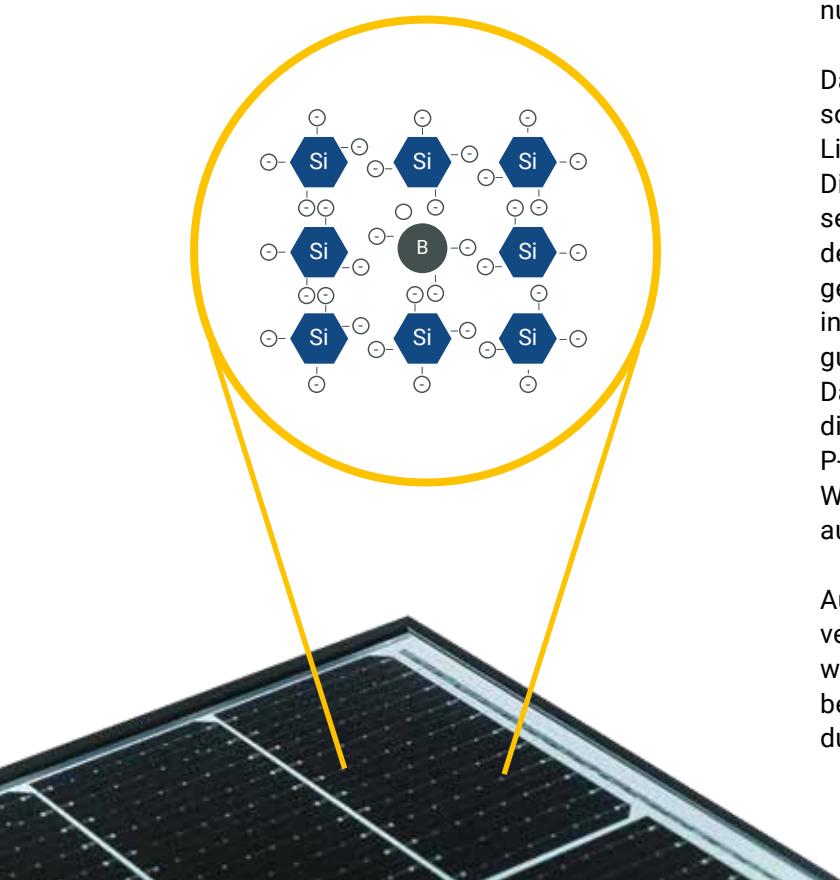


### Vorteile P-Type

Die P-Type PERC Zelltechnologie bietet auch einige Vorteile. Der größte Vorteil besteht darin, dass die Sonnenstunden Morgens und Abends optimal genutzt werden können.

Da Sonnenlicht aus verschiedenen Spektralfarben und somit auch Wellenlängen besteht, kann ein Teil des Lichtes die Zelle passieren ohne Energie zu erzeugen. Die PERC Zelle wirkt diesem Problem durch die Rückseitenfolie entgegen. Rotes Licht hat im Vergleich zu den anderen Spektralfarben eine sehr lange Wellenlänge. Durch die Rückseitenfolie wird das rote Licht wieder in die Zelle reflektiert und kann somit zur Stromerzeugung beitragen. Da morgens und Abends während der Dämmerung oftmals viel rotes Licht vorhanden ist, kann diese Zelltechnologie punkten. Aus diesem Grund ist die P-Type Technologie optimal für Dächer mit einer Ost-West Ausrichtung, so kann das meiste Energiepotenzial ausgeschöpft werden.

Außerdem sind der Herstellungsaufwand und die damit verbundenen Kosten für diese Technologie vergleichsweise geringer. Module mit P-Type Zellen sind daher besonders geeignet für Wohn- und kommerzielle Anwendungen mit begrenztem Budget.

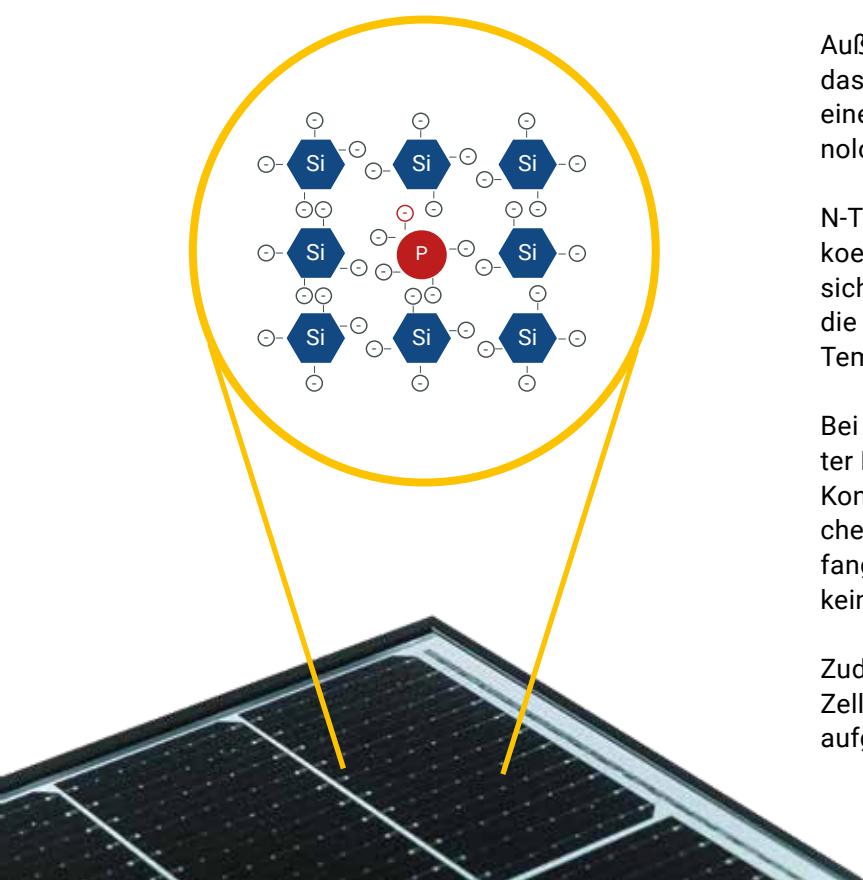
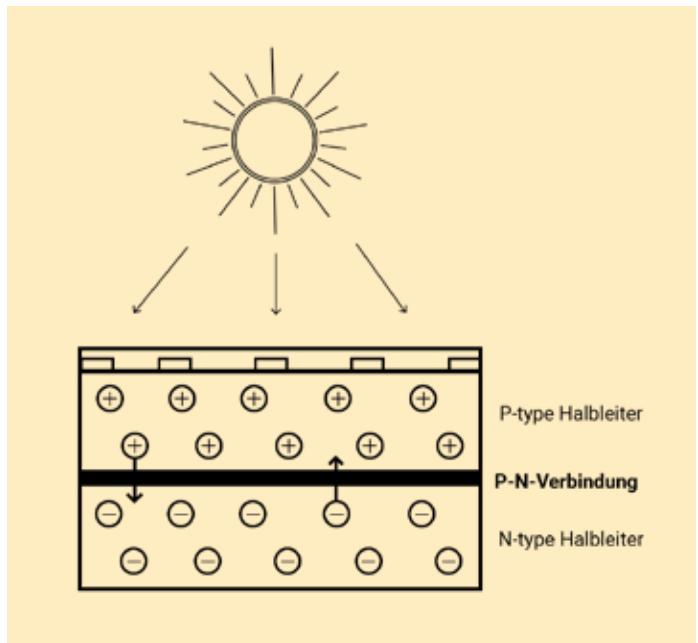


## N-Type Zelle -> TOPCon

Der Begriff „TOPCon“ bedeutet Tunnel Oxide Passivated Contact. Wie der Name beschreibt, stehen die Siliziumschicht nicht in direktem Kontakt mit den Anschlusskontakten. Somit wird die Rekombination der Ladungsträger verhindert, um Leistungseinbußen zu verhindern. Auf der Rückseite der Solarzelle befindet sich eine Tunneloxid- und eine dünne negativ leitende Siliziumoxid Schicht. Diese Schicht passiviert die Oberfläche, ermöglicht aber einen geringen Widerstand für den Stromfluss. Auch hier gilt es zu erwähnen, dass nicht jede Zelle mit N-Type Technologie eine TOPCon-Zelle ist.

Wie die P-Type Zelle besteht auch eine N-Type Zelle aus zwei Siliziumschichten. Der Unterschied besteht bei der Anordnung der Schichten. Bei der N-Type Zelle ist die untere Schicht, durch das Hinzufügen von Phosphor negativ dotiert, da Phosphor ein Elektron mehr als Silizium besitzt.

Die obere Schicht besteht auch hier aus reinem Silizium und übernimmt aufgrund des entstandenen Ladungsunterschieds eine positive Dotierung. Bei Lichteinfall werden die Elektronen aktiviert und bewegen sich zwischen den Schichten. Zwischen den Schichten entsteht eine P-N-Verbindung. Auch hier entsteht elektrischer Strom.



### Vorteile N-Type

Aufgrund der N-Type Schichtanordnung kann außerdem eine Ladungstrennung auf der Rückseite der Zelle erfolgen und somit höhere Wirkungsgrade erzielt werden.

Außerdem entfällt durch die Dotierung mit Phosphor das Risiko eines Bor-Sauerstoff-Komplexes. Es kann eine höhere Trägerlebensdauer als bei der P-Type Technologie garantiert werden.

N-Type Module besitzen einen geringeren Temperaturkoeffizienten. Das heißt, höhere Temperaturen wirken sich geringfügiger auf die Modulleistung aus. Somit sind die Module bestens geeignet für Regionen mit hohen Temperaturen.

Bei P-Type Zellen spricht man häufig von lichtinduzierter Degradation (PID), wenn die Module das erste mal Kontakt mit der Sonne haben. Das passiert durch eine chemische Reaktion in der Zelle und führt zu einer Anfangsdegradation der Leistung. N-Type Module weisen keine Anfälligkeit für PID auf.

Zudem können vorhandene Produktionslinien für PERC Zellen einfach auf die Produktion von TOPCon Zellen aufgerüstet werden.

## Back Contact Zellen

Back Contact Solarmodule haben eine besondere Zellstruktur, bei denen alle Leiterbahnen der Zelle auf der Rückseite kontaktiert sind. Im Gegensatz zu herkömmlichen Modulen, bei denen die Stromleiter (Busbars) auch auf der Vorderseite sichtbar sind.

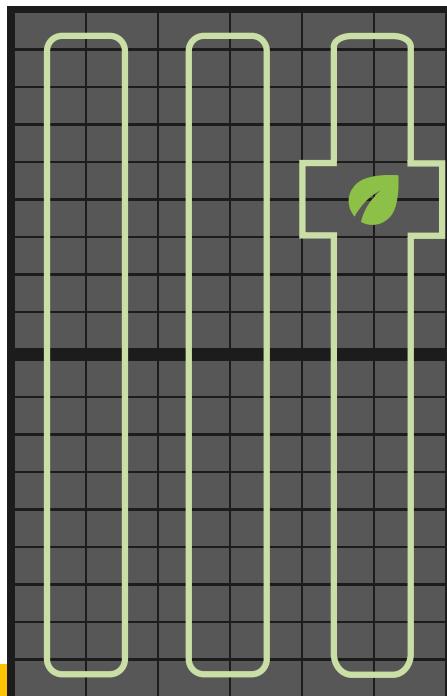
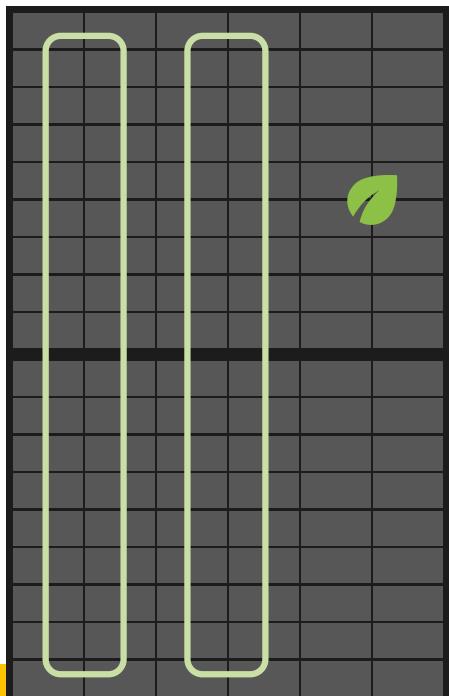
Dadurch wird es möglich, den erzeugten Strom über Kontaktpunkte auf der Rückseite der Zelle abzuführen. Die Vorderseite bleibt dadurch komplett frei von Metalleitungen. Zum einen ermöglicht diese innovative Technologie ein ästhetisches Erscheinungsbild ohne jegliche Störquellen auf der Modulvorderseite. Zum anderen wird eine erhöhte Lichtausbeute ermöglicht. Des Weiteren liegt nach ersten Erkenntnissen eine Verringerung der Degradation vor.

## N-Type TopCon Solarmodul

Bei herkömmlichen Solarmodulen wird bei einer Teilverschattung eine Bypass-Diode aktiviert. Diese überbrückt die betroffene Zellgruppe, um einen Temperaturanstieg innerhalb des Moduls – einen sogenannten Hotspot – zu verhindern. Dabei wird allerdings auch der Stromfluss durch den verschatteten Bereich unterbrochen, was zu Ertragsverlusten führt.

## Mono S4 Halfcut BC Series

Die Back Contact Series von Solar Fabrik verfügt über eine innovative Zellarchitektur mit einer intelligenten bipolaren Passivierungsschicht. Anstatt einzelne Zellgruppen abzuschalten, können die Module den Strom flexibel über alternative Pfade ableiten. Das minimiert Leistungsverluste und verhindert Hotspots ohne den Einsatz von Bypass-Dioden (Anti Shading Technologie).



## Bipolare Zellpassivierung im Detail

Wie der Zellschnitt zeigt, sind hier in der N-Übergangsschicht (2) keine Leiterkanäle eingeplant, die den Strom umleiten können.

Daher gibt es keine Möglichkeit, eine sichere Funktion des Moduls zu gewährleisten, ohne die Bypass-Diode zu aktivieren.

Um diesen Kreislauf zu umgehen, wurde die innovative Back Contact Technologie entwickelt.

Im Gegensatz zur herkömmlichen Frontseitenpassivierung mit Antireflex-Beschichtung (1) wird hier zusätzlich eine bipolare Schichtstruktur eingesetzt, die eine Art Mikrokanal zwischen den N- (2) und P- (3) Übergangsschichten bildet.

Dadurch entsteht eine aktive elektrische Trennung und Steuerung des Stromflusses auf Zellebene – selbst bei teilweiser Verschattung.

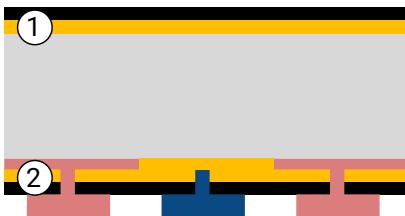


Abb.: Anschnitt herkömmliche Zelle

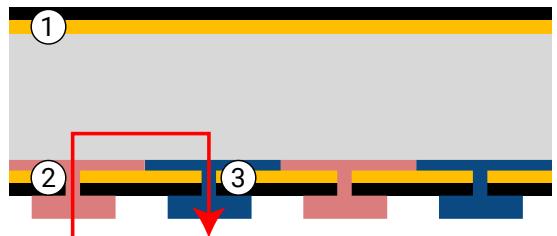


Abb.: Anschnitt BC-Zelle

### Vorteile Back Contact

Aufgrund der vollständig verschattungsfreien Zellvorderseite steht mehr aktive Fläche zur Verfügung. Das bedeutet insgesamt mehr Lichtaufnahme und mehr Energieausbeute.

Back Contact Zellen weisen ein optimiertes Wärmemanagement auf und liefern auch bei höheren Temperaturen stabile Leistung.

Die Rückkontakteierung minimiert außerdem das Risiko von Mikrorissen und Kontaktproblemen auf der Vorderseite. Dadurch werden die Ausfälle reduziert und eine längere Lebensdauer garantiert.

Zusätzlich ermöglicht der Zellaufbau eine optimierte Stromführung. Der Strom fließt auf kürzerem Weg, somit werden die Widerstände reduziert und die elektrische Effizienz erhöht.

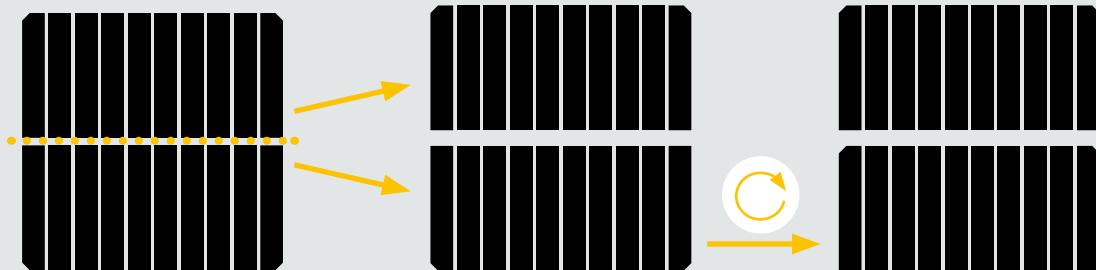
Auch bei diffusem Licht, bedecktem Himmel, zahlt sich die Back Contact Zelle aus. Über die freie Zelloberfläche können mehr Photonen absorbiert und in elektrische Energie umgewandelt werden.



# Solarmodulaufbau

## Halfcut Solarzellen

Durch die Aufteilung der Zellen in zwei Hälften können Module auch bei Verschattung einen kontinuierlichen Stromertrag gewährleisten. Dies führt zu einer insgesamt höheren Leistung und Effizienz von Solarmodulen.



Solarmodule mit halbierten Solarzellen werden als Halbzellenmodule oder Halfcut-Solarmodule bezeichnet. Diese Generation der Solarzellen verfügt über fortschrittliche Eigenschaften.

Das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE) fand heraus, dass Solarmodule mit Halbzellentechnologie durchschnittlich 2 – 3 % mehr Leistung erzielen, als Vollzellenmodule mit der gleichen Eingangszelle. Halbzellenmodule sind somit deutlich leistungsstärker als Module mit herkömmlichen Vollzellen, obwohl sie aus dem gleichen Material bestehen.

Im Gegensatz zur üblichen Vollzelle, verringert sich bei Halbzellen, aufgrund der verminderten Größe, der durchlaufende Strom. Die Teilung der Solarzellen halbiert die Stromstärke pro Solarzelle. Mit einer mathematischen Formel lässt sich der Leistungsverlust von Solarzellen genau berechnen. (Die Leistungsverluste bei einem Halbzellenmodul sinken um den Faktor vier, da sich der Leistungsverlust aus dem Produkt des Leitungswiderstandes und der Stromstärke zum Quadrat berechnet.) Die Formel bestätigt so nachweislich den wesentlichsten Vorteil der Halfcut-Technologie – den geringeren Leistungsverlust im Gegensatz zu Solarvollzellen.

Weniger Leistungsverluste erhöhen den Wirkungsgrad des Solarmoduls und das Modul erzielt höhere Solarerträge.

## Halfcut und Triplecut Zelltechnologie

Die wesentlichen Vorteile auf einen Blick:

- + Geringerer Leistungsverlust
- + Höherer Wirkungsgrad & Füllfaktor
- + Optimiertes Temperaturverhalten
- + Gesteigerter Energieertrag

## Die Formel $P_v = R \times I^2$

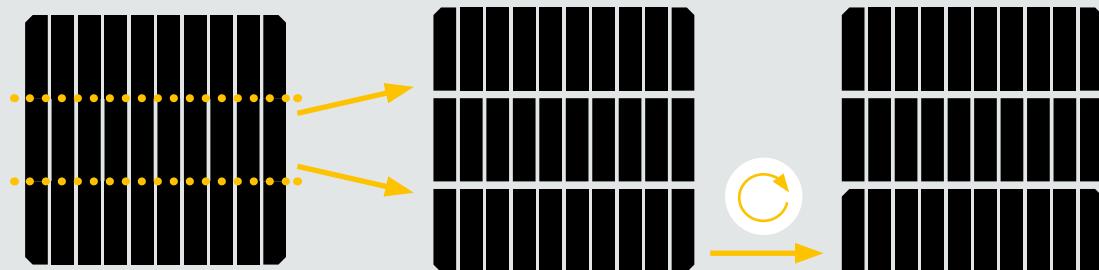
$P_v$  = Verlustleistung

$R$  = Leitungswiderstand in Ohm

$I$  = Stromstärke

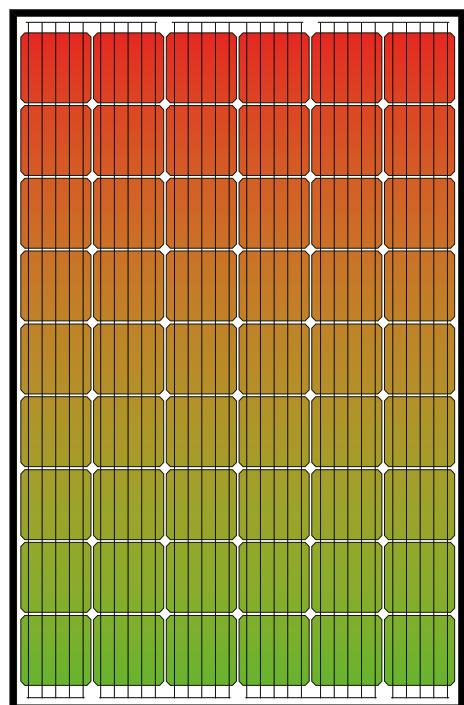
## Triplecut Solarzellen

Die Solarzellen lassen sich auch in drei Teile schneiden. Dadurch ist eine weitere Steigerung der Leistung möglich und auch die Vorteile bei Verschattung steigern sich entsprechend.



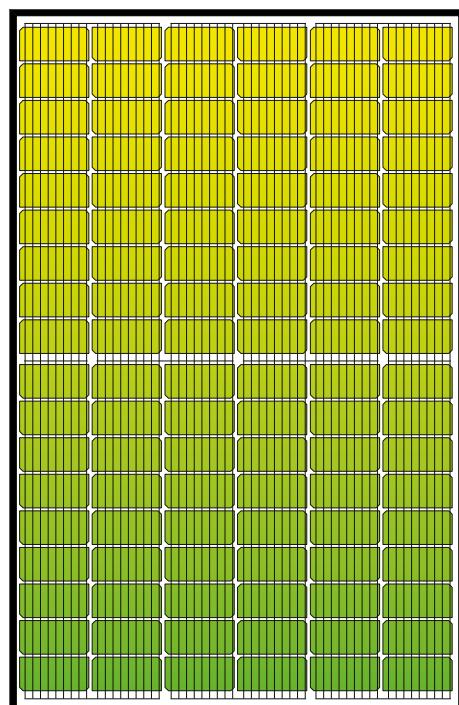
## Temperaturverhalten Solarzelle

Halfcut-Zellen verfügen über ein optimiertes Temperaturverhalten. Der Wärmeverlust am Zellverbinder wird erheblich reduziert, da sie nur die Hälfte des Arbeitsstroms besitzen. Somit sinkt die Betriebstemperatur entsprechend und die Zuverlässigkeit des Moduls wird ebenso verbessert wie der Energieertrag.



## Temperaturverhalten Solarmodul

Die halbierte Stromstärke im Inneren des gesamten Moduls ermöglicht einen besseren Temperaturkoeffizienten. Halbzellen- und Drittzelzenmodule können darum bei hohen Temperaturen, bzw. bei starker Sonneneinstrahlung deutlich bessere Leistungen erzielen.



# Energiefluss

## Zellzwischenräume

Bei Halbzellenmodulen entsteht zusätzlicher Raum zwischen den Zellen. Dieser verstärkt Reflexionen innerhalb des Laminats und erhöht so die Lichtnutzung in der Zelle.



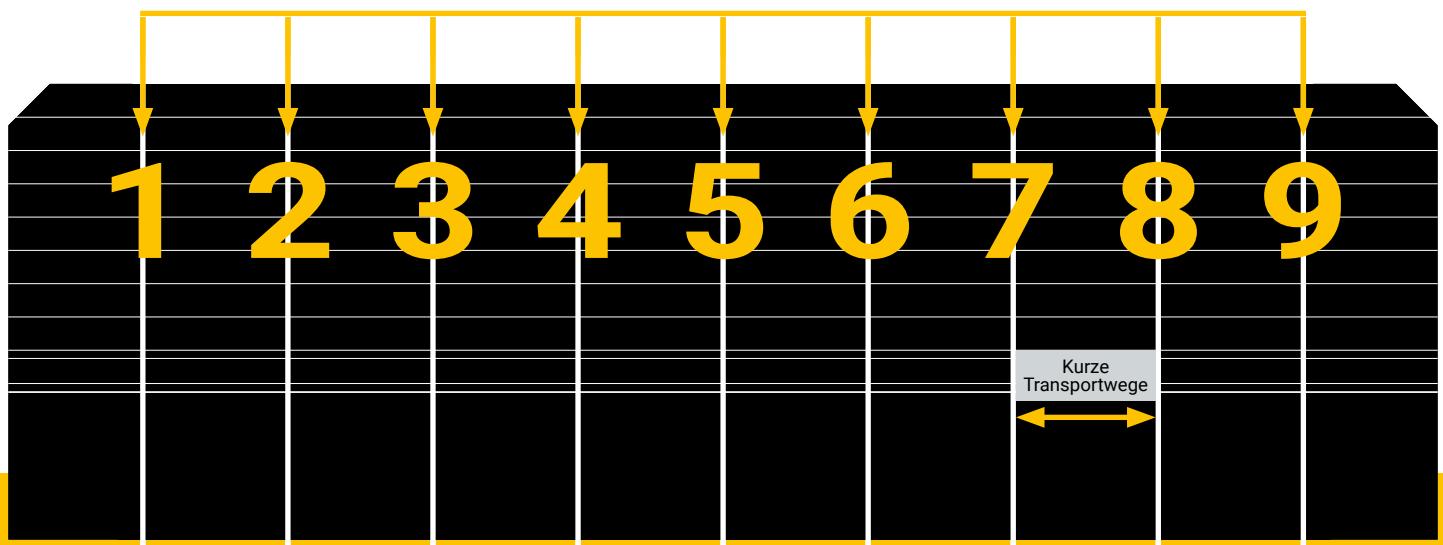
## Multibusbar Technologie

Halfcut-/und Triple-Zellen mit zusätzlicher Multibusbar (MBB) Technologie steigern die Effizienz der Zelle um ein Weiteres. Sie erzielen nochmals 2 – 2,5 % mehr Leistung und bieten maximale Zuverlässigkeit. (MBB bedeutet, dass eine Solarzelle mit 9, 12 oder 16 Busbars anstelle von 4, 5 oder 6 ausgestattet ist.)

Die Leistungssteigerung von Multibusbarzellen wird sowohl durch die „verkürzten Transportwege“ zwischen den

einzelnen Busbars, als auch durch die hochreflektierende, formoptimierte Drahtstruktur erreicht. Das optimierte Drahtdesign verfügt über eine reduzierte Verschattung, verbesserte Lichtstreuung auf die Zelloberfläche und einen geringeren Serienwiderstand.

Außerdem erhöht die feinere Verdrahtung auf der Zelle die mechanische Belastbarkeit und vermindert langfristig die Bildung von Mikrorissen im Material.



# Ertragssteigerung

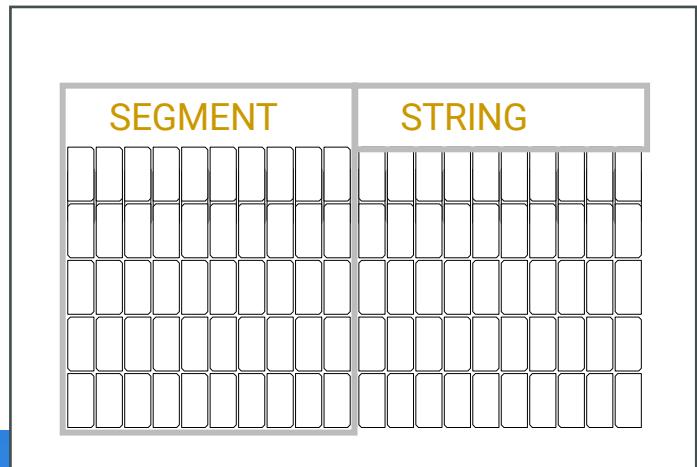
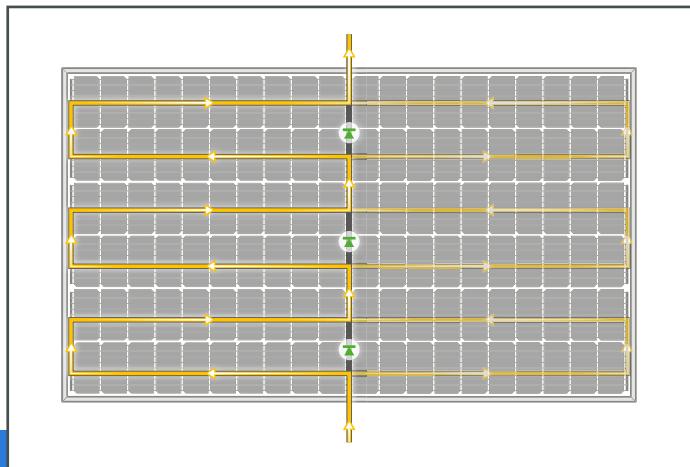
## Durch clevere Bauweise zur Ertragsteigerung bei Schattenwirkung

Halfcut-Solarmodule zeichnen sich nicht nur durch die Verwendung von fortschrittlichen Halbzellen aus. Ein weiteres prägnantes Merkmal ist die getrennte Verschaltung der einzelnen Halbzellen in zwei separate Stromlaufpfade. Hierfür werden die Halbzellen eines Segments in sechs Strings in Reihe verschaltet. Die beiden Segmente werden dann mittig per Parallelschaltung miteinander verbunden.

Diese Konstruktionsweise hat den besonderen Vorteil, dass sich das Verschattungsverhalten grundlegend verändert. Photovoltaikmodule mit regulärer Vollzellenverschaltung produzieren schon bei geringer Verschattung einiger Solarzellen keinen Strom mehr! Halbzellenmodule hingegen

können dennoch Strom produzieren. Die unverschattete Hälfte des Moduls erzielt aufgrund der cleveren Bauweise weiterhin Erträge. Bei Hochkantinstallation ist somit selbst bei Teilverschattung am Morgen oder Abend immer noch eine verbleibende Leistung von 50 % zu erwarten.

Die 50%ige Mehrleistung, bei Teilverschattung, wird ermöglicht durch die zwei voneinander unabhängigen Stromlaufpfade. Diese sind in der Mitte des Moduls durch Freilauf-/bzw. Bypassdioden effizient verschaltet.

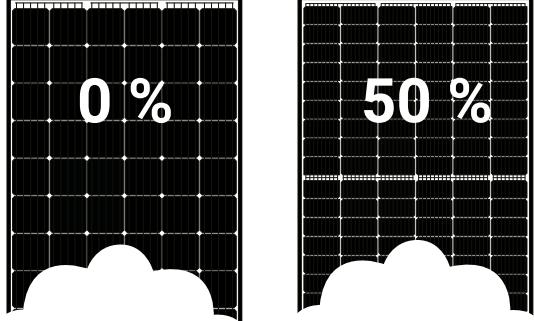


# Viele Vorteile

## Cut-Technologie Modulbauweise

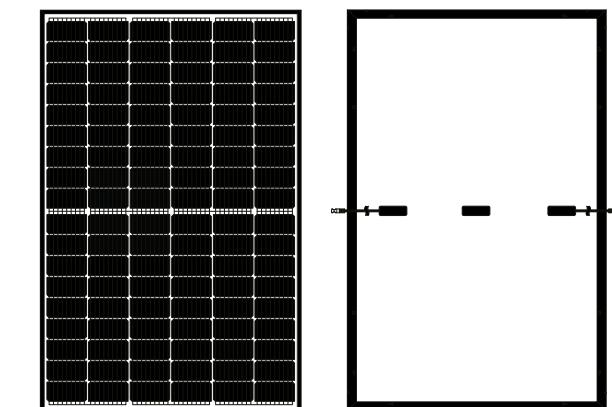
Die wesentlichen Vorteile auf einen Blick:

- + 50% mehr Ertragsleistung bei Teilverschattung des PV-Moduls
- + 3-teilige Anschlussdose mit optimiertem Temperaturverhalten bei Energieübertragung
- + Reduzierte Hotspot-Temperaturen
- + Gesteigerte Zuverlässigkeit
- + Gesteigerter Energieertrag



## Modulanschluss

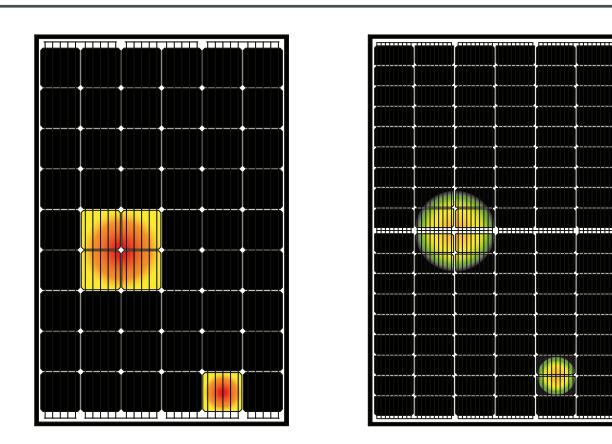
Eine 3-teilige Anschlussdose auf der Rückseite des Moduls führt die gewonnene Energie ab. Die mehrteilige Komponente überträgt weniger Wärme auf die darunterliegenden Zellen, als einteilige Anschlussdosen.



## Hotspot-Verhalten

Durch die einzigartige Konstruktionsweise erhält ein Solarmodul mit Cut-Technologie seine unverwechselbare Optik und das Auftreten von unerwünschten „Hotspots“ wird deutlich reduziert.

Im Praxisbetrieb können Teilverschattungen kleinerer Flächen die lokale Temperatur der betroffenen Solarzellen erhöhen, da der Strom der produzierenden Zellen, aus physikalischen Gründen, durch diese Zellen geleitet wird.



Diese sogenannten „Hotspots“ können langanhaltend irreversible Verschlechterungen der Modulleistung zur Folge haben.

Da der String-Strom von Halbzellenmodulen die Hälfte von Vollzellenmodulen ist, kann die Hotspot-Temperatur wesentlich reduziert werden. Experimentelle Tests haben gezeigt, dass diese Reduzierung 10 - 20° C betragen kann, was die Zuverlässigkeit eines Halfcut-Moduls bestätigt.

# Leistungsverluste verringern

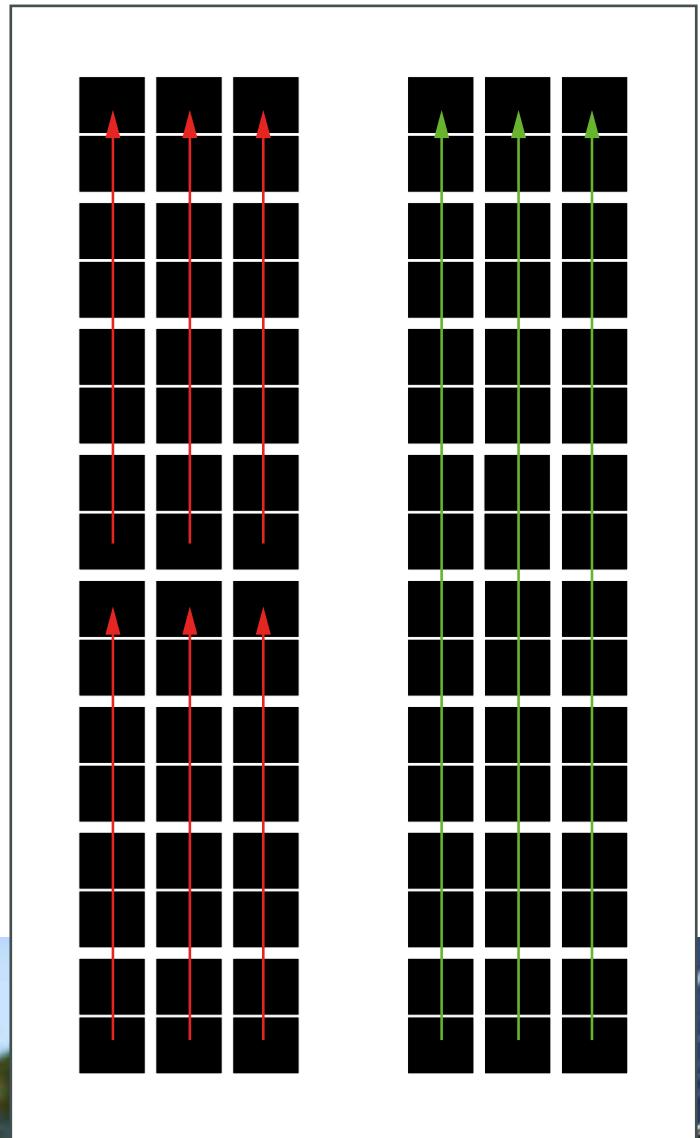
## 1.500 V Systemspannung

Halfcut-Solarmodule mit 1.500 Volt Stromspannung bringen weitere Vorteile mit sich.

Sie sind die perfekte Lösung für Projektanlagen, da Modulstrings um 50 % verlängert werden können. Parallelverbindungen, Kabellängen und -querschnitte können wesentlich reduziert werden.

Dies führt zu einem geringeren Materialbedarf und die Kosten für Komponenten und Installation senken sich. Die Systembilanz (BOS) reduziert sich so um bis zu 33 %. Voraussetzungen hierfür sind unter anderem zertifizierte Anschlussdosen und das entsprechende Modul-Backsheet.

Aufgrund der höheren Spannung, in Kombination mit den geringeren Strömen, werden Leistungsverluste weiterhin verringert. Geringere Degradation und die höhere Zuverlässigkeit sind weitere Vorteile, die sich positiv auf die gesamte Anlage auswirken.





**Solar Fabrik GmbH**

Hermann-Niggemann-Str. 7–9, 63846 Laufach, Germany  
info@solar-fabrik.de, +49 (0)6093 20770-0

**www.solar-fabrik.de**

Stand: 21.10.25  
BZ1001251021