

Hightech-Doppelglasmodule mit Heterojunction-Technologie

R-TG 108h.3 und R-BG 108h.3



SOLYCO R-TG 108h.3

Whitepaper

Das SOLYCO-Team ist seit 1996 im Bereich Photovoltaikmodule und Solarprodukte aktiv. Das Unternehmen SOLYCO Solar AG als Anbieter von hochwertigen Solarprodukten wurde 2020 gegründet, aber unsere Technologiegesellschaft Solyco Technology GmbH führt schon seit 2007 F&E- und Beratungsprojekte auf dem Gebiet der Solarmodule und deren Produktion durch.

Unsere Kunden schätzen uns als kompetenten und zuverlässigen Lieferanten von hochwertigen und langlebigen Photovoltaikmodulen. Darüber hinaus entwickeln wir innovative Solarsysteme für verschiedene Bedachungsarten. Die Basis dafür bildet unser Team aus Experten und Wissenschaftlern, die seit vielen Jahren zu den Pionieren auf dem Gebiet der Solarmodultechnologie zählen.

Inhalt

| | | |
|-----------|--|----------|
| 1. | Einleitung | 1 |
| 2. | HJT-Technologie | 1 |
| 2. 1. | Funktionsweise..... | 1 |
| 2. 2. | Historie | 2 |
| 2. 3. | Was ist neu / Warum jetzt?..... | 2 |
| 3. | Produktionstechnologie | 3 |
| 3. 1. | HJT-Solarzellen | 3 |
| 3. 2. | SOLYCO HJT-Solarmodule..... | 4 |
| 4. | Technische Produkteigenschaften | 5 |
| 4. 1. | Wirkungsgrad | 5 |
| 4. 2. | Temperaturkoeffizient | 5 |
| 4. 3. | Bifazialität..... | 5 |
| 4. 4. | Degradation..... | 5 |
| 4. 5. | Witterungsbeständigkeit..... | 6 |
| 5. | Ausstattungsdetails und Varianten | 6 |
| 6. | Zusammenfassung | 7 |

1. Einleitung

HJT steht für *Heterojunction Technology* und ist eine Solarzellentechnologie, die vor allem aufgrund ihres hohen Wirkungsgrades und des verbesserten Temperaturkoeffizienten zunehmend an Bedeutung gewinnt. In diesem Whitepaper wird die Technologie im Detail vorgestellt sowie ihre Geschichte erläutert. Zudem werden Produktdesign und technische Parameter dargestellt. Vergleiche zu der in den letzten Jahren den Markt dominierenden PERC-Technologie werden gezogen und die Vorteile aus Anwendersicht gegenüber den aktuell im Fokus stehenden TOPCon-Modulen beleuchtet.

2. HJT-Technologie

2. 1. Funktionsweise

Die Funktionsweise einer HJT-Solarzelle ist im Wesentlichen die gleiche wie bei anderen Solarzellen auch. Die Solarzellen absorbieren Sonnenlicht und wandeln es in elektrische Energie um. Wenn Sonnenlicht auf die Zelle trifft, werden die Elektronen im Material elektrisch angeregt und bilden Elektronen-Loch-Paare. Diese Paare werden getrennt, wodurch eine elektrische Spannung entsteht. Diese Spannung treibt den Fluss von Elektronen durch einen elektrischen Stromkreis an, wodurch Gleichstrom (DC) erzeugt wird.

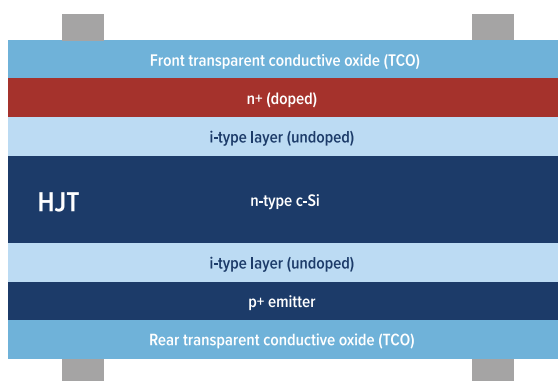


Abbildung 1: Aufbau einer HJT-Zelle

Der Aufbau innerhalb der Solarzelle ist jedoch für verschiedenen Technologien sehr unterschiedlich. So basieren HJT-Zellen auf einer hervorragenden elektrischen Passivierung der Oberfläche des kristallinen Siliziumwafers durch eine Abfolge unterschiedlich dotierter amorpher Siliziumschichten. Diese Heteroübergänge führen zu besonders steilen Dotiersprüngen. Sie reduzieren damit die Rekombinationstätigkeit der durch das eingefangene Sonnenlicht im Siliziumwafer erzeugten Ladungsträger. Diese können nun verstärkt zur Erzeugung elektrischer Energie beitragen. Auf die amorphen Siliziumschichten wird anschließend beidseitig eine Schicht aus elektrisch leitfähigen transparenten Oxiden (TCO) aufgebracht, die die Ladungsträger zu den Elektroden leitet. Diese bestehen aus einem metallischen Kontaktgitter, das aus feinen gedruckten Linien besteht. Der Aufbau einer HJT-Solarzelle ist symmetrisch, so dass HJT-Zellen inhärent bifazial sind. Das bedeutet, dass sowohl die Vorderseite als auch die Rückseite des Moduls einfallende Sonnenstrahlen nutzen können, um Sonnenlicht in elektrische Energie umzuwandeln.

Die im Herstellungsprozess verwendete Dünnschichttechnologie ist aus der Displayindustrie bekannt und ermöglicht eine Fertigung bei niedrigen Prozesstemperaturen. Das reduziert den Energieverbrauch bei der Herstellung von HJT-Zellen.

2. 2. Historie

Die HJT-Technologie wurde ursprünglich von der Firma SANYO entwickelt und war patentrechtlich geschützt, so dass über lange Jahre HJT nur von SANYO genutzt werden konnte. Die Geschichte des HJT-Verfahrens reicht bis in die 1970er Jahre zurück, als Forscher begannen, Dünnschichttechnologien aus der Displaytechnologie auf die Siliziumwafer basierte Photovoltaik anzuwenden. Die besonders gute elektrische Oberflächenpassivierung resultiert in hohen elektrischen Spannungswerten von HJT-Zellen, außerordentlich hohen Wirkungsgraden und einem verbesserten Temperaturkoeffizienten. Dieser führt bei hohen Solarmodultemperaturen im Vergleich zu anderen Technologien zu erhöhten spezifischen Erträgen. Heute gilt das HJT-Verfahren als eine der effizientesten Technologien im Bereich der Photovoltaik.¹

2. 3. Was ist neu / Warum jetzt?

Das HJT-Verfahren ist eine etablierte Technologie, die bereits, seit mehr als 20 Jahren kommerziell für Solarmodule für Dachanlagen eingesetzt wird. Während diese Technologie von SANYO bzw. in den letzten Jahren unter der Marke PANASONIC zur Produktion von PV-Modulen eingesetzt wurde, hat die HJT-Technologie nach Auslaufen des Patentschutzes zur Mitte der 2010er Jahre eine enorme Entwicklung erfahren. Seither haben viele Forschungseinrichtungen und Unternehmen an der industriellen Einführung von HJT gearbeitet.

Essenziell für eine breite industrielle Einführung ist aber ein großes Angebot an Produktionsequipment. Der Fortschritt insbesondere im Maschinenbau ist die Grundlage dafür, dass gerade in den letzten zwei Jahren immer mehr Unternehmen in HJT-Fabriken investiert haben. Allerdings ist insgesamt die Anzahl von relevanten kommerziellen Fabriken mit weltweit 10 – 15 noch immer sehr gering, so dass HJT auch heute noch kein mainstream ist. HJT-Module sind noch eine Besonderheit, und das Betreiben einer HJT-Fabrik erfordert ein technologisch sehr gut geschultes Team.

¹ <https://pv-magazine-usa.com/2022/11/21/longi-claims-worlds-highest-efficiency-for-silicon-solar-cells/>

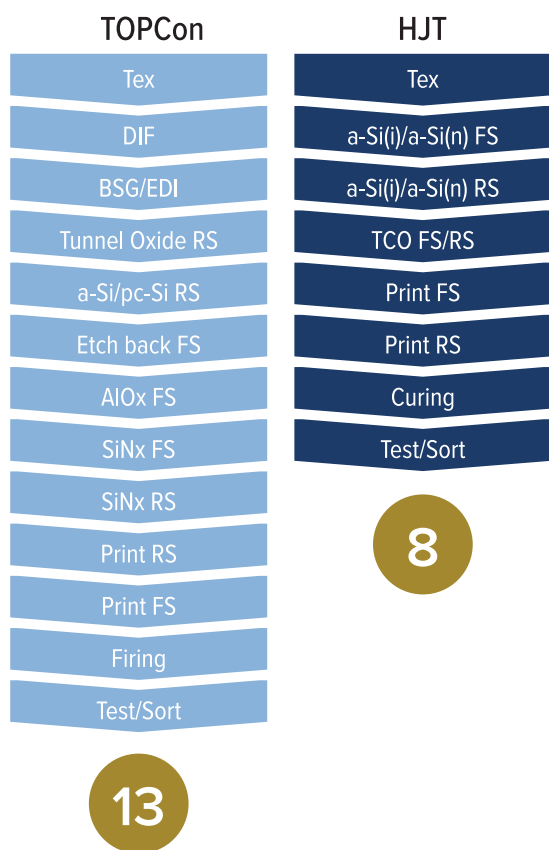


Abbildung 2: Prozessschritte bei Produktion von TOPCon und von HJT-Solarzellen

SOLYCO hat einen Produktionspartner, welcher sich ausschließlich auf die HJT-Technologie fokussiert. Somit ist es gelungen, die Produktionskosten so weit zu senken, dass HJT heute ein wirtschaftlich sehr attraktives Produkt darstellt. Die Produktionskosten und Verkaufspreise der HJT-Technologie sind zwar etwas höher als bei PERC und TOPCon-Modulen. Die Kosten konnten inzwischen so weit gesenkt, dass die Produktvorteile in Bezug auf Wirkungsgrad, Temperaturverhalten und Bifazialität die HJT-Technologie zu einer wirtschaftlich attraktiven Option machen.

3. Produktionstechnologie

Im Folgenden wird auf die wesentlichen Unterschiede bei den Produktionstechnologien von HJT-Solarzellen und HJT-Modulherstellung zu PERC und TOPCon eingegangen. Während bei der HJT-Modulproduktion viele Fertigungsschritte übernommen werden können, unterscheidet sich die Herstellung von HJT-Solarzellen grundlegend von der Produktion von PERC- oder TOPCon-Zellen. Während HJT- und TOPCon-Module phosphordotierte Wafer nutzen (n-Typ) basieren PERC-Zellen auf Bor-Atome (p-Typ).

3.1. HJT-Solarzellen

Der konzeptionelle Aufbau einer HJT-Solarzelle ist vergleichsweise simpel und erfordert nur wenige Prozessschritte. In der Serienfertigung kommen ca. 8 Prozessschritte zum Einsatz, während im Vergleich PERC- und TOPCon-Zellen in der Praxis ca. 13 Produktionsschritte erfordern.

Allerdings sind die Prozessschritte bei HJT grundlegend anders und bei der Herstellung von HJT-Solarzellen kommen überwiegend vakuumbasierte Prozesstechnologien zum Einsatz. Dies hat zur Folge, dass die Anlagen sehr teuer sind und die Investition für eine HJT-Zellfabrik mehr als doppelt so hoch ist wie für eine vergleichbare PERC-Fabrik.

Die Abscheidung der Schichten auf den Wafern erfolgt bei niedrigen Temperaturen von unter 300°C, während die Prozesstemperaturen bei PERC- und TOPCon-Zellen bis zu 900°C betragen. Dadurch sinkt der Energiebedarf in der Zellfabrik um ca. 11%.² Die spezielle Architektur der HJT-Zellen mit amorphen Siliziumschichten führt zu einer Reduzierung der maximalen Temperatur, der eine HJT-Solarzelle ausgesetzt werden darf. Diese Begrenzung liegt bei ca. 250°C, da eine Kristallisation der amorphen passivierenden Siliziumschichten verhindert werden muss. Dies hat wiederum Auswirkungen auf die Metallisierung (Frontgrid) der HJT-Zellen, da keine herkömmlichen Hochtemperatur-Metallisierungstechnologien eingesetzt werden können, sondern nur spezielle, stark silberhaltige (und damit teure) Siebdruckpasten verwendet werden können.

² <https://archive.org/details/china-pv-industry-development-roadmap-2022-2023.pdf>

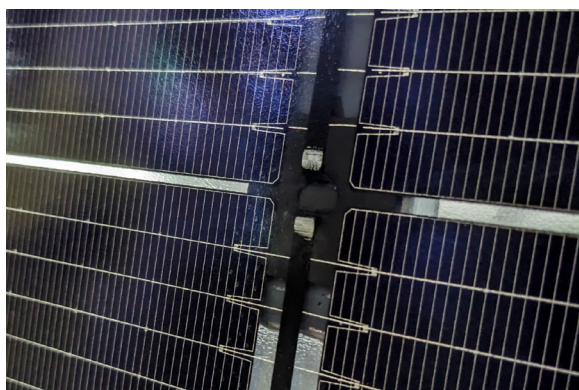
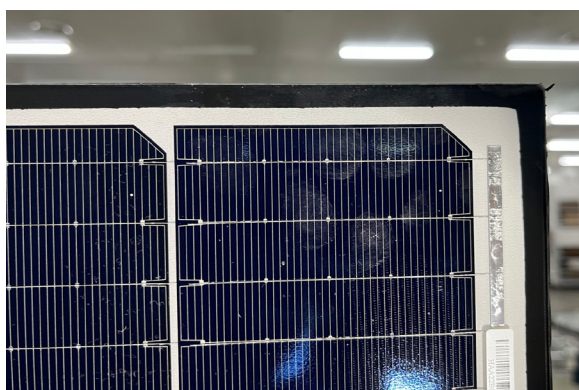
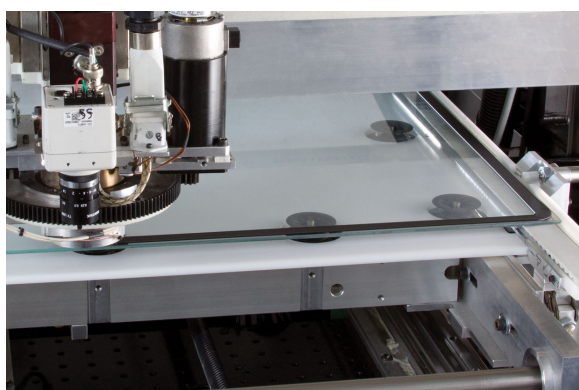


Abbildung 3 und Abbildung 4: Aufbringung der Butylabdichtung auf dem Glas als extra Schutz gegen eindringende Feuchtigkeit. Nach der Fertigung bildet das Butyl einen charakteristischen schwarzen Rand, der jedoch später vom Aluminium-Rahmen überdeckt wird.

Abbildung 5: Auch der Bereich der Anschlussdosen wird durch Butyl-Pads gegen eindringende Feuchtigkeit abgedichtet.

| | | | |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|
| Modultyp | R-TG 108p.3 | R-TG 108n.3 | R-TG 108h.3 |
| Technologie | PERC | TOPCon | HJT |
| Tc | -0,35 %/°C | -0,32 %/°C | -0,26 %/°C |

Tabelle 1: Die Temperaturkoeffizienten (Tc) der Modulleistung für verschiedene SOLYCO-Modultypen unterscheiden sich maßgeblich in der eingesetzten Solarzellentechnologie

3. 2. SOLYCO HJT-Solarmodule

Für die Verbindung der einzelnen Solarzellen zu einem Solarmodul können nicht die üblichen Lötverfahren eingesetzt werden. Stattdessen kommen ebenfalls Niedertemperaturverfahren zum Einsatz. Als industriell etabliertes Verfahren steht die elektrisch leitende Verklebung mit silberhaltigen Klebstoffen zur Verfügung, die jedoch mit einem sehr hohen Silberverbrauch verbunden ist. Zur Reduzierung des Silberverbrauchs wird daher ein Niedertemperaturlötverfahren mit einer Zinn-Wismut-Legierung eingesetzt und zur Optimierung des Silberverbrauchs werden 18 (Gewöhnlich 10 – 16) Verbindungsdrähte verwendet.³

Da HJT-Solarzellen etwas feuchtigkeits-empfindlich sind muss auf eine hochwertige Modultechnologie geachtet werden. SOLYCO setzt dabei auf eine Technologie, die in der Isolierglasfertigung Standard ist, und die über Jahrzehnte einen vollständigen Schutz gegen Feuchtigkeit gewährleistet. Dabei wird am äußeren Rand des Solarmoduls eine Butylversiegelung eingesetzt, die eine Eindiffusion von Wasserdampf unterbindet. Die Solarzellen sind so optimal gegen das Eindringen von Wasser geschützt.

Eine solche Butylversiegelung am Rand erhöht die Produktionskosten, so dass diese Technologie nur in ganz wenigen Fabriken eingesetzt wird. Wir haben uns aber entschieden, bei dem neuen Spitzenprodukt nur den allerhöchsten technologischen Stand einzusetzen, um die besten Zelltechnologie auch mit dem besten Moduldesign zu kombinieren.

³ Diese Legierung enthält heute noch Blei, aber wir arbeiten mit Hochdruck daran, Blei vollständig zu eliminieren.

Ein Glas-Glas-Verbund mit Kantenversiegelung ist die technologisch beste Art die HJT-Solarzellen optimal gegen äußere Umwelteinflüsse zu schützen, und die Langlebigkeit des Solarmoduls zu gewährleisten.

Und um auch das letzte potenzielle *Schlupfloch* für Wasserdampf zu schließen, werden bei SOLYCO-HJT-Modulen sogar die rückseitigen Bohrungen im Glas im Bereich der Anschlussdosen durch zusätzliche Butyl-Pads abgedichtet.

4. Technische Produkteigenschaften

4.1. Wirkungsgrad

Die HJT-Technologie zeichnet sich durch einen sehr hohen Wirkungsgrad aus. In der industriellen Massenfertigung liegt der Solarzellen-Wirkungsgrad bei ca. 25%, gegenüber 24% bei TOPCon und 23% bei PERC.

Dies spiegelt sich entsprechend im Modulwirkungsgrad wider. Dieser liegt bei HJT-Modulen aktuell bei etwas über 22%, was einen deutlichen Fortschritt gegenüber den anderen Technologien darstellt.

4.2. Temperaturkoeffizient

Der Temperaturkoeffizient ist ein wichtiger Parameter bei Solarmodulen, da grundsätzlich bei Silizium-Solarzellen der Wirkungsgrad – und damit auch die Modulleistung - mit steigender Temperatur abnimmt. HJT-Module haben aufgrund ihrer hohen Spannung den besten Temperaturkoeffizienten aller Siliziumtechnologien, das heißt sie verlieren bei höheren Betriebstemperaturen weniger an Leistung als andere Produkte.

Dieser Vorteil kommt vor allem bei der Installation auf Dächern zum Tragen, wo sehr hohe Modultemperaturen erreicht werden können, wenn sich die Wärme hinter den Solarmodulen staut. Die folgende Grafik zeigt die Modulleistung je Quadratmeter im Vergleich für typische PERC-, TOPCon- und HJT-Module. Mit steigender Betriebstemperatur erhöht sich der Vorteil der HJT-Technologie, was sich in der Praxis in deutlich mehr erzeugten kWh aus PV-Anlagen mit HJT-Modulen dokumentiert.

Die Kombination aus höherem Wirkungsgrad und besserem Temperaturverhalten führt dazu, dass die nutzbare Modulleistung unter realen Temperaturbedingungen bei HJT-Modulen deutlich höher ist als bei PERC- und TOPCon-Produkten. Bei Dachanlagen resultiert dies in deutlich mehr erzeugten Kilowattstunden aus der verfügbaren Fläche.

4.3. Bifazialität

Ein zusätzlicher Vorteil der HJT-Technologie ist die hohe Bifazialität der Zellen. Sowohl auf der Vorder- als auch auf der Rückseite der Solarzellen sind Metallisierungsgitter aufgebracht. Durch den weitgehend symmetrischen Aufbau sind Bifazialitätskoeffizienten von 90 – 95% realisierbar. Das bedeutet, dass die Rückseite der Solarzelle fast ebenso gut geeignet ist, Sonnenlicht in elektrische Energie umzuwandeln wie die Vorderseite. Bei PERC-Zellen beträgt dieser Koeffizient nur ca. 70 – 75%, und bei TOPCon ca. 80%. Ein hoher Bifazialkoeffizient führt zu einem Mehrertrag an elektrischer Energieerzeugung, doch ist der in der Praxis erzielbare Mehrertrag abhängig von vielen Systemparametern wie zum Beispiel der Reflektivität des Untergrundes, aber auch Modulneigung und dem Abstand zur Dachhaut.

4.4. Degradation

Kristalline Silizium-Solarzellen degradieren im Laufe der Zeit aufgrund verschiedener Mechanismen. Die beiden bekanntesten sind die *Light-Induced Degradation* (LID) und die *Light and elevated Temperature*

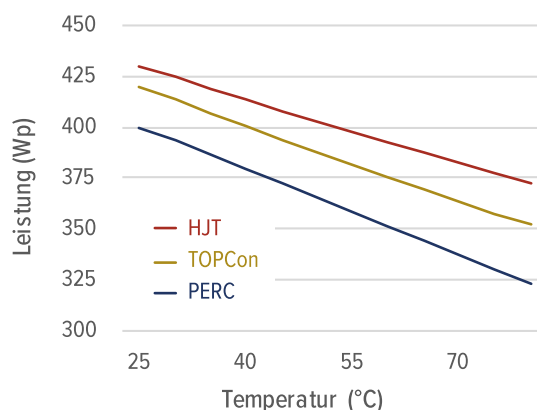


Abbildung 6: Verhalten der Modulleistung in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur für PERC-, TOPCon- und HJT-Module.

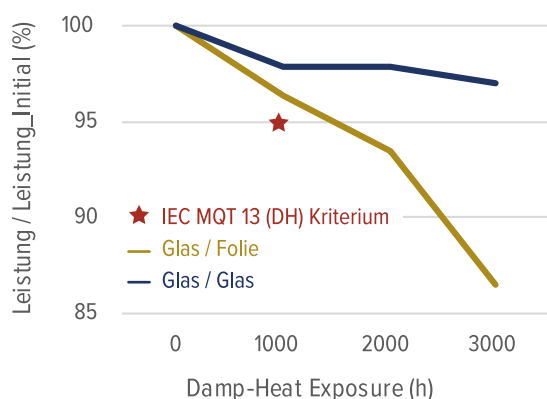


Abbildung 8: Bei Glas-Folien-Modulen diffundiert Feuchtigkeit durch die Rückseite zu den Solarzellen vor und führt langfristig zu Korrosionserscheinungen mit Leistungsverlust. Doppelglasmodule zeigen in Langzeitversuchen eine bessere Beständigkeit.

Induced Degradation (LeTID), die die Leistung der Zellen stark beeinträchtigen können.

Der LID-Defekt tritt bei betroffenen Solarmodulen in den ersten Betriebsstunden auf und führt zu einer deutlichen Reduktion des Wirkungsgrades von bis zu 2%. Da dieser Defekt auf einer Wechselwirkung von Boratomen mit hohen Sauerstoffkonzentrationen im Siliziumwafer beruht, kann er durch die Verwendung von n-Typ-Wafern ausgeschlossen werden.

Im Gegensatz dazu tritt LeTID nach einigen Monaten oder Jahren auf und kann zu einer sehr starken Reduktion des Wirkungsgrades von 5 – 10% führen. Der Defekt beruht auf einer komplexen Wechselwirkung des während der Solarzellenproduktion in den Siliziumwafer eingebrachten Wasserstoffs mit anderen Elementen in der Solarzelle und wird durch die exakte Prozessführung beeinflusst. Auch dieser Defekt tritt bei HJT-Zellen nicht auf.

4. 5. Witterungsbeständigkeit

Die elektrische Kontaktierung der Solarzellen ist durch Lötverbindungen realisiert. Feuchtigkeit führt bei elektrischen Verbindungen immer zu Korrosion, die sich in einer Erhöhung von elektrischen Widerständen und damit in einem schleichenden Leistungsverlust des Moduls manifestiert. Einen großen Fortschritt gegenüber den preiswertesten Solarmodulen stellt ein Modulaufbau in Doppelglas-Technologie dar. Die längere zu erwartende Lebensdauer lässt sich

durch beschleunigte Alterungstests in Klimakammern bei heißen, feuchten Umgebungstemperaturen nachweisen (Damp-Heat-Tests). Die Abbildung 8 zeigt den Leistungsverlauf von zwei mit gleicher (PERC) Solarzelle ausgestatteten Modulen in Glas-Folie- bzw. Glas-Glas-Technologie.

5. Ausstattungsdetails und Varianten

SOLYCO bietet HJT-Module ausschließlich in Doppelglasausführung an, um eine Randversiegelung mit Butyl zu ermöglichen und so größtmögliche Langzeitstabilität zu gewährleisten. Bei dem HJT-Modul kommt die neueste Glastechnologie zum Einsatz, die durch doppelte Antireflexbeschichtung nicht nur die Glastransmission und damit die Modulleistung maximiert, sondern auch einen gleichmäßigen Farbeindruck des Moduls ermöglicht. Selbstverständlich setzen wir ausschließlich original STÄUBLI-Steckverbinder ein.

Es gibt die Wahl zwischen zwei Varianten: ein vollständig transparentes Rückglas (R-TG) oder ein Rückglas mit schwarzem Druck (R-BG). Der schwarze Druck führt zu einem noch gleichmäßigeren Erscheinungsbild.

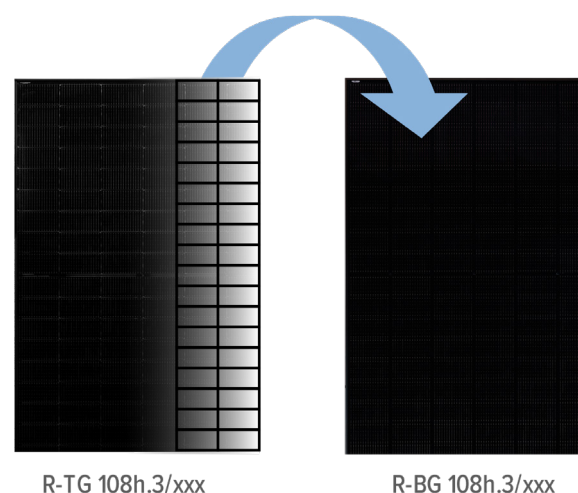


Abbildung 7: Die Variante R-BG hat ein Full-Black Erscheinungsbild und ist trotzdem bifazial. Dies wird erreicht durch einen schwarzen Gitterdruck auf der rückseitigen Glasscheibe.

6. Zusammenfassung

HJT ist die effizienteste Solarzellentechnologie, die aktuell im industriellen Maßstab produziert wird. Die Produktionstechnologie ist aufwändiger als bei PERC und TOPCon, so dass HJT noch nicht mainstream ist, sondern nur von technologisch führenden Fabriken erfolgreich eingeführt werden konnte.

HJT stellt die nächste Innovationsphase nach der Einführung von TOPCon dar. Sie ist selbst TOPCon in allen relevanten Eigenschaften überlegen. Da HJT aber durch die Pionierarbeit von SANYO bereits auf mehrere Jahrzehnte Felderfahrung zurückblicken kann und sehr gut erforscht ist, liegt gleichzeitig eine sehr hohe Produktzuverlässigkeit vor.

PV-Module in HJT-Technologie sind daher das neue SOLYCO Spitzenprodukt, das gegenüber den PERC und auch den TOPCon-Produkten nochmals mit besserem Wirkungsgrad und höherem spezifischen Stromertrag überzeugt. Dies führt dazu, dass trotz etwas höherer Kosten beim Einsatz von HJT-Modulen, für Dachanlagen am Ende meist geringere Stromgestehungskosten resultieren. Einen Vergleich der wichtigsten Eigenschaften von PERC, TOPCon und HJT zeigt Abbildung 9.

Als Experte für den Solardachbereich legt SOLYCO Wert auf Ästhetik, so dass die Produktfamilie R-xG 108h.3 die ideale Wahl für den anspruchsvollen Kunden darstellt.

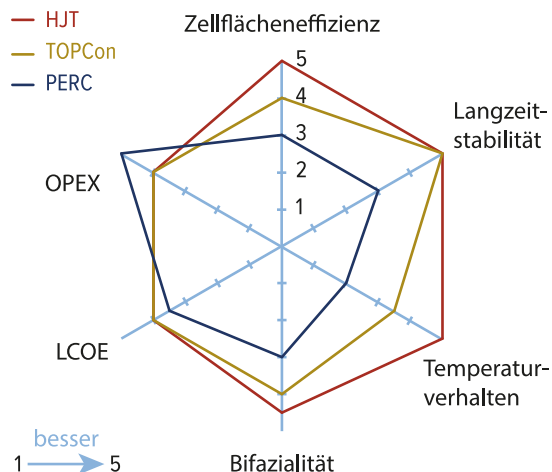
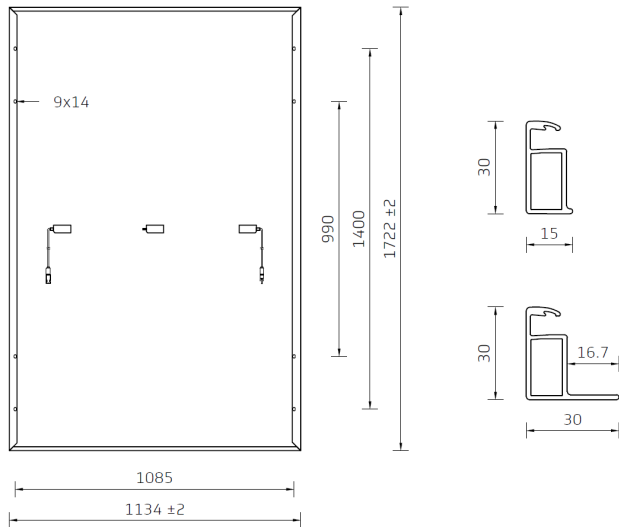


Abbildung 9: Vergleich der wichtigsten Parameter für PERC-, TOPCon- und HJT-Technologie.

Superior Solar Solutions

R-TG 108h.3/430

Bifaziales Doppelglas-Modul mit Heterojunction-Solarzellen



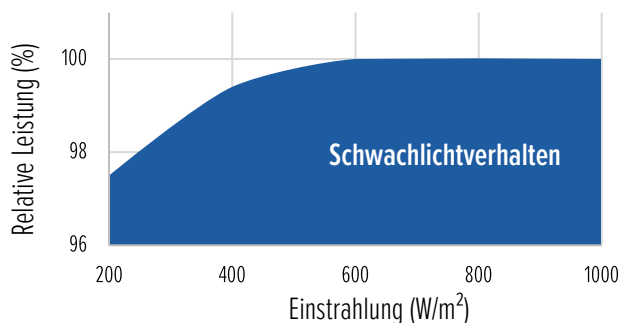
Anschluss- und Betriebsbedingungen

| | |
|--|--|
| Maximale Systemspannung | 1500V |
| Zulässiger Temperaturbereich | -40°C ... +85°C |
| Mechanische Belastbarkeit ¹ | Druckbelastbarkeit getestet bei 5400Pa Windsogbelastbarkeit getestet bei 2400Pa |
| Schutzklasse | II |
| Rückstrombelastung | 20A |
| Brandklassen ² | A (UL 790) B _{roof} (t1) nach DIN EN 13501-5:2016 |
| Hagelbeständigkeit | Hagelkörner bis 25mm Größe und Geschwindigkeit von 23m/s |

¹Spezifizierte Drucklastbeständigkeit: 3600Pa und Soglastbeständigkeit: 1600Pa; ²Für alle Dachneigungen

Temperaturverhalten

| | |
|--|-------------|
| Tk der Maximalleistung (P _{max}) | -0,26% /°C |
| Tk der Leerlaufspannung (V _{oc}) | -0,24% /°C |
| Tk des Kurzschlussstromes (I _{sc}) | +0,004% /°C |



Dieses Datenblatt entspricht den Vorgaben der DIN EN 50380
Entwickelt und designt in Deutschland.



Allgemeiner Produktaufbau

| | |
|-----------------------------|--|
| Zelltechnologie | HJT, monokristallin |
| Zellengröße und -anzahl | 182mm x 91mm; 108 Stk. |
| Modulabmessung | 1722mm x 1134mm x 30mm |
| Modulgewicht | 24,5kg |
| Rahmen | Aluminium schwarz eloxiert |
| Glas | 2 x 2,0mm gehärtetes Solarglas mit Anti-Reflex-Beschichtung |
| Anschlussdose und Schutzart | 3 Stk. mit je einer Bypass-Diode, IP68 voll vergossen |
| Kabel mit Stecker | 4mm ² Solarkabel mit 120cm Länge, STÄUBLI MC4-Evo 2 Stecker |
| Verpackungseinheit | 36 Module vertikal auf Palette, 936 /40ft. |

Elektrische Daten (STC)

Neendaten bei Standard-Testbedingungen (STC): Einstrahlung 1000W/m²; Spektrum AM 1.5; Modultemperatur 25°C; Sortierung nach P_{max} 0 bis +5W

| | |
|--|-----------------|
| Modulbezeichnung | R-TG 108h.3/430 |
| STC Nennleistung P _{max} (Wp) | 430 |
| Spannung im Arbeitspunkt V _{mp} (V) | 34,60 |
| Strom im Arbeitspunkt I _{mp} (A) | 12,43 |
| Leerlaufspannung V _{oc} (V) | 40,87 |
| Kurzschlussstrom I _{sc} (A) | 12,95 |
| Modul-Wirkungsgrad (%) | 22,02 |
| Bifazial-Koeffizient (%) | 90 ± 5 |

Toleranz P_{max}: ±3,0%; Toleranzen V_{oc}, V_{mp}, I_{sc}, I_{mp}: ±5,0%

Elektrische Daten (NMOT)

Neendaten bei nominalen Betriebsbedingungen (NMOT): Einstrahlung 800W/m²; Spektrum AM 1.5; Umgebungstemperatur 20°C; Windgeschwindigkeit 1m/s

| | |
|--|-----------------|
| Modulbezeichnung | R-TG 108h.3/430 |
| Solarzellen-Temperatur (°C) | 45 ± 2 |
| Modulleistung P _{max} (Wp) | 328 |
| Spannung im Arbeitspunkt V _{mp} (V) | 29,92 |
| Strom im Arbeitspunkt I _{mp} (A) | 10,97 |
| Leerlaufspannung V _{oc} (V) | 38,35 |
| Kurzschlussstrom I _{sc} (A) | 11,49 |

Toleranz P_{max}: ±3,0%; Toleranzen V_{oc}, V_{mp}, I_{sc}, I_{mp}: ±5,0%

Elektrische Daten bei Leistungserhöhung durch Bifazialität (Bsp. 430Wp)

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| Leistungsplus | 10% | 20% | 30% |
| Modulleistung P _{max} (Wp) | 473 | 516 | 559 |
| Spannung im Arbeitspunkt V _{mp} (V) | 34,14 | 36,41 | 38,71 |
| Strom im Arbeitspunkt I _{mp} (A) | 13,86 | 14,18 | 14,54 |
| Leerlaufspannung V _{oc} (V) | 40,60 | 42,75 | 45,16 |
| Kurzschlussstrom I _{sc} (A) | 14,42 | 14,72 | 15,06 |

Mit unseren Partnern, Kunden und Unterstützern beeinflussen wir den Markt der erneuerbaren Energien positiv durch unsere Entwicklungen. Mit innovativen Produkten versetzen wir Installateure und Projektierer in die Lage, dem Endnutzer einen greifbaren Mehrwert zu bieten. Unsere Systeme erlauben eine klare Differenzierung innerhalb der Branche und bieten somit Marktvorteile, die unsere Kunden nutzen können.

