



ISC Konstanz – Research for a sunny future!

Schlussbericht

Solar-Era.Net-Projekt: U-Light – „Entwicklung von neuartigen Solarmodulen mit geringem Gewicht, hoher Effizienz und niedrigen Kosten für die Systemintegration“

FKZ: 0325886A

Laufzeit: 01.11.2015 – 31.10.2018

Andreas Halm

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



17.04.2019

Autor: Andreas Halm

Ansprechpartner: Andreas.Halm@isc-konstanz.de, +49 - 7531 – 36183 - 50

Speicherort am ISC: Y:\ulight\8_Berichte\Endbericht

Version: 1.1

Versionsdatum: 16.04.2018

Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor

International Solar Energy Research Center Konstanz e.V., Konstanz 2018

INHALTSVERZEICHNIS

I.	Kurze Darstellung zu	4
I.1	Aufgabenstellung.....	4
I.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	4
I.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	5
I.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	8
I.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	9
II.	Eingehende Darstellung	9
II.1	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	9
II.2	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	23
II.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	24
II.4	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	24
II.5	Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt	24
II.6	Veröffentlichungen im Rahmen des Vorhabens.....	25

I. KURZE DARSTELLUNG ZU

I.1 Aufgabenstellung

Im Rahmen des Projekts "U-light" sollten neue Leichtbaumodule mit hohem Wirkungsgrad entwickelt werden, die im Hinblick auf niedrigste Kosten für die Integration in PV-Systeme entworfen wurden um niedrigste Stromgestehungskosten („levelized cost of electricity“ - LCOE) zu erreichen. Die neuen Leichtbaumodule sollten unter Verwendung von dünnem, starkem, preisgünstigem Glas und durch die Verwendung von Kompositmaterialien wie glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) hergestellt werden. Bei der Entwicklung von ultraleichten Modulen war die Reduzierung der Dicke für alle Schichten ein klares Ziel unter Beibehaltung der geforderten funktionellen Eigenschaften. Die Zellforschung in diesem Projekt konzentrierte sich auf die Entwicklung von IBC ZEBRA-Solarzellen mit intrinsischen Bypassdioden ohne zusätzliche Kosten. Dies sollte die Herstellung von Solarmodulen ohne Bypassdiode ermöglichen.

I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Ziel der Technologieentwicklung in der Photovoltaik war die Kostensenkung zur Erreichung der Gridparität, welche inzwischen erreicht wurde. Vor Projektstart wurden üblicherweise Solarmodule verbaut, welche auf der Rückseite eine reflektierende und das Innere des Moduls gegenüber äußeren Einflüssen schützende Folie tragen. Das Innere dieser Folienlaminare besteht üblicherweise aus einem PET-Film. Die Reflexionswerte dieser Rückseitenfolien sind aufgrund der Tatsache begrenzt, dass die einzelnen Folienbestandteile ursprünglich nicht für eine hohe Reflexion ausgelegt waren. Aus diesem Grund wird ein signifikanter Anteil des Lichtes nicht reflektiert und ist somit nicht für die elektrische Stromkonversion verfügbar. Das üblichste Verkapselungsmaterial im Modulbau war und ist immer noch EVA (ethylene-vinyl-acetate). Dieses Material ist verhältnismäßig billig, obwohl es mehrere Nachteile mit sich bringt: EVA erzeugt während der Degradation eine volatile Essigsäure, welche zu Korrosionseffekten beitragen kann. Effekte, wie PID (potential induced degradation) können dadurch beschleunigt werden. Des Weiteren ist die Laminationszeit verhältnismäßig lange und die Transparenz bei kleineren Lichtwellenlängen stark vermindert. Gegenwärtiges Solarglas hat eine übliche Dicke von 3,2 mm und ein hohes Gewicht, welches der Hauptgrund ist, dass Solarmodule nicht leicht sind. Das hohe Gewicht verhindert von sich aus viele Anwendungsmöglichkeiten, für welche leichtgewichtige Module erforderlich wären. Zusätzlich tragen die Kosten für 3,2 mm dickes Glas signifikant zu den Gesamtkosten bei. Mainstream Solarzellen waren typischerweise p-Typ Solarzellen (entweder basierend auf mono- oder multi-Material) mit begrenzten Effizienzen und einem monofazialen Design. Dazu kommt, dass das damalige Moduldesign keine kostengünstige Aufständigung und Montage erlaubten. Im Falle von Abschattung einzelner Solarzellen wird die Ausgangsleistung um mindestens die Stringleistung vermindert, was üblicherweise einem Drittel der Gesamtmodulleistung entspricht (für 60 Zell-Module). Auf Modulebene kann dem nur durch zusätzliche Bypassdioden begegnet werden, welches aber aufgrund der Dosengröße nicht wirtschaftlich ist.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Gesamtprojekt war in 6 Arbeitspakete aufgeteilt, die den Projektpartnern wie folgt zugeordnet waren:

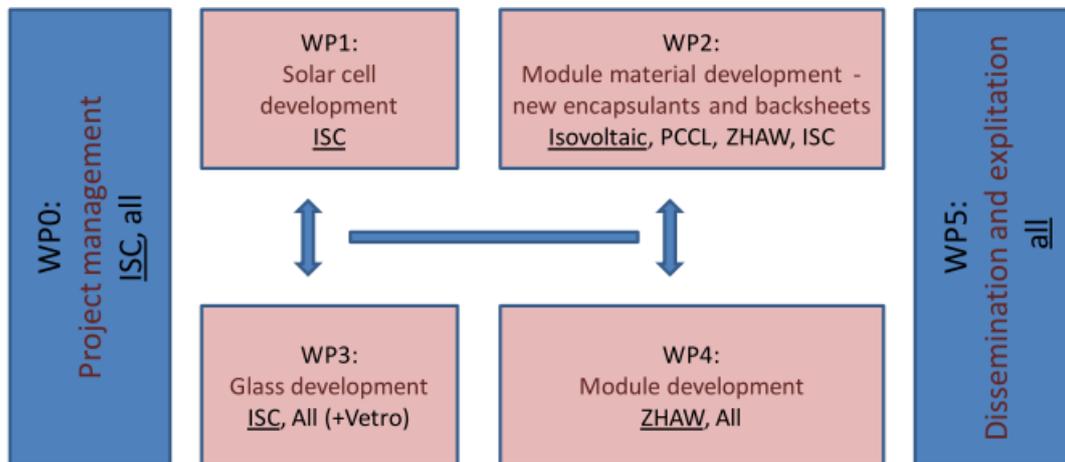


Abbildung 1: Arbeitsstrukturplan für das U-Light Projekt

Die wissenschaftlich-technischen Aufgaben des ISC Konstanz im U-Light-Projekt waren thematisch im Wesentlichen in vier Teile aufgeteilt, nämlich in die Entwicklung einer Solarzelle mit intrinsischer Bypassdiode, die Entwicklung von Modulen aufbauend auf neuen Modulmaterialien, den erweiterten Umwelttests und der detaillierten elektrischen Charakterisierung und Vermessung dieser. Der Schwerpunkt der Arbeiten des ISC Konstanz lag in den Arbeitspaketen 1, 3 und 4 verankert, von welchen das ISC Konstanz AP 1 und AP 3 koordinierte. In diesen APs wurden die Zellentwicklung, Glasentwicklung, der Modulbau, die detaillierte mechanische und elektrische Charakterisierungs- und Umwelttests der Module, der Bau erster Prototypen und der Aussentest der Module durchgeführt. Da diese Arbeitspakete die zentrale Aufgabe des ISC Konstanz darstellten, wurden insgesamt 41 Personenmonate zu ihrer Durchführung benötigt.

Das ISC war für das Erreichen der in Tabelle 1 dargestellten Ergebnisse und Meilensteine (mit)verantwortlich.

Tabelle 1: Auflistung der Meilensteine und Deliverables an denen das ISC im Projekt beteiligt war

Nr.	Name	Was	Mo-nat	Wer
D 1.1	Simulation and experimental verification of best diffusion profiles, metallization pastes and layouts for cells with defined reverse characteristics	Bericht	8	ISC
D 1.2	Report and samples on developed and processed cells specific for the project goals	Bericht , Probe	18	ISC
D 1.3	Report on thermal investigation on cell and module level to optimize cell process	Bericht	21	ISC

Nr.	Name	Was	Mo-nat	Wer
D 1.4	Process large quantities of standard, ZEBRA and BiSoN cells for the project goals	Probe	21	ISC
D1.5	Sample cells for project goals with specific reverse characteristics	Probe	24	ISC
M4	Bifacial solar cells with an efficiency of 20.7%. IBC ZEBRA solar cells with an efficiency of 21.7% with defined reverse characteristics in order to avoid the need of bypass diodes available to substitute bypass diodes on module level: <ul style="list-style-type: none"> · Reverse breakthrough at a maximum reverse voltage of -4 V achieved (at 10 A corresponding to 1 sun) · After 10 hours of injected reverse current of 10 A no measurable degradation of the cell efficiency (inside measurement uncertainties) 		24	ISC
M7	Qualified new encapsulant and backsheets passing all the requirements on quality and durability: <ul style="list-style-type: none"> · High resistance against UV, humidity and insensitivity to PV specific degradation effects (No embrittlement after 3000h of DH, Yellowness Index <10 after 300 kWh/m² UV, no PID) · Thickness reduction of the encapsulant materials (100-200 µm) to achieve cheaper and lightweight modules and lamination times of below 10 minutes Sufficient adhesion (>50 N/cm) between all layers, no delamination after accelerated and outdoor aging		32	Isovoltaic, All
D3.1	Prepare functional requirements for the glass - Target version	Bericht	3	ISC, PV Products, Vetro
D3.2	Prepare functional specification for the glass - Final version	Bericht	12	ISC, PV Products, Vetro
D3.3	CoO calculation of the glass and module	Bericht	15	ZHAW, ISC, Vetro, PV Products

Nr.	Name	Was	Mo-nat	Wer
D3.4	Production of prototype glass	Probe	7	ISC, Vetro
D3.5	Test of the glasses against functional requirements	Bericht	13	ISC, Vetro
D3.6	Mechanical, climatic testing and hail tests	Bericht	28	ISC, Vetro
M5	A solar glass product for light weight glass/glass PV modules has been developed that support the design goals defined in WP4 and conforms to the IEC standards 61215 and 61646 and the Semi standard for ARC glass SEMI-PV47-0513		28	ISC, Vetro Solar, All
D4.1	Conception design of the modules based on glass/glass	Bericht	7	ZHAW, All
D4.2	Conception design of the modules based on glass/foil	Bericht	7	ZHAW, All
D4.3	Conception design of the modules based on alternative approaches	Bericht	12	ZHAW, All
D4.4	Prototype glass/glass and glass/foil modules (and reference modules)	Probe	20	ZHAW, All
D4.5	Prototype module on alternative approaches	Probe	21	ZHAW, All
D4.6	Internal report on module testing	Bericht	28	ZHAW, All
M6	Glass/glass PV modules using glass thicknesses below 2 mm with a specific weight of less than 12 kg/m ² and light glass/foil modules, all with CTM losses <2%, no bypass diodes required, passing all relevant tests according to IEC 61215 and IEC 61646, showing a cost saving potential of 30% in an bifacial version with optional mounting adapters for easy integration into the system.		28	All
D4.7	Internal report on outdoor testing	Bericht	34	ZHAW, All
M8	PV prototype module using alternative materials as an alternative to glass with a specific weight of 2.5kg/m ² or below with a size of at least 1 m ² , CTM loss<4%, with optional mounting adapters for easy integration and specific characteristics making them suitable for applications where ultra-light weight modules are an indispensable requirement for the PV		34	ZHAW, ISC, All

Nr.	Name	Was	Mo- nat	Wer
	system			
D5.1	Press Release and publishable project materials available on partner's web sites	Bericht	2	All
D5.2	Report: Assessment of exploitability of project results	Bericht	30	All
D5.3	At least five presentation at conferences	Bericht	36	All
D5.4	At least two publications in peer reviewed scientific journal	Bericht	36	All

I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Im Bereich der Herstellung und Charakterisierung von ZEBRA Zellen und von Minimodulen wurde der aktuelle Wissenstand des ISC Konstanz e.V. als Ausgangsposition für die im Projekt durchgeführten Untersuchungen verwendet.

- Entwicklung IBC Zelle

Die Zellstruktur wurde auf Basis der ISC ZEBRA-Zelle entwickelt, welche grundlegend den Anforderungen für intrinsische Bypassdioden entspricht. Für diese Aufgabe wurden mittels Simulationen die erforderlichen Zellparameter ermittelt, um die Rückwärtscharakteristik von IBC Solarzellen durch Prozessmodifikationen gezielt zu kontrollieren. Experimentell wurden dazu Modifikation speziell am Diffusionsprozess (BBr_3 und POCl_3), der Metallisierungspaste und des Metallisierungslayouts durchgeführt. Das Ziel war ein kontrollierter Durchbruch bei definierten Rückwärtsspannungen, wobei diese aufgrund der Anforderungen im Modul so niedrig wie möglich sein müssen. Ein weiteres wichtiges Kriterium war ein homogener Durchbruch, um lokale Hotspots zu vermeiden. Der Durchbruch sollte bei kleiner Durchbruchspannung und extrem niedrigem Widerstand stattfinden.

- Untersuchung der elektrischen Eigenschaften

Eine wichtige Vorgabe war, dass der Durchbruch bei negativen Spannungen möglichst homogen stattfindet, um lokale Hotspots zu vermeiden. Gezielte thermische und elektrische Untersuchungen sowohl auf Zell- als auch Modulebene waren hierzu notwendig, die teilweise im Labor und teilweise im Aussentest stattfanden. Gezielte Abschattungen erlaubten die nachträgliche Verifizierung der Ergebnisse. Gerade für Zellen auf Modulebene war eine Vorgabe, dass die untere Durchbruchspannung möglichst gering sein muss, von daher galt diese Vorgabe als ein wesentlich zu erreichendes Kriterium. Die hierzu nötigen Testmöglichkeiten waren auch

vor Projektbeginn am ISC vorhanden, wurden aber während des Projektzeitraumes ausgebaut und weiterentwickelt, um den speziellen Prüfbedürfnissen der im Projekt entwickelten Module zu entsprechen.

- Herstellung von Modulen und erweiterte Umwelttests

Modulmuster unter Verwendung der neuen Materialien (Glas, Verkapselungsmaterial und Rückseitenfolie) wurden am ISC hergestellt und sowohl elektrisch als auch mechanisch überprüft. Der Einsatz von Gläsern mit Schichtdicken unter 3,2 mm wurde hierzu neu am ISC etabliert. Auch wurden Testmodule mit verschiedenen Vorderseitenschichten als Alternative zu Glas hergestellt, was noch nie zuvor am ISC vorgenommen wurde. Eine genaue Analyse der Zell- zu-Modulverluste und Betrachtung der verwendeten Materialien erlaubte deren gezielte Optimierung. Zusätzlich sollten die Muster in an IEC Normen angelehnten Klimakammertests mit zwei-bis dreifach längerer Testzeit auf ihre Langzeitstabilität hin untersucht werden.

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Projekt U-Light wurde als Solar-Era.Net-Projekt mit den (von anderer Seite geförderten) Projektpartnern Isovoltaik, PCCL und ZHAW durchgeführt. Darüber hinaus wurde dünnes Glas als Unterauftrag zumeist von Asahi Glas und Interfloat bezogen.

II. EINGEHENDE DARSTELLUNG

II.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

II.1.1 Verwendung der Zuwendungen

Die Zuwendungen wurden planmäßig abgerufen und entsprechend der Vorgaben verwendet. Abweichungen vom Plan laut Vorhabenbeschreibung wurden vorab mit dem Projektträger PTJ abgestimmt. So wurde z.B. ein Teil der Zuwendungen die für Unteraufträge reserviert waren, umgewidmet. Eine Übersicht über alle im Projekt getätigten Ausgaben ist in Anhang I 333.

II.1.2 Wichtigste erzielte Ergebnisse im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Die *wichtigsten erzielten Ergebnisse* werden im Folgenden anhand der Arbeitspaketstruktur beschrieben, an denen sich der Projektablauf orientierte.

Arbeiten in AP1: Solarzellenentwicklung:

Rückwärtscharakteristik ZEBRA Zelle

Um ZEBRA Zellen mit einer verbesserten Rückwärtscharakteristik herzustellen wurde ein **Silvaco Atlas Simulationsmodell des direkten p^+n^+ Übergangs** an der Rückseite der ZEBRA Zelle erstellt (Abbildung 2).

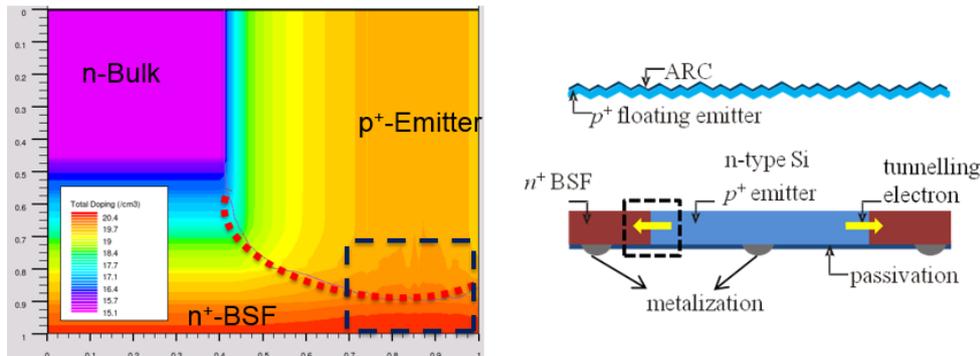


Abbildung 2: Silvaco Simulationsmodell (links) mit gestrichelt eingezeichnetem pn-Übergang; rechts: schematische Zeichnung der ZEBRA Zelle mit schwarz markiertem Viereck zur Simulationsumgebung

Im Modell waren verschiedene Parameter wie z.B. die Dotierprofile für die p und n Gebiete einstellbar. Eine grundlegende Einsicht die gewonnen wurde ist die Tatsache, dass der Durchbruch nur durch direktes Band zu Band Tunneln erklärt werden kann. Dies wurde später auch mit temperaturabhängigen Durchbruchmessungen bewiesen. Praktisch wurde das Simulationsmodell benutzt, um zu untersuchen, wie die Dotierprofile geändert werden müssen, um den Durchbruch zu niedrigeren Spannungen zu verschieben. Entsprechende Ergebnisse sind in Abbildung 3 gegen experimentelle Resultate verglichen. Auf Basis dieser Resultate wurden **Experimente zur Variation der Dotierprofile** durchgeführt. Es wurde eine Verschiebung der Durchbruchsspannung zu niedrigeren Werten erreicht.

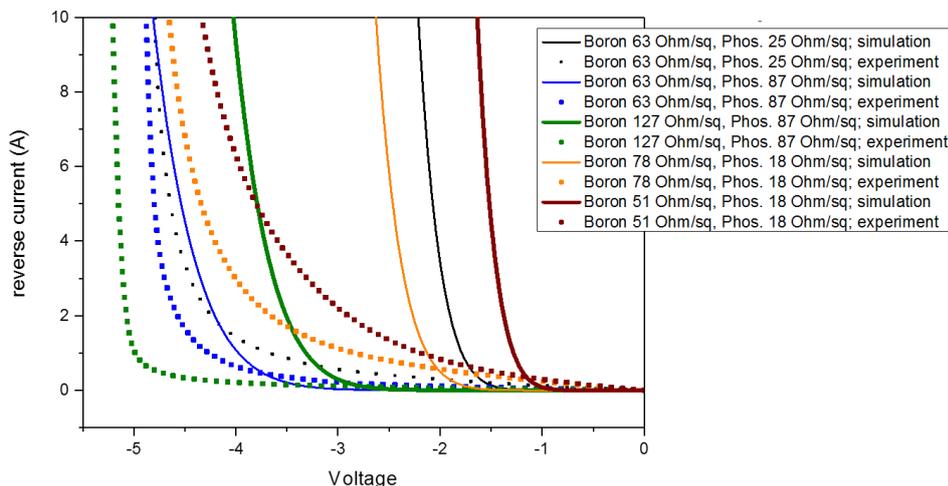


Abbildung 3: Gegenüberstellung simulierter und experimentell bestimmter Durchbruchcharakteristiken bei Variation der Dotierprofile

Leider konnte keine Übereinstimmung zwischen Simulation und Experiment gefunden werden, die generellen Trends lassen sich allerdings bestätigen. Die Diskrepanz zwischen Experiment und Simulation liegt hauptsächlich darin begründet, dass keine Methodik zur Verfügung stand, zweidimensionale Dotierprofile (rote gestrichelte Linie Abbildung 2) zu vermessen. Des

Weiteren wurden Experimente zur Variation des Zellpitch (kleinste Symmetrieeinheit der Rückseite) und dessen Auswirkung auf den Durchbruch vorgenommen. Die Ergebnisse dieser Variation ist in Abbildung 4 aufgeführt.

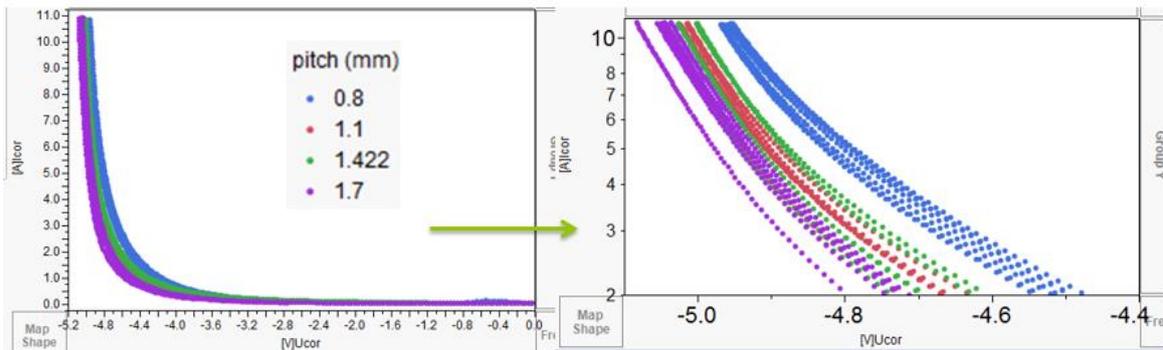


Abbildung 4: Abhängigkeit der Durchbruchsspannung vom Zellpitch für ZEBRA Solarzellen

In Kombination mit den Dottervariationen konnten ZEBRA Zellen mit 21,4 % Wirkungsgrad und einer Durchbruchsspannung von -4,5V (bei 10 A Rückwärtsstrom) erreicht werden. Auch wurden Untersuchungen durchgeführt, in wie weit die Metallisierungspasten einen Einfluss auf den Durchbruch haben. Es konnte allerdings keine Korrelation festgestellt werden.

Thermische Untersuchungen auf Zell- und Modulebene

Das Durchbruchverhalten der ZEBRA Zelle wurde mittels Elektrolumineszenz (EL) und Infrarotbilder (IR) untersucht.

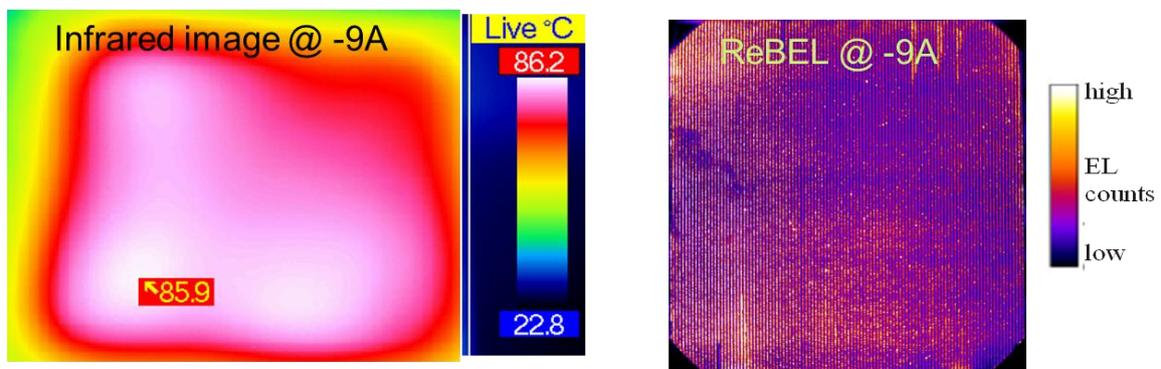


Abbildung 5: links IR Bild; rechts EL Bild einer ZEBRA Zelle die in Rückwärtsrichtung betrieben wird

Beide Bilder zeigen einen homogenen Durchbruch über die Zellfläche und eine sehr gleichmäßigen verteilten Temperaturverlauf über die Zellfläche. Experimente im Freien mit Minimodulen ergaben Modultemperaturen von 91 °C bis 94°C bei Rückwärtsbetrieb mit 8,2 A und 24°C Außentemperatur was noch nicht kritisch für den Modulverbund an sich war.

Abschattungsverhalten für 60 Zell Modul ohne Bypassdiode

Mittels Spice Simulationen wurden die IV Kurven für verschiedene Abschattungsszenarien eines 60 Zell ZEBRA Moduls ohne Bypassdioden berechnet und im Labor verifiziert. Ausgangspunkt war ein Modul mit 294 W Leistung. Abbildung 6 zeigt den Vergleich zwischen Experiment und Simulation. Wie zu sehen ist stimmen die Ergebnisse gut überein.

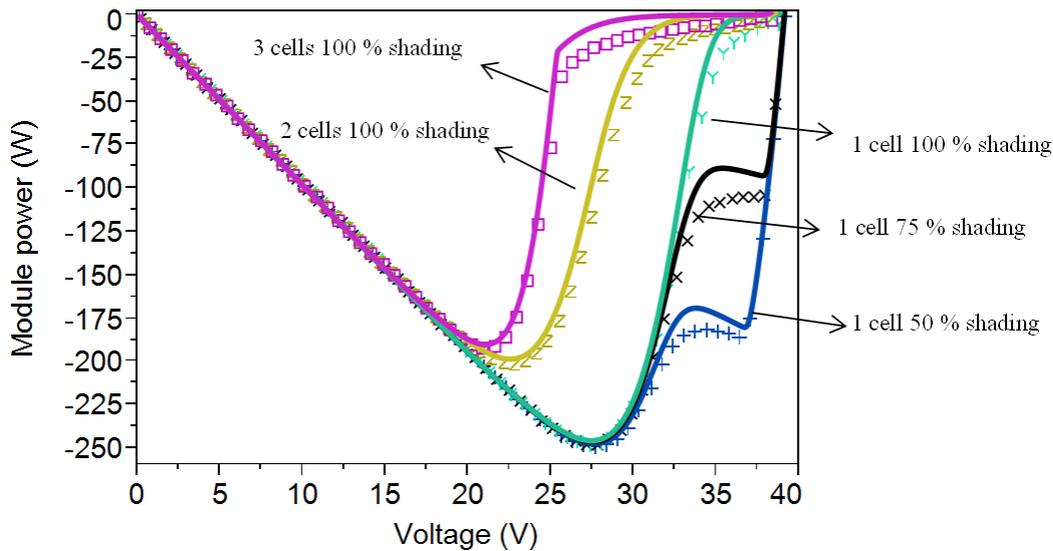


Abbildung 6: SPICE Simulation (durchgezogene Linien) und Messwerte (gepunktete Linien für verschiedene Abschattungsszenarien eines 60 Zell ZEBRA Moduls ohne Bypassdioden

Je abgeschatteter Zelle verringert sich die Leistung um ca. 45 W. Das Modul nimmt keinen Schaden. Dies wurde auch durch ein Experiment im Freiland bewiesen. Hierfür wurde dasselbe Modul (ohne Bypassdioden, siehe Abbildung 7) mit je einer abgeschatteten Zelle pro String 48 Tage (8 Juni bis 25 Juli 2017) am Arbeitspunkt betrieben.

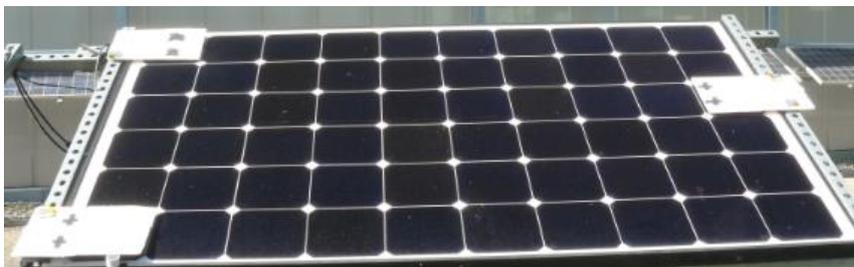


Abbildung 7: Modultest bezüglich Abschattung individueller Zellen im Freiland

Die IV Messungen vor und nach diesem Test zeigen keinerlei Leistungseinbußen (siehe Tabelle 2: IV Werte im Labor gemessen vor und nach Abschattungstest eines 60 Zell ZEBRA Moduls).

Tabelle 2: IV Werte im Labor gemessen vor und nach Abschattungstest eines 60 Zell ZEBRA Moduls

Comment	T(°C)	UOC (V)	ISC (A)	FF (%)	PMPP (W)
zebra 60 cell module C_initial	24.130	39.055	9.827	75.109	288.268
zebra module-C Eurotron-after outdoor test (48 days)_ remeasure on another day	25.215	39.086	9.818	75.071	288.077

Herstellung von Solarzellen für Versuche bei allen Partnern in den Arbeitspaketen

Im Laufe des Projektes wurde eine Vielzahl von Solarzellen für die Herstellung von Testmodulen am ISC und bei der ZHAW gefertigt. Unter anderem wurden 60 Zell ZEBRA Module und verschiedene 36 Zell BiSoN Module gefertigt, darüber hinaus zahlreiche Ein Zell Testmodule für

z.B. für Materialtests in AP 2. Der beste erreichte Wirkungsgrad für BiSoN Zellen war 20,5%. Für ZEBRA Zellen lag der Wirkungsgrad bei bis zu 22,0% für Zellen mit 10 A Rückwärtsstrom bei -4,5 V Rückwärtsspannung.

Arbeiten in AP2 – Modulmaterialien

Das ISC unterstützte die Partner Isovoltaik und PCCL mit der Herstellung von Minimodulen und Klimakammertests. Ein Ziel im Projekt war die Reduktion der Menge der eingesetzten Modulmaterialien. Hierzu wurde ein Experiment mit Minimodulen die BiSoN oder ZEBRA Zellen enthielten durchgeführt unter **Reduktion der Schichtdicke des vorderseitigen Einkapselmaterials**. Es wurden 90 Minimodule aus BiSoN und ZEBRAzellen mit 0,45 mm (Standard), 0,2 mm und 0,1 mm Vorderseitenfolien am ISC mit dem von Isovoltaik für das Projekt entwickelten TPU und Backsheet hergestellt. Diese wurden dann am PCCL mit Feuchte-Wärme Prüfungen, bei Isovoltaik mit UV Bestrahlung und am ISC mit Temperaturzyklenprüfung getestet. Jeweils vor und nach den Prüfungen wurden die Module am ISC charakterisiert (IV und EL Messungen). Die Resultate der Temperaturzyklentests sind in Abbildung 8 dargestellt.

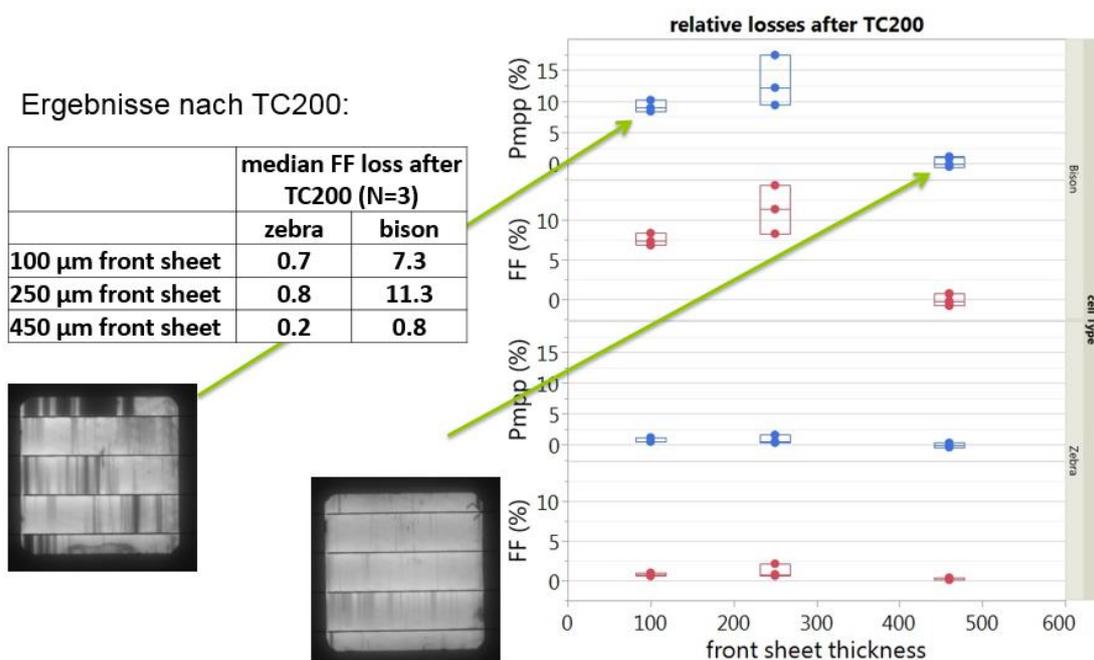


Abbildung 8: Resultate der Temperaturzyklentests am ISC Konstanz mit BiSoN und ZEBRA Modulen unter Variation der vorderseitigen Einkapseldicke

Hier zeigt sich ein deutlicher Vorteil der ZEBRA Zelltechnologie. Durch die Abwesenheit von Zellverbindern auf der Vorderseite kann auf der Vorderseite auch mit 100 Mikrometern Einkapselung ein Modul hergestellt werden, dass die Prüfung von Temperaturzyklen, Feuchte-Wärme und UV Beständigkeit nach IEC Norm 61215 besteht. Für BiSoNmodule mit vorderseitigen Verbindern entstehen Probleme wie Delamination und Verlust des elektrischen Kontakts zwischen Verbinder und Zellmetallisierung. Die Tests wurden bis zum dreifachen IEC Vorgabe (TC 600 usw.) durchgeführt. Für ZEBRA Module zeigte sich, dass selbst nach TC 600 ein Leistungsverlust unter 5% relativ auch mit 0,1 mm Einkapselmaterial erreicht werden konnte.

PID Tests mit TPU und backsheet von Isovoltaik

Speziell für Solarzellen aus n-Typ Basissilizium ist die potentialinduzierte Degradation (PID) nur durch ein hochwertiges Einkapselssystem zu vermeiden. Am ISC wurden Minimodule mit BiSoN Zellen und Isovoltaik Materialien unter Variation der Vorderseiteneinkapselungsdicke hergestellt und auf deren Resistenz gegenüber PID getestet.

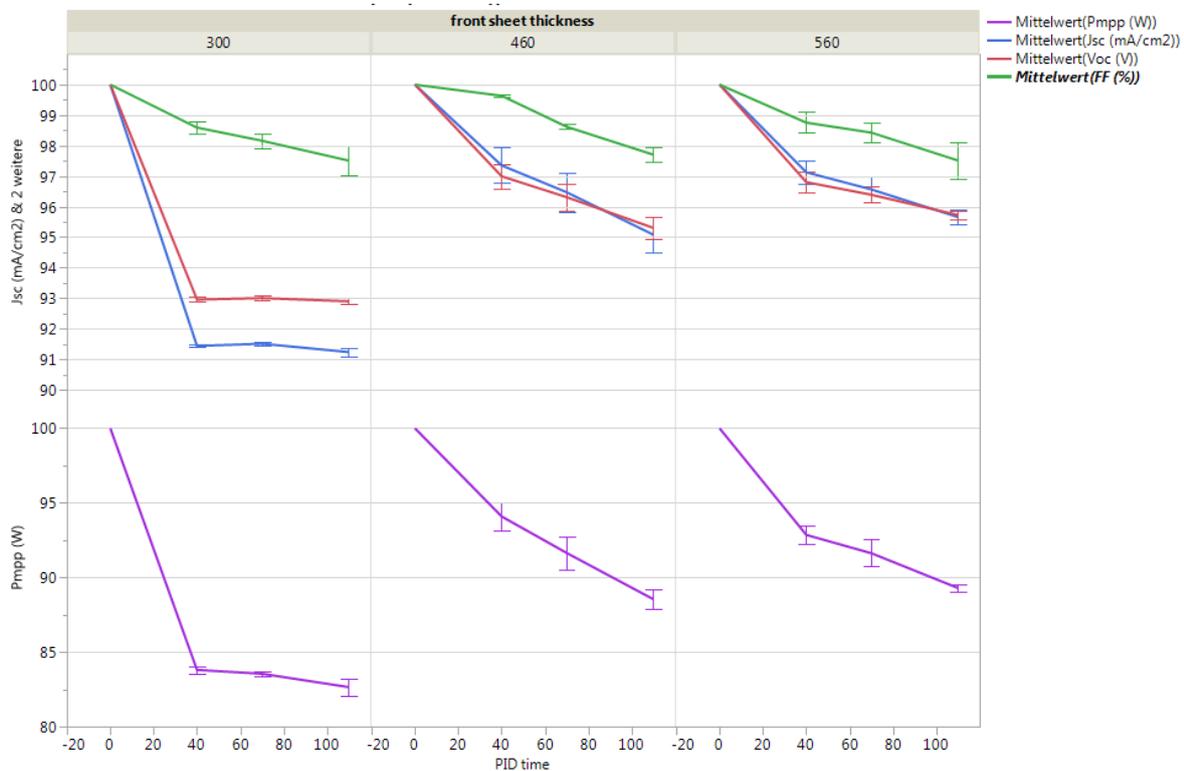


Abbildung 9: PID Testresultate für BiSoN Module mit Isovoltaik TPU und backsheet

Die Resultate zeigen, dass die Resistenz gegenüber PID von der Schichtdicke des Vorderseiteneinkapselmaterials abhängt. Allerdings tritt für alle Konfigurationen Degradation in einem hohen Masse auf. Die ist höchstwahrscheinlich dem Volumenwiderstand des Materials zuzusprechen. Vergleichsexperimente mit anderen Einkapselssystemen und denselben Zellen zeigen nach derselben Testzeit unter identischen Bedingungen noch keinerlei Degradation.

AP3 Glassentwicklung

In AP 3 wurden am ISC **funktionelle Bedingungen für dünne Solargläser** in Abstimmung mit Vetro Solar definiert, eine Zusammenfassung ist in Abbildung 10 dargestellt. Verschiedene Gläser mit Schichtdicken kleiner oder gleich 2 mm wurden angeschafft und nach Bedarf an die Partner verteilt. Am ISC wurden sie in Hinsicht auf Zell-zu-Modulverluste und Zuverlässigkeit geprüft.

Artikel - Bezeichnung	Floatglas for PV solar modules
Artikel - Nummer	R&D specification

Rohmaterial	
Zusammensetzung	Toleranzen nach DIN EN 572 -1:2004
Siliciumdioxid (SiO ₂)	72 M%
Calciumdioxid (CaO)	9 M%
Natriumoxid (Na ₂ O)	14 M%
Magnesiumoxid (MgO)	4 M%
Aluminiumoxid (Al ₂ O ₃)	1 M%
Iron (%)	<0.02 (low iron); Target <0.01
Ce (%)	0
Optische Eigenschaften	
Lichttransmissionsgrad (450nm ... 825 nm) (350nm ...1200nm)	>90% >90%
Solar Energy Transmittance, T _E	>91% ISO 9050:2003 table 2 AM1.5; between 300 and 1200 nm; glass of thickness 1.6 mm
Transmission degradation	<1%; DIN ISO 9211-4 solubility stress test
Surface gloss - pattern	25-90 Gloss Level at angle 60°; ISO 2813
Glasfehler	
Steine, Blasen, Einschlüsse	< 0,5 mm; kann ignoriert werden > 0,5 mm; keine Fehler (Inspektion gemäß DIN EN 572 -8:2004)
Kratzer	Breite max 1 mm, Länge max 5mm : max 4 Kratzer 5 mm ... 10 mm : max 1 Kratzer 10 mm ... 25 mm : keine Kratzer
Oberflächen-kontamination	Kein Schmutz, der nicht mit Waschmaschine abwaschbar ist
Visual quality	according to ESG - Norm EN 12150, but with edge of 16 mm

Geometrie	
Breite B	Ca. 990 mm ± 0,5mm
Länge H	Ca. 1650 mm ± 0,5mm
Dicke D	1,6 mm ± 0,2 mm bis 0,8 mm ± 0,1 mm
Rechtwinkeligkeit	Toleranz t des kleinsten zum größten umschreibenden Rechteck = +/- 2 mm Nach DIN EN 572-8:2004
Geradheit	
Lokale Verwerfung	0,2 mm/ 300 mm gemäß EN 12150-1:2000
Generelle Verwerfung	2 mm / m gemäß EN 12150-1:2000
Flatness/warp (Diagonally measured glass standing up)	< 1 mm
General warpage [mm/m]	≤ 1,0
Local Warpage [mm/300mm]	≤ 0,2

Bearbeitung	
Kante	geschliffen gemäß DIN 1249-11 bzw. DIN EN 12150-1 blank spots ("shining") not permitted
Ecken	Gestoßen C-Edge, Corner cut (1-3 mm) C-edge (Radius 2,5 mm)

Bohrung	
Durchmesser	t.b.d.
Bearbeitung	t.b.d.
Position	t.b.d.
Lagertoleranz der Bohrung	+/- 1 mm

Markierung	
Einzelscheibenmarkierung	Jede Scheibe wird eindeutig und individuell zum Zweck der Rückverfolgbarkeit markiert ESG Stempel Atmosphärenseite

Thermisches Vorspannen	
ESG	Gemäß DIN EN 12150-1:2000

Surface quality	
A.	Only clean, careful handling with special gloves at the edge (not on glass-surface)
B.	Washing with demineralised water < 20 µSiemens
C.	No contact with suckers on fire-side
D.	Tin side needs to be marked
E.	Tin count atmospheric side < 1800

Verpackung	
Verpackungshilfsmittel	L - Gestell
Packrichtung	Zinnseite aussen Landkarte Lochbohrung rechts unten
Stapelung	Mittig auf dem Gestell, Scheiben flächig ohne Auffächerung aneinandergestellt, Kanten dürfen seitlich max. 5 mm aus der Flucht stehen
Trennmittel	Lucite
Umverpackung	Stretchfolie Spannband
Markierung	Label mit u. a.: Datum der Glasherstellung Datum der Verarbeitung

Mechanical specifications	
Compressive strength	700 - 900 N / mm ²
Mechanical resistance	min. 120 N / mm ²
Fragmentation (within test area of 50 x 50 mm)	min. 15 pcs (longest fragment: 50 mm) Based on EN 1863-1
Minimum temperature difference ΔT	>150 K
Hydrolytic resistance DIN ISO 719	Class 3
Acid resistance DIN 12116	Class 3
Leach resistance DIN ISO 695	Class 3
NH3 resistance DIN EN60068-2-60	

Abbildung 10: funktionelle Anforderungen an dünne Solargläser die im Projekt definiert wurden

Transmissionsmessungen an Gläsern verschiedener Schichtdicken und Oberflächenstrukturen zeigten, dass die Transmission stärker von den Oberflächeneigenschaften als von der Glasdicke abhängt (Abbildung 11). Das 0,85 mm dünne Asai Glas, welches keine behandelte Oberfläche aufweist schneidet im für Si Zellen relevanten Wellenlängenbereich schlechter ab als das 2,1 mm dünne Antireflexbeschichtete (ARC) Glas von Interfloat. Das Glas mit der höchsten Transmissionsrate ist beidseitig ARC Beschichtetes Glas mit 1,1 mm Schichtdicke.

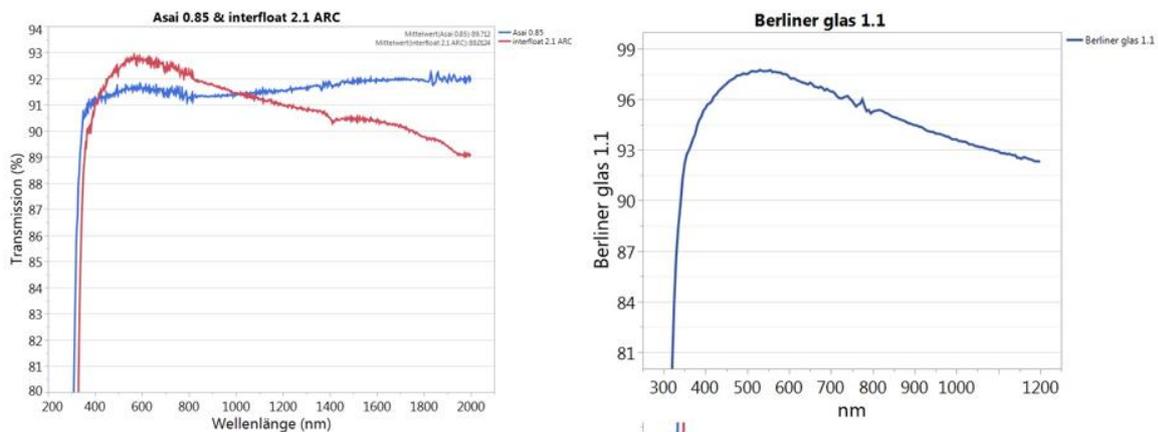


Abbildung 11: Transmissionsmessungen an verschiedenen Gläsern

AP4 Modulentwicklung

Dasselbe Verhalten, welches für die Transmission auf Glasebene gemessen wurde, spiegelt sich auch in den **relativen Zell-zu-Modulverlusten** im Kurzschlussstrom wieder. Um diese zu vermessen wurden am ISC intensive Optimierungen an den Laminationsrezepten vorgenommen, da die dünneren Schichtdicken mechanische (Verbiegung) und thermische (Wärmekapazität) Auswirkungen auf den Laminationsprozess bzw. das auf die Probe wirkende Temperaturprofil haben, weshalb die Laminationsrezepturen je Glasschichtdicke angepasst werden mussten. Bei Bestimmung der Zell-zu-Modulverluste zeigt sich wieder dass die Absorption im Glas, vorausgesetzt das Glas ist eisenarm und von entsprechender Güte, weit weniger Auswirkungen auf die Transmission und somit die Moduleigenschaften hat als die Oberflächenbehandlung zur Senkung der Reflektion. Abbildung 12 zeigt diesen Sachverhalt für Ergebnisse, die mit Ein-Zell Minimodulen und BiSoN Zellen am ISC gemessen wurden.

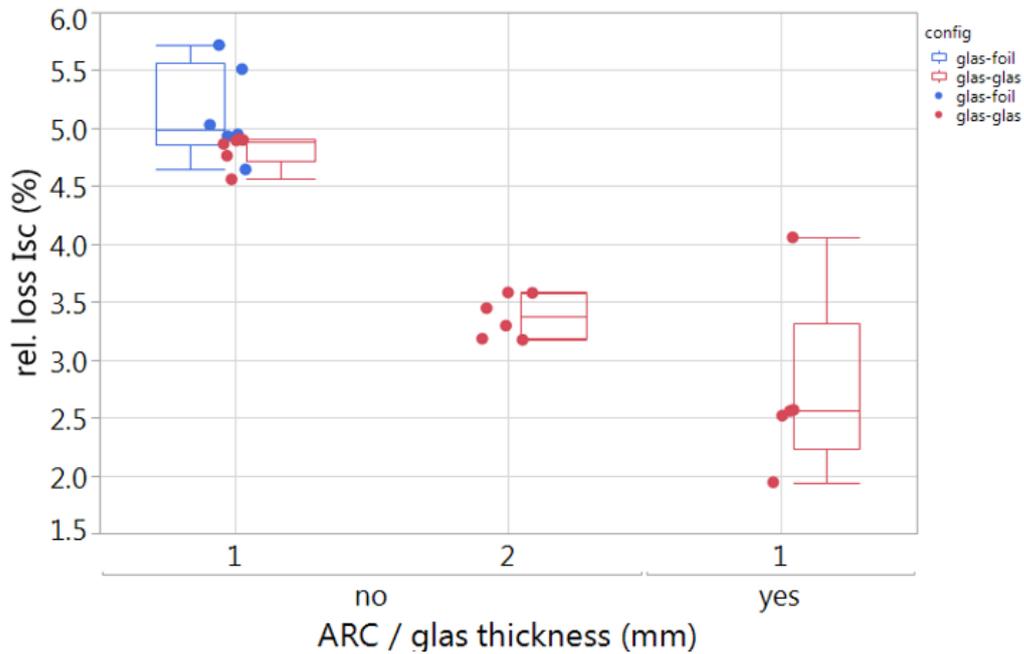


Abbildung 12: Zell-zu-Modulverluste im Kurzschlussstrom für verschiedene Gläser

Des Weiteren wurden die Minimodule in Hinsicht auf ihre Resistenz gegenüber Klimakammertest geprüft. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sind in gezeigt.

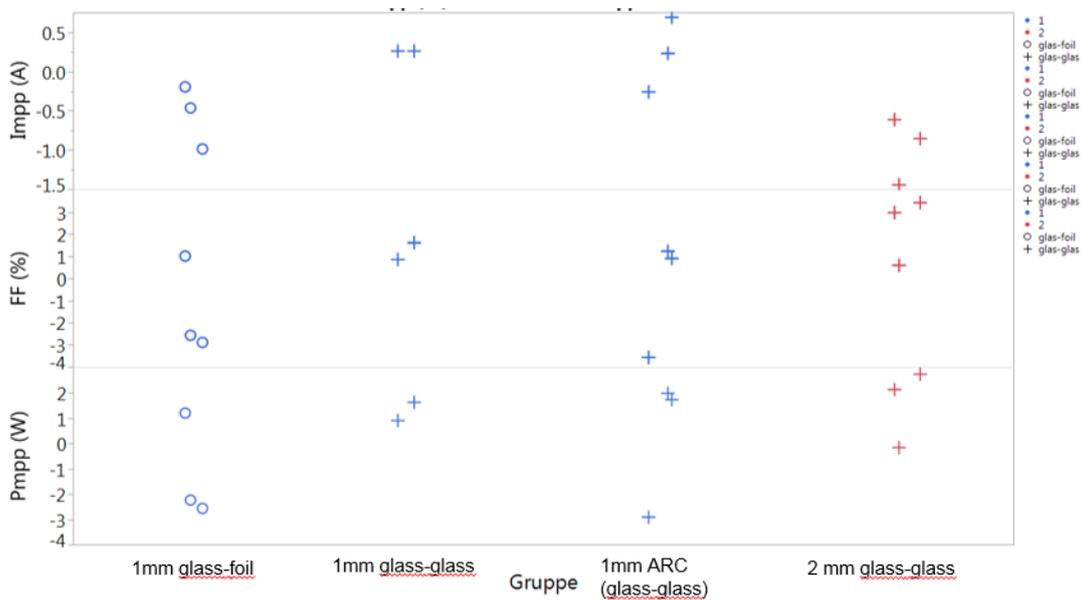
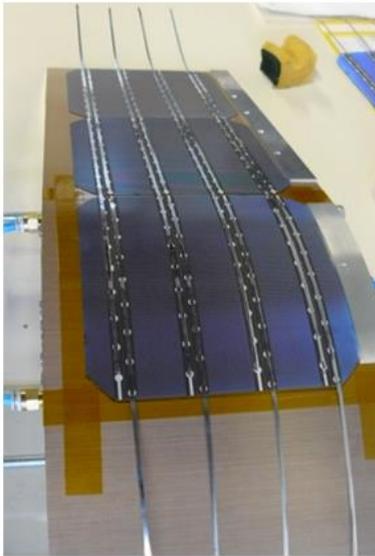


Abbildung 13: Ergebnisse von 1000 Stunden Feuchte-Wäreme-Prüfung nach IEC 61215 für Module mit verschiedenen dünnen Gläsern

Hier stellte sich heraus dass die Glasart und -Dicke keine relevante Auswirkung auf die Zuverlässigkeitsprüfung hat.

Im weiteren Projektverlauf wurden verschiedene **Testmodule mit ZEBRA Zellen** aufgebaut und bezüglich ihrer Betriebseigenschaften charakterisiert. Zur Vermeidung der Zellverbiegung nach

Anbringung der Zellverbinder wurden die Zellen mit einer **neuen Verschaltungsmethode** kontaktiert, die in Abbildung 14 beschrieben ist.



Löten mit Vorbiegung:

- chuck temperature: 50° C
- solder temperature: 325 ° C
- manual fluxing and soldering
- fix radius of vacuum chuck

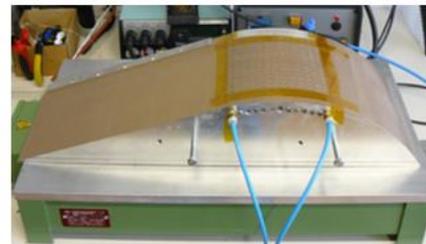


Abbildung 14: Methode zur Vermeidung der Zellverbiegung während der Verschaltung von ZEBRA Zellen

Die ZEBRA Zellen wurden unter Vorspannung entgegen der Richtung der Verbiegung aufgrund der thermomechanischen Spannungen zwischen Zelle und Verbinder gelötet, was die Herstellung von flachen Strings zur einfachen Weiterverarbeitung ins Modul erlaubt. So konnten einige 4 Zell Module und auch ein ultraleichtes 60-Zell Modul hergestellt werden.

Tabelle 3: Leistungswerte und Zell-zu-Modulverluste für die besten hergestellten 4 Zell Module

	<u>module</u>	<u>Voc (V)</u>	<u>Isc (A)</u>	<u>FF (%)</u>	<u>Pmpp (W)</u>
3.2 mm ARC	front side	2.68	9.95	78.0	20.8
	CTM (%)	0.59	-0.56	2.8	2.9
0.85 mm	front side	2.64	9.59	76.10	19.3
	CTM (%)	0.3	2.8	1.7	4.7

*measured with black frame in 1 mm distance to edge

Die erreichten Zell-zu-Modulverluste sind für wieder zumeist von der Oberflächenstruktur des Glases abhängig. Wäre 0,85 mm dünnes Glas mit ARC Beschichtung verfügbar gewesen, hätten für das 0,85 mm Glas Modul vergleichbar niedere Werte wie für das 3,2 mm Glas Modul erreicht werden können.

Im weiteren Projektverlauf wurde ein **ultraleichtes, bifaziales 60 Zell ZEBRA Modul ohne Bypassdioden** hergestellt. Die Eckdaten der Herstellung und der Moduleigenschaften sind in Abbildung 15 gezeigt.



Abbildung 15: ultraleichtes ZEBRA Modul, von Hand gelötet mit Zellen die nur einen niederen Wirkungsgrad aufweisen

Bifaziale Messungen nach IEC 60904-1-2 zeigen das hohe Potential der bifazialen Technologie. Für eine Bestrahlung von 1.000 W/m² von der Vorderseite und einem Albedo von 0,2, was ca. grünem Gras entspricht ergibt sich ein Leistungsgewinn von 15% gegenüber der monofazialen Konfiguration.

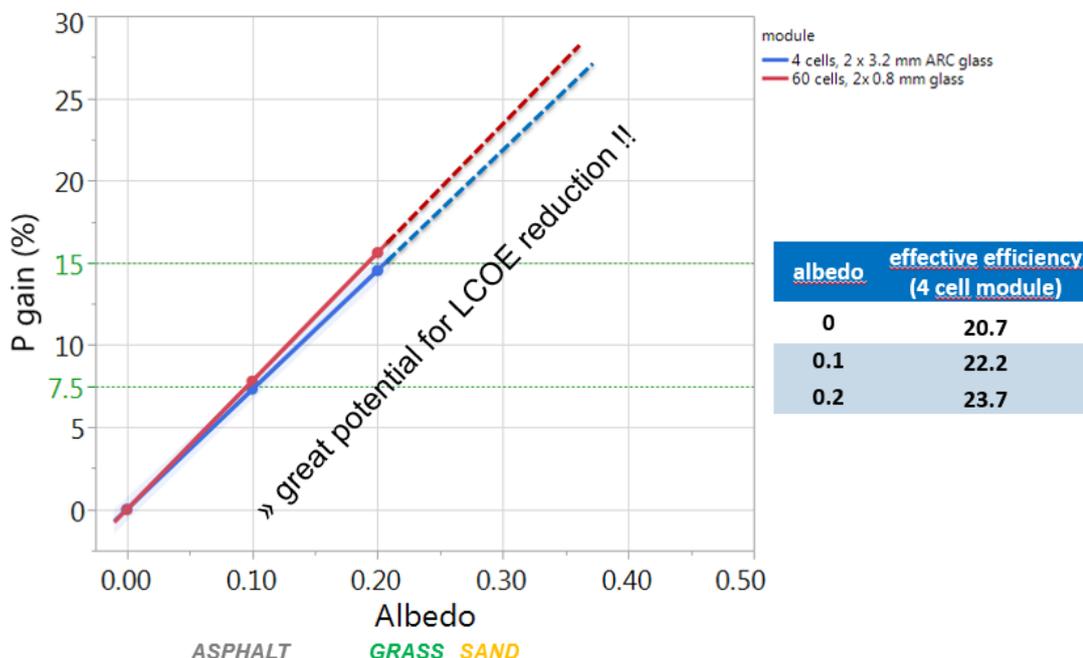


Abbildung 16: bifaziale Messung (Leistung über effektive Einstrahlung) laut IEC 60904-1-2 für ein 4 Zell ZEBRA Modul mit ARC beschichtetem Glas und einem 60 Zell ZEBRA Modul mit 0,85 mm dickem Glas

Neben Glasmodulen wurden auch verschiedene **Module mit PlastiksUPERSTRATEN als vorderseitige Schutzschicht** hergestellt und auf ihre elektrischen, mechanischen und optischen Eigenschaften hin getestet. Dabei konnten ausschließlich Module mit EFTE Vorderseitenfolie erfolgreich TC200 Tests nach IEC 61215 bestehen. Alle geprüften alternativen Ansätze zur Modulherstellung wie z.B. Polycarbonatscheiben verschiedener Hersteller in Kombination mit TPU von Isovoltaik oder flüssigem Silikon erlitten während der Temperaturzyklenprüfung schwerwiegende Schäden aufgrund der großen Unterschiede der thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen Silizium und alternativer Vorderseitenabdeckung, die auch nicht durch das Einkapselsystem gemildert werden konnte. Beispiele für geschädigte Module sind in Abbildung 17 gegeben.

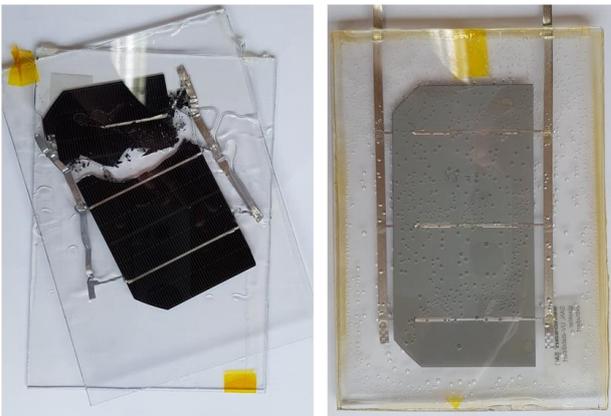


Abbildung 17: beschädigte Testmodule mit Polycarbonatscheiben nach Temperaturzyklenprüfung

Für das Erreichen der Projektziele wurde nach anfänglichen Untersuchungen und Austausch der Erfahrungen mit den Partnern **Module mit GFK Rückseitenlage und ETFE Vorderseitenlage** hergestellt. Am ISC wurde hierfür die bifaziale BiSoN Zelle hergestellt, mit dem Laser halbiert und dann zu Strings verlötet. Diese **neue Verbindungsmethode** erlaubte das Erreichen hoher Modulfüllfaktoren. Die Lamination wurde mit Hilfe eines eingelegten Stabilisierungsnetzes durchgeführt um übermäßiges Schrumpfen zu vermeiden. Mit diesem Ansatz wurden monofaziale und bifaziale Module mit 72 Halbzellen hergestellt. Eine maximale Vorderseitenleistung von 169 Watt wurde mit dem in Abbildung 18 gezeigten Modul erzielt.



Abbildung 18: ETFE (Vorderseite) - GFK (Rückseite) Laminat mit BiSoNzellen

Die Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele mit den Projektergebnissen

Generell gesehen konnten fast alle Ziele erreicht werden. Aufgrund der Insolvenz von Vetro konnten einige Arbeiten in AP3 nur teilweise, nur mit zugekauftem Glas oder gar nicht durchgeführt werden. Dies wurde jedoch mit dem PTJ zuvor abgesprochen. Teilweise konnten die Ziele nicht im vollen Umfang oder nicht mit einer individuellen Probe demonstriert werden.

In Tabelle 4 werden alle Arbeitspunkte diskutiert, in die das ISC involviert war, auch die, an denen das ISC nur einen kleinen Anteil hatte.

Tabelle 4: Gegenüberstellung der Projektergebnisse mit den vorgegebenen Zielen

task	Name	Who
D 1.1	Simulation and experimental verification of best diffusion profiles, metallization pastes and layouts for cells with defined reverse characteristics	ISC
» Ziel wurde eingehalten		
D 1.2	Report and samples on developed and processed cells specific for the project goals	ISC
» Ziel wurde eingehalten		
D 1.3	Report on thermal investigation on cell and module level to optimize cell process	ISC
» Ziel wurde eingehalten		
D 1.4	Process large quantities of standard, Zebra and Bison cells for the project goals	ISC
» Ziel wurde eingehalten		
D1.5	Sample cells for project goals with specific reverse characteristics	ISC
» Ziel wurde eingehalten		
M4	Bifacial solar cells with an efficiency of 20.7%. IBC Zebra solar cells with an efficiency of 21.7% with defined reverse characteristics in order to avoid the need of bypass diodes available to substitute bypass diodes on module level: <ul style="list-style-type: none"> · Reverse breakthrough at a maximum reverse voltage of -4 V achieved (at 10 A corresponding to 1 sun) · After 10 hours of injected reverse current of 10 A no measurable degradation of the cell efficiency (inside measurement uncertainties) 	ISC
» Ziel wurde nicht komplett eingehalten: <ul style="list-style-type: none"> - Die im Projekt hergestellten BiSoN Zellen erreichten einen Wirkungsgrad von maximal 20.5% im Gegensatz zu den geplanten 20.7%. Dies ist kein generelles Problem, nach Projektende konnte während unabhängiger Arbeit am selben Zellkonzept ein Wirkungsgrad von 20.9% erreicht werden. - Die Durchbruchsspannung von ZEBRA Zellen konnte bis auf – 2.9 V (@ 10 A) erniedrigt werden, nicht jedoch ohne Kompromisse im Wirkungsgrad. Zellen mit Wirkungsgrad von 22% wiesen eine Rückwärtsspannung von -4.5 V auf statt den angesetzten -4 V. 		

task	Name	Who
M7	Qualified new encapsulant and backsheets passing all the requirements on quality and durability: <ul style="list-style-type: none"> · High resistance against UV, humidity and insensitivity to PV specific degradation effects (No embrittlement after 3000h of DH, Yellowness Index <10 after 300 kWh/m² UV, no PID) · Thickness reduction of the encapsulant materials (100-200 µm) to achieve cheaper and lightweight modules and lamination times of below 10 minutes Sufficient adhesion (>50 N/cm) between all layers, no delamination after accelerated and outdoor aging	Isovoltaic, All
» Ziel wurde nicht komplett eingehalten: - Die PID Resistenz des Isovoltaik-TPU war nicht vollständig gegeben, wie die Versuche in AP2 zeigen.		
D3.1	Prepare functional requirements for the glass - Target version	ISC, PV Products, Vetro
» Ziel wurde eingehalten		
D3.2	Prepare functional specification for the glass - Final version	ISC, PV Products, Vetro
» Ziel wurde eingehalten		
D3.3	CoO calculation of the glass and module	ZHAW, ISC, Vetro, PV Products
» Ziel wurde eingehalten		
D3.4	Production of prototype glass	ISC, Vetro
» Ziel wurde eingehalten		
D3.5	Test of the glasses against functional requirements	ISC, Vetro
» Ziel wurde eingehalten		
D3.6	Mechanical, climatic testing and hail tests	ISC, Vetro
» Ziel wurde eingehalten		
M5	A solar glass product for light weight glass/glass PV modules has been developed that support the design goals defined in WP4 and conforms to the IEC standards 61215 and 61646 and the Semi standard for ARC glass SEMI-PV47-0513	ISC, Vetro Solar, All
» Ziel konnte aufgrund der Insolvenz von Vetro nicht eingehalten werden		
D4.1	Conception design of the modules based on glass/glass	ZHAW, All
» Ziel wurde eingehalten		
D4.2	Conception design of the modules based on glass/foil	ZHAW, All
» Ziel wurde eingehalten		
D4.3	Conception design of the modules based on alternative approaches	ZHAW, All
» Ziel wurde eingehalten		
D4.4	Prototype glass/glass and glass/foil modules (and reference modules)	ZHAW, All

task	Name	Who
» Ziel wurde eingehalten		
D4.5	Prototype module on alternative approaches	ZHAW, All
» Ziel wurde eingehalten		
D4.6	Internal report on module testing	ZHAW, All
» Ziel wurde eingehalten		
M6	Glass/glass PV modules using glass thicknesses below 2 mm with a specific weight of less than 12 kg/m ² and light glass/foil modules, all with CTM losses <2%, no bypass diodes required, passing all relevant tests according to IEC 61215 and IEC 61646, showing a cost saving potential of 30% in an bifacial version with optional mounting adapters for easy integration into the system.	All
» Ziel wurde nicht komplett eingehalten: - Der antizipierte Zell-zu-Modulverlust von unter 2 % für die Demonstratoren konnten aufgrund der nicht-Verfügbarkeit von ARC beschichtetem dünnen Glas nicht eingehalten werden.		
D4.7	Internal report on outdoor testing	ZHAW, All
» Ziel wurde eingehalten		
M8	PV prototype module using alternative materials as an alternative to glass with a specific weight of 2.5kg/m ² or below with a size of at least 1 m ² , CTM loss<4%, with optional mounting adapters for easy integration and specific characteristics making them suitable for applications where ultra-light weight modules are an indispensable requirement for the PV system	ZHAW, ISC, All
» Ziel wurde nicht komplett eingehalten: - Der angegebene Zell-zu-Modulverlust von unter 4% konnte nicht eingehalten werden, stattdessen wurden 4.5% erreicht.		
D5.1	Press Release and publishable project materials available on partner's web sites	All
» Ziel wurde eingehalten		
D5.2	Report: Assessment of exploitability of project results	All
» Ziel wurde eingehalten		
D5.3	At least five presentation at conferences	All
» Ziel wurde eingehalten		
D5.4	At least two publications in peer reviewed scientific journal	All
» Ziel wurde bisher nicht eingehalten: - bisher ist eine Veröffentlichung in Planung: H. Chu et al. : « Physical mechanics of the breakdown in IBC cells » - gerade in Arbeit, soll veröffentlicht werden in : IEEE journal of photovoltaics		

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Von einem Gesamtbudget von 341.379,01 Euro entfiel, wie im Finanzierungsplan vorgesehen, der größte Teil der Ausgaben auf Personalkosten (229.725,59 Euro). Bei den sonstigen Ausgaben handelt es sich überwiegend um Ausgaben für Verbrauchsmaterialien, die zur Herstellung der

Solarzellen benötigt wurden (44.804,39 Euro) und Investitionen (48.566,88 Euro). Die Reisekosten waren deutlich geringer als erwartet (4.309,52 Euro statt 9.633,00 Euro).

Weitere Details werden dem Projektträger mit dem vollständigen Verwendungsnachweis vorgelegt.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

In Anbetracht des erzielten Ergebnisses lässt sich erkennen, dass alle vom ISC Konstanz e.V. durchgeführten Arbeiten notwendig und angemessen waren, um die Ziele des Vorhabens zu erreichen. Teilweise führten Arbeiten nicht zum erwarteten Ergebnis, wie vorher beschrieben wurden jedoch nahezu alle Projektziele erreicht.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Das in U-Light entwickelte Know-how wird und hat schon sowohl wirtschaftlich als auch wissenschaftlich zu einer sehr starken Weiterentwicklung des ISC Konstanz geführt. Der ISC Konstanz e.V. konnte im Rahmen dieses Verbundprojekts seine Kompetenzen zur Herstellung von bifazialen (Rückkontakt-) Solarzellen (BiSoN + ZEBRA) und speziell ultraleichten (Rückkontakt-) Modulen ausbauen. Auch wurden im Projekt Herstellungsmethoden entwickelt, die es dem ISC Konstanz e.V. noch effektiver ermöglichen, eigene, bifaziale Rückkontaktmodule herzustellen. Im Rahmen des Projektes wurde das weltweit erste verbinderbasierte bifaziale Rückkontaktmodul mit ZEBRA Zellen mit einer gesamten Dicke unter 3 mm am ISC hergestellt. Die Arbeiten auf Zellebene zur Rückwärtscharakteristik haben das Durchbruchverhalten der ZEBRA Zelle so weit verbessert, dass einer Überführung in die industrielle Produktion bezüglich dieses Aspekts keine Grenze gesetzt ist. Momentan wird das ZEBRA Zellkonzept beim finnischen Lizenznehmer Valoe der bei Solitek in Litauen in die Produktion überführt, so erweitert das Institut sein Profil entscheidend. In Bezug auf die Zell- und Modulprozessierung und – Charakterisierung konnte das neue erarbeitete Wissen auf Konferenzen und in wissenschaftlichen Journalen veröffentlicht werden was die Sichtbarkeit des ISC als Forschungspartner erhöhte. Eingehende Erfahrung mit dem Umgang mit Glasalternativen als Vorderseitenlage wurden gesammelt werden welche in Zukunft u.a. eingesetzt werden, um im europäischen Projekt Hi-Light (H2020) auf deren Basis Spezialmodule für den Einsatz in Automobilen zu entwickeln.

II.5 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt

Bezüglich Modulen mit Glasvorderseite hat sich während der Durchführung des Vorhabens kaum ein Fortschritt ergeben. Die industriell standardmäßig genutzte Scheibendicke für Glass-Glass Module liegt bei 2,5 mm in China und 2 mm in Europa. Dünnere Scheiben die den Projektvorgaben entsprachen konnten nur von Asai Glas erworben werden – allerdings ohne ARC und nur während der ersten 2 Projektjahre. Asai hat die Herstellung von dünnem Solarglas aufgrund negativer Kostenrechnungen und fehlendem Marktinteresse 2017 eingestellt. Bezüglich Polymerbasierter Module gab und gibt es eine Vielzahl von Herstellern, die solche Module zur liegenden Anwendung vertreiben. Somit muss die gesamte Modulfläche unterstützt sein um mechanische Belastungen abzufangen. Ein Konzept inklusive Aufständigung bzw. mit

rückseitiger Verstärkung wie in U-Light entwickelt ist uns bisher nicht bekannt.

II.6 Veröffentlichungen im Rahmen des Vorhabens

Zur Verbreitung der Projektergebnisse waren gemeinsame Beiträge der Projektpartner bei internationalen Konferenzen und Fachjournalen geplant. Hier folgt eine Liste der Veröffentlichungen bis zum heutigen Stand:

- S. Großer et al.: “Characterization of the Reverse Breakdown Inhomogeneity of ZEBRA IBC Solar” Cells;
DOI: 10.4229/35thEUPVSEC20182018-2AO.4.6
- H. Chu et al.: “Characterization and simulation of IBC Modules featuring cells with soft breakdown characteristic”, präsentiert während der “PV Days” Konferenz, September 27-28 2016, Halle
- G. Oreski et al.: “Investigation of Effects due to Encapsulation Thickness Reduction in Light Weight Modules” präsentiert während der EUPVSEC 2017, Amsterdam
- H. Nussbaumer et al.: “Small Unit Compound Modules: A New Approach for Light Weight PV Modules”;
DOI: 10.4229/EUPVSEC20162016-1B0.12.510.21256/zhaw-4895
- H. Nussbaumer et al.: “Record-Light Weight c-Si Modules Based on the Small Unit Compound Approach – Mechanical Load Tests and General Results”;
DOI: 10.4229/EUPVSEC20172017-1CV.3.6910.21256/zhaw-4897
- Photon_2016 „Gitter statt Rahmen“, Photon, No.10 / 2016, p. 32, A. Kreuzmann, 2016.
- H. Chu et al. : « Physical mechanics of the breakdown in IBC cells » - gerade in Arbeit, Veröffentlichung geplant in : IEEE journal of photovoltaics
- Pressebericht im Südkurier: <http://www.suedkurier.de/region/kreis-konstanz/konstanz/Konstanzer-Solarinstitut-ISC-forscht-in-Projekt-an-leichteren-Solarmodulen-mit;art372448,8515082>

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht	
3. Titel Schlussbericht Solar-Era.Net-Projekt: U-Light – „Entwicklung von neuartigen Solarmodulen mit geringem Gewicht, hoher Effizienz und niedrigen Kosten für die Systemintegration“		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Andreas Halm	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.10.2018	
	6. Veröffentlichungsdatum	
	7. Form der Publikation Schlussbericht	
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) International Solar Energy Research Center Konstanz (ISC)	9. Ber.-Nr. Durchführende Institution	
	10. Förderkennzeichen 0325886A	
	11. Seitenzahl 25	
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) BMW	13. Literaturangaben 6	
	14. Tabellen 4	
	15. Abbildungen 18	
16. Zusätzliche Angaben		
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)		
18. Kurzfassung Im Solar-Era.Net-Projekt: U-Light – „Entwicklung von neuartigen Solarmodulen mit geringem Gewicht, hoher Effizienz und niedrigen Kosten für die Systemintegration“ wurden ultraleichte Solarmodule entwickelt. Der Bericht fasst die Arbeiten des ISC Konstanz im Projektrahmen zusammen. Im Rahmen des Projekts "U-light" wurden neue Leichtbaumodule unter Verwendung von dünnem, starkem, preisgünstigem Glas und durch die Verwendung von Kompositmaterialien wie glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) hergestellt. Bei der Entwicklung von ultraleichten Modulen war die Reduzierung der Dicke für alle Schichten ein klares Ziel unter Beibehaltung der geforderten funktionellen Eigenschaften. Die Zellforschung in diesem Projekt konzentrierte sich auf die Entwicklung von IBC ZEBRA-Solarzellen mit intrinsischen Bypass-Dioden ohne zusätzliche Kosten. Dies sollte die Herstellung von Solarmodulen ohne Bypassdiode ermöglichen.		
19. Schlagwörter Leichtbaumodul, IBC, reverse breakdown, dünnes Solarglas, bifaziales Modul, Kompositmaterialien		
20. Verlag	21. Preis	

Nicht änderbare Endfassung mit der Kennung 852040-6

Document control sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Veröffentlichung (Publikation)	
3. title Solar-Era.Net project: U-Light - "Development of novel solar modules with low weight, high efficiency and low costs for system integration".		
4. author(s) (family name, first name(s)) Andreas Halm	5. end of project 31.10.2018	6. publication date
	7. form of publication Sonstiges	
	8. performing organization(s) name, address International Solar Energy Research Center Konstanz (ISC)	
12. sponsoring agency (name, address) BMW i	9. originators report no.	
	10. reference no. 0325886A	
	11. no. of pages 25	
13. no. of references 6	14. no. of tables 4	
	15. no. of figures 18	
	16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)		
18. abstract In the Solar-Era.Net project: U-Light - "Development of novel solar modules with low weight, high efficiency and low costs for system integration" ultra-light solar modules were developed. The report summarizes the work of the ISC Konstanz within the project framework. Within the framework of the "U-light" project, new lightweight modules were produced using thin, strong, low-cost glass and composite materials such as glass-fibre reinforced plastic (GRP). In the development of ultra-light modules, reducing the thickness of all layers was a clear objective while maintaining the required functional properties. Cell research in this project focused on the development of IBC ZEBRA solar cells with intrinsic bypass diodes at no additional cost. This should enable the production of solar modules without bypass diodes.		
19. keywords light weight module, IBC cell, reverse breakdown, thin solar glass, bifacial module, composite materials		
20. publisher	21. price	

Nicht änderbare Endfassung mit der Kennung 852041-6