

Schlussbericht nach Nr. 3.2 BNBest-BMBF 98

Forschungsvorhaben E! 7232

Förderkennzeichen: 01QE1231

Titel des Gesamtvorhabens:

ModerN-Type –

Neuartige Höchstleistungsmodule mit hocheffizienten n-Typ Rückkontaktsolarzellen

Titel des Teilvorhabens:

ModerN-Type –

Anpassung hocheffizienter n-Typ Rückkontaktsolarzellen und Materialien für Höchstleistungsmodule

Zuwendungsempfänger:

International Solar Energy Research Center (ISC) Konstanz e.V.

Rudolf-Diesel Straße 15

78567 Konstanz

Autor: Andreas Halm

Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2012 bis 31.03.2015

INHALTVERZEICHNIS

I.	Kurze Darstellung	3
I.1	Aufgabenstellung.....	3
I.2	Voraussetzungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde	4
I.3	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	5
I.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	7
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.1.1	Verwendung der Zuwendungen	9
II.1.2	Erzielte Ergebnisse im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	9
II.2	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	17
II.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	17
II.4	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	18
II.5	Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet bei anderen Stellen	18
II.6	Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6.....	18

I. KURZE DARSTELLUNG

I.1 Aufgabenstellung

Im Projekt ModerN-Type arbeiteten der ISC Konstanz e.V. mit zwei niederländischen Partnern zusammen. Zum Einen das KMU Eurotron BV, Entwickler, Hersteller und Vertreiber einer kompletten Fertigungsstecke zur Fertigung von Solarmodulen für Rückkontaktsolarzellen – sog. MWT („metal wrap trough“) Solarzellen. Zum Anderen das KMU BCC, das auf die Akquise von Geldern für die Entwicklung neuer Geschäftsfelder spezialisiert ist. BCC ist seit 15 Jahren in der Photovoltaik tätig und beschäftigt sich auch mit der ökonomischen und ökologischen Begutachtung neuer Technologien.

Zusammen mit den Projektpartnern wurden neue, kostengünstige, aber höchsteffiziente Prozesse zur Rückkontaktsolarzellen- und Modulherstellung entwickelt. Ziel des Teilvorhabens war es durch grundlegende Untersuchungen die Rückkontaktsolarzelle in allen Einzelheiten zu verstehen und das Moduldesign optimal auf diese anzupassen. Diese innovativen Entwicklungen auf Zell- und Modulebene sollten zu hohen Wirkungsgraden und entsprechend zu geringen Kosten pro Wattpeak führen. Das Ziel war es, Modulwirkungsgrade über 20% zu erreichen und durch Materialeinsparungen und niedrige Prozesskosten einen Herstellungspreis unter 0,7 €/Wp zu erreichen.

Hier folgt eine kurze Beschreibung der Beiträge des ISC Konstanz e.V. zu den einzelnen Arbeitspaketen:

- *AP1: Frontseite*

AP1 war in drei verschiedene Arbeitsbereiche (Tasks) untergliedert und hauptsächlich den Einkapselmaterialien gewidmet. Um nicht viel Licht im kurzwelligen Bereich zu verlieren wurden viele Materialien untersucht, die das Licht unterhalb von 400nm nicht schlucken, wie es bei Verwendung von Standard-EVA (Ethylenvinylacetat) in der Regel geschieht. Hierzu sollten viele auf dem Markt angebotene Folien, wie z.B. verbessertes, auch zweikomponentiges EVA, Silicone, PVB und Ionomere untersucht und getestet werden. Hierbei geht es nicht nur um optische Eigenschaften in Task 1.1, sondern auch ganz besonders im Task 1.2 um mechanische und auch Langzeitstabilität. Für die Konkurrenzfähigkeit der Technologie ist es besonders wichtig, dass die Module wenigstens 20-25 Jahre im Freien überdauern.

- *AP2: Rückseite*

Im AP2 war der Optimierung der Rückseite gewidmet. Hierbei war besonders wichtig, dass die extrem hohen Stromdichten unserer Solarzellen von über 41 mA/cm² (Standard 36-39 mA/cm²) auch richtig abgeführt werden können. Das kann bei einer 156x156mm²-Solarzelle einen Gesamtstrom von 10A ausmachen. Das heißt, dass die Kontakte zwischen Zelle und Kupferfolie stabil geklebt sein müssen und der Strom auch ohne Widerstandsverluste abfließen kann. Verluste können an den Verbindungen oder in den

Leiterbahnen auftreten. Deshalb mussten passende Leitkleber gefunden werden, und es musste genug Metall in den Leiterbahnen vorhanden sein – im Interesse der Kosteneffizienz aber auch nicht zu viel. Im Task 2.1 wurde die Rückseitengeometrie der ZEBRA-Zelle so angepasst, dass alle besprochenen Voraussetzungen erfüllt sind. 3D Simulationen wurden verwendet, um die ideale Situation zu simulieren. Im Task 2.3 wurden schließlich viele Leitkleber auf dem Markt untersucht, und SoltaBond (Unterauftragnehmer) entwickelte eine Paste für derartige Anwendungen.

- *AP3: kleine Modultests*

In AP3 wurden Mini-Module mit den optimalen und angepassten Materialien aus AP1 und AP2 hergestellt und getestet. Minimodule erlauben es, viele Tests durchzuführen, ohne dass viel Material verwendet werden muss. Das Getestete konnte dann auf größere Module im AP 4 übertragen werden. Im Task 3.1 sollten also solche 2x3-Zeller hergestellt werden sowie vermessen, in Task 3.2 in Außenmessungen und in Task 3.3 in weiterführenden detaillierten Charakterisierungen im Labor. Die Module wurden z.B. auf Durchbruch, PID (Potential Induced Degradation), Polarisierungseffekte und Langzeitstabilität hin untersucht. Dieses Arbeitspaket umfasste 12,72 Personenmonate und Unteraufträge in Höhe von 54.132 Euro, die hauptsächlich an SoltaBond (Hersteller von Leitklebern) und Multek oder Dupont (Hersteller von transparentem, leitfähigem Backsheet) erteilt werden sollten.

- *AP4: Demonstratoren: große Module*

AP4 war 60-Zellen-Modulen gewidmet. Hier wurden die Erkenntnisse aus den vorangegangenen Arbeitspaketen verwendet, um große Module herzustellen. Dieses AP wurde hauptsächlich von Eurotron BV bearbeitet, der ISC Konstanz e.V. stellte die benötigten Zebra Zellen her; die verwendeten Materialien und Prozessparameter wurden zusammen mit Eurotron BV aufgrund der in AP3 gesammelten Erfahrungen festgelegt.

- *AP5: Cost of Ownership*

Im AP5 wurden Berechnungen zur Kostenanalyse des Konzeptes und zur Energiebilanz durchgeführt. Die wesentliche Aufgabe des ISC Konstanz in diesem Arbeitspaket war es, Daten zur detaillierten Analyse bereitzustellen.

- *AP6: Koordination*

ISC Konstanz nahm an Treffen teil und verfasste Berichte.

I.2 Voraussetzungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde

Der ISC Konstanz e.V. verfügte vor Projektbeginn über umfangreiche Kenntnisse im Verschalten von Zebra Zellen mittels Lötbändchen mit Hilfe von leitfähigem Kleber sowie deren Verarbeitung zu Testmodulen also auch die Lamination von Rückkontaktmodulen und die Charakterisierung verwendeter Verbrauchsmaterialien wie z.B. EVA. Desweiteren gehörte die Charakterisierung solcher Testmodule am Sonnensimulator, mittels Elektrolumineszenz- und

Photolumineszenzaufnahmen schon vor Projektbeginn zu den Kompetenzen des ISC Konstanz e.V. genauso wie die Prüfung deren Leistungs- und Widerstandsfähigkeit mittels Außenmessungen, PID- und Klimakammertests (speziell Temperaturzyklentest und Feuchte-Wärme Test nach IEC Norm). Der Prozess zur Herstellung der Zebrazelle, welche eine Rückkontaktsolarzelle mit rückseitigem p-n Übergang ist, wurde komplett am ISC Konstanz e.V. unter Verwendung von industrierelevanten Fertigungsmethoden wie Siebdruck, Rohrdiffusion und Laseröffnung von Dielektrika entwickelt und war am Projektbeginn schon reif für die Überführung in die industrielle Produktion.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Bereits während der Erstellung des Antrags und in der Vorbereitungsphase fand ein intensiver Ideenaustausch zwischen den Partnern statt. Der Ablauf des Vorhabens – soweit der ISC Konstanz e.V. involviert war- war wie folgt:

	Beschreibung der Tätigkeit
AP1	<p>Frontseite</p> <p>Aufgrund des einfachen Aufbaus der Vorderseite der Zebra Zelle (keine Metallfinger) ergeben sich neue Freiheiten für die Verbesserung der Vorderseite des Rückkontaktsolarmoduls im Gegensatz zum Standardmodul. Dieses Arbeitspaket war in drei Themenbereiche gegliedert:</p> <p>Task 1.1: Auswahl und Evaluation von Einkapselmaterialien</p> <p>Task 1.2: Lebensdauer- und Stabilitätsprüfung</p> <p>Task 1.3: Entwicklung eines Prototyps zur Perforation des Einkapselmaterials</p> <p>Im Folgenden sind die „Deliverables“ und Meilensteine dieses APs dargestellt, soweit das ISC Konstanz für sie verantwortlich war:</p> <p>D1.2 Materialtests und Bericht (Monat 12 – M12)</p> <p>M1.1 Entscheidung über das zu verwendende Material (M12)</p>
AP2	<p>Rückseite</p> <p>Die Rückseitenarchitektur der Zebra Zelle ist komplex, da sie Metallfinger und Sammelbusbars für beide Polaritäten beherbergt. In diesem Arbeitspaket werden die Struktur sowie Verbrauchsmaterialien der Zellrückseite und der leitfähigen Rückseitenfolie so aufeinander angepasst, dass eine möglichst simple Gesamtstruktur die geringe ohmsche Verluste ermöglicht entsteht. Das Arbeitspaket war hierzu in drei Bereiche unterteilt:</p> <p>Task 2.1: Gestaltung der Zellrückseite und der Rückseitenfolie</p> <p>Task 2.2: Entwicklung einer Prototyp-Druckstation</p> <p>Task 2.3: Test verschiedener leitfähiger Kleber</p> <p>Der ISC Konstanz e.V. war für folgende Tasks und Milestones verantwortlich:</p> <p>D2.1: Beste Zell- und Rückseitenfolie Kombination und Bericht (M10)</p>

	<p>D2.3: Eigenschaften der Leitleber und Bericht (M20)</p> <p>M2.1: Rückseitenfolienmaterial ausgesucht für Demonstration (M12)</p> <p>M2.2: Leitleber ausgesucht für Demonstration (M20)</p>
AP3	<p>kleine Modultests</p> <p>In diesem Arbeitspaket werden Minimodule vom ISC Konstanz e.V. und von Eurotron BV hergestellt, um den Produktionsprozess zu optimieren und Verbrauchsmaterialien zu testen. Die fabrizierten Module werden eingehend charakterisiert und auf deren Tauglichkeit für den Außeneinsatz getestet.</p> <p>Der ISC Konstanz e.V. war für folgende Tasks und Milestones verantwortlich:</p> <p>D3.1: Minimodule für Tests hergestellt (M12)</p> <p>D3.3: Indoor Tests und Bericht (M15, 24)</p> <p>D3.4: Outdoor Tests und Bericht (M17, 24)</p> <p>D3.5: Klimakammertests der verbesserten Module und Bericht (M19)</p> <p>M3.1: Module sind Klimakammerbeständig (M20)</p> <p>M3.2: Minimodule mit weniger als 1% Verlust nach 12 Monaten in Outdoor Tests (M24)</p>
AP4	<p>Demonstratoren: große Module</p> <p>In diesem Arbeitspaket werden alle Erkenntnisse und Erfahrungen aus AP1-3 zusammengeführt um bei Eurotron BV 60-Zell-Module mit Zebra Zellen herzustellen.</p> <p>Der ISC Konstanz e.V. war für folgende Tasks und Milestones verantwortlich:</p> <p>D4.1: Design des ersten Prototypen und Bericht (M20)</p> <p>M4.1: Entscheidung über 60-Zellen Module (M18)</p>
AP5	<p>Cost of Ownership</p> <p>Im AP5 werden Berechnungen zur Kostenanalyse des Konzeptes und zur Energiebilanz durchgeführt. Der ISC Konstanz e.V. für folgende Deliverables und Milestones verantwortlich:</p> <p>D5.3: Konferenzbeitrag und Veröffentlichung (M12, M24)</p> <p>D5.4: Organisation eines Workshops (M24)</p>

Der Ablauf des Vorhabens verlief am ISC Konstanz e.V. größtenteils wie geplant. Offizieller Projektbeginn für den ISC Konstanz e.V. war der 01.10.2012. Um den Austausch von Daten zu erleichtern und um einen einheitlichen Stand für z.B. Deliverables zu gewähren wurde ein gemeinsames Internetportal eingerichtet das während des Projektverlaufes intensiv genutzt wurde. Die Modulintegration der Zebra Zelle stellte das Konsortium vor einige Hürden, die den Fortschritt des Arbeitsplanes teilweise verzögerten aber im weiteren Verlauf des Projektes alle überwunden wurden. Deshalb wurden die Arbeiten für Deliverables D3.1 und D3.3 verspätet begonnen, da es für deren Durchführung von großer Wichtigkeit war, sehr gute Module zu verwenden, um später eventuelle Schwächen aufdecken zu können. Aufgrund einiger Produktionsprobleme hatte sich der Aufbau des Testlabors für 60 Zell Module bei Eurotron BV um 5 Monate verzögert. Um alle Projektziele zu erreichen und speziell um den Aufbau der

großflächigen 60 Zell Module erfolgreich zu demonstrieren hatte das Konsortium um eine Verlängerung des Projektes um 6 Monate gebeten, die auch bewilligt wurde. Für den ISC Konstanz e.V. war diese Verlängerung kostenneutral da keine Mehrarbeit entstand sondern lediglich einige Arbeiten mit verzögertem Anfang durchgeführt wurden. Zusammenfassend konnte der ISC Konstanz e.V. alle Deliverables und Milestones, für die er verantwortlich war fertigstellen. Die einzige Einschränkung war, dass die Außenmessungen für D3.3 nicht wie geplant 1 Jahr lang durchgeführt wurden sondern nur 6 Monate. Die Langlebigkeit der im Projekt hergestellten Module wurde deshalb mit Klimakammertest doppelter Laufzeit im Vergleich zum Projektplan nachgewiesen.

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. Im Speziellen heißt dies, dass ein maximaler Wirkungsgrad von 21.3 % für Zebra Zellen erreicht wurde; Minimodule wurden bis dato nur mit Hilfe von klassischen Lötbändchen hergestellt. Im Verlaufe des Projektes wurden am ISC Konstanz e.V.: erstmalig Minimodule mit leitfähiger Kupferfolie hergestellt. Kalibrierte IV-Messungen von Minimodulen waren aufgrund eines fehlenden Referenzmoduls bis kurz nach Projektbeginn noch nicht möglich. Im Rahmen der im Projekt betriebenen Forschung und Entwicklung wurde auf das Fachwissen der Mitarbeiter des ISC Konstanz e.V. zurückgegriffen sowie auf zahlreiche Veröffentlichungen in der Form von Konferenzbeiträgen oder Artikeln in Fachzeitschriften, die entweder umsonst im Internet zu beziehen sind oder in Form von Konferenzprotokollen am ISC Konstanz aufgrund der Teilnahme eines Mitarbeiter vorhanden waren. Die Liste im Folgenden gibt eine Übersicht über diese Literatur, ohne Anspruch auf Vollständigkeit:

- K. R. McIntosh, J. N. Cotsell, A. W. Norris, N. E. Powell, and B. M. Ketola, "An optical comparison of silicone and EVA encapsulants under various spectra," on 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2010.
- L.M. Augustin, M.N. van den Donker, M.N. Zell, C. Copetti, M. Fleusters, „Energy Yield of Back Contact Foil Based MWT Modules“ Proceedings of the 2nd International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics SiliconPV 2012, Energy Procedia 27 (2012) 680 – 684
- W.Eerenstein, I. Bennett, D. Veldman, T. Visser, B. Brockholz, P.C. de Jong, C. A. Copetti, P. Wijnen, „CLIMATE CHAMBER TEST RESULTS OF MWT BACK CONTACT MODULES“, 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition/5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 6-10 September 2010, Valencia, Spain
- R. Wells, M. Francis, „HIGH RELIABILITY OF CONDUCTIVE ADHESIVES FOR THIN-FILM INTERCONNECTS“, PV PRODUCTION FORUM 2010
- Eikelboom, D. W. K, Bultman JH, Schonecker A, Meuwissen, M. H. H, van den Nieuwenhof, M. A. J. C, and Meier DL., „Conductive adhesives for low-stress interconnection of thin back-contact solar cells“, 29th IEEE PVSC; 2002. p. 403–406.

- K.M. Broek, P.C. de Jong, M.J.H. Kloos, M.A.C.J. Nieuwenhof, T.L. Bots, M.H.H. Meuwissen, H.L.A.H. Steijvers, „Testing Interconnections using Conductive Adhesive for Application in PV Modules“, 21th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 4-8.09.2006, Dresden, Germany
- T. Geipel, M. Zahidul Huq, U. Eitner, „Reliable interconnection of the front side grid fingers using silver-reduced conductive adhesives“, 4th International Conference on Silicon Photovoltaics, SiliconPV 2014, Energy Procedia 55 (2014) 336 – 341
- L. Rebenklau, P. Gierth, U. Partsch, H. Mehlich, J. Hausmann, M. Grimm, W. Stein, H. Bell, C. Clement, F. Vogg „LOW TEMPERATURE INTERCONNECTION TECHNIQUES FOR HIGH EFFICIENCY HETEROJUNCTION SOLAR CELLS“, 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition
- M. Pander, S. Schulze, M. Ebert, „Mechanical Modelling of Electrically Conductive Adhesives for Photovoltaic Applications“, 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition
- A. Schneider, R. Harneya, S. Aulehlaa, E. Lemp, S. Koch, “Progress in interconnection of busbar-less solar cells by means of conductive gluing” Energy Procedia, 38 (2013), pp. 387–394
- N. Guillevin, B.J.B. Heurtault, L.J. Geerligs, J. Anker, B.B. Van Aken, I.J. Bennett, M.J. Jansen, L. Berkeveld, A.W. Weeber, J.H. Bultman, W. Zhao, J. Wang, Z. Wang, Y. Chen, Y. Shen, Z. Hu, G. Li, J. Chen, B. Yu, S. Tian, „279 WATT METAL-WRAP-THROUGH MODULE USING INDUSTRIAL PROCESSES“, 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition
- M.A.C.J. van den Nieuwenhof, T.L. Bots, M.H.H. Meuwissen, H.L.A.H. Steijvers, „Testing Interconnections using Conductive Adhesives for Application in PV Modules“, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, 4-8 September 2006, Dresden, Germany
- S. Pingel, O. Frank, M. Winkler, S. Daryan, T. Geipel, H. Hoehne, J. Berghold, „POTENTIAL INDUCED DEGRADATION OF SOLAR CELLS AND PANELS“, Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2010 35th IEEE
- V. Naumann, T. Geppert, S. Großer, D. Wichmann, H.-J. Krokoszinsky, M. Werner, C. Hagendorf, „Potential-induced degradation at interdigitated back contact solar cells“ 4th International Conference on Silicon Photovoltaics, SiliconPV 2014, Energy Procedia 55 (2014) 498 – 503
- R. Swanson et al., "The Surface Polarization Effect in High-Efficiency Silicon Solar Cells," 15th PVSEC, Shanghai, China (2005)
- I. Haedrich, U. Eitner, M.-S. Hendrichs, A. Spribille, M. Wiese, H. Wirth „Unified methodology for determining CTM ratios Systematic prediction of module power“ 4th International Conference on Silicon Photovoltaics, SiliconPV 2014, Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 131, December 2014, Pages 14–23

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des Projektes kooperierte der ISC Konstanz e.V. mit den Projektpartnern und den Unterauftragsnehmern Eppstein Technologies GmbH und SoltaBond GmbH (jetzt: Polytec PT GmbH). Zusammen mit Eppstein Technologies GmbH wurden Folien auf die speziellen Bedürfnisse der Zebra Zellen angepasst um ein geeignetes Produkt zu erhalten. Die SoltaBond GmbH wurde beauftragt einen speziell angepassten Leitkleber zu entwickeln, der Widerstandsverluste zwischen Zelle und Kupferrückseite klein hält und dabei sehr Widerstandsfähig gegen Umwelteinflüsse ist. Desweiteren kooperierte der ISC Konstanz e.V. mit dem Leitkleberhersteller EMS, der auch eng mit Eurotron zusammenarbeitet und dessen Leitkleber für die Herstellung von MWT Modulen eingesetzt wird. EMS entwickelte eine speziell angepasste Formulierung ihres Leitklebers, um die Probleme der Rissbildung während der Modullamination zu verringern.

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 Vorhabensbeschreibung wurden vorab mit dem DLR abgestimmt. So wurde das Projekt um 6 Monate kostenneutral verlängert und ein kleiner Teil der Zuwendungen die für Unteraufträge reserviert waren wurden umgewidmet. Eine Übersicht über alle im Projekt getätigten Ausgaben ist in Anhang I gegeben.

II.1.2 Erzielte Ergebnisse im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Die erzielten Ergebnisse werden im Folgenden anhand der zu erreichenden Deliverables und Meilensteinen beschrieben, an denen sich der Projektablauf orientierte.

- *AP1 – D1.2: Materialtests (M12)*

Hier sollten verschiedenen Einkapselmaterialien (EKM) auf ihre mechanischen, elektrischen und vor allem optischen Eigenschaften getestet werden. Die besten sollten zur Modulherstellung verwendet werden.

Die Arbeiten konzentrierten sich zunächst auf die Auffindung eines Einkapselmaterials welches einerseits die hohe spektrale Empfindlichkeit der Zebra Zelle im blauen Spektralbereich durch Absorption im selben Bereich nicht abschwächt und andererseits sehr stabil gegen Umwelteinflüsse ist. Diese Kriterien sind notwendig um ein Modul mit Zebra-Zellen herzustellen welches einen hohen Kurzschlußstrom aufweist und eine lange Produktlebensdauer ermöglicht. Hierzu wurde vorab von Eurotron BV eine Marktstudie vollzogen, eine Liste erstellt, diese mit dem ISC diskutiert und ergänzt, so, dass am Ende sechs im Handel erhältliche Materialien zur näheren Prüfung ausgewählt wurden. Drei dieser

Materialien waren EVA basiert, eines das wohlbekannte Standardmaterial des ISC Konstanz e.V. gegen welches die Eigenschaften anderer Materialien verglichen wurde. Dann zwei weiterentwickelte EVA Folien die laut Hersteller eine niedrige Absorption im UV Bereich aufweisen, zwei auf Polyolefin basierende Materialien und eine Silikonfolie. Zuerst wurden die optischen Eigenschaften der Materialien getestet. Es wurden Glas-Glas Laminare mit den EKM hergestellt und deren Absorptions- und Transmissionsverhalten im Spektrometer vermessen, Abbildung 1 zeigt die gemessenen Transmissionspektren. Das Solarglas ist ab ca. 280nm Wellenlänge transparent für UV Licht und beeinflusst die gemessenen Spektren deshalb nicht. Als nächstes wurden spezielle Testmodule hergestellt, um die spektrale Empfindlichkeit der verschiedenen EKM unter realen Bedingungen zu vermessen.

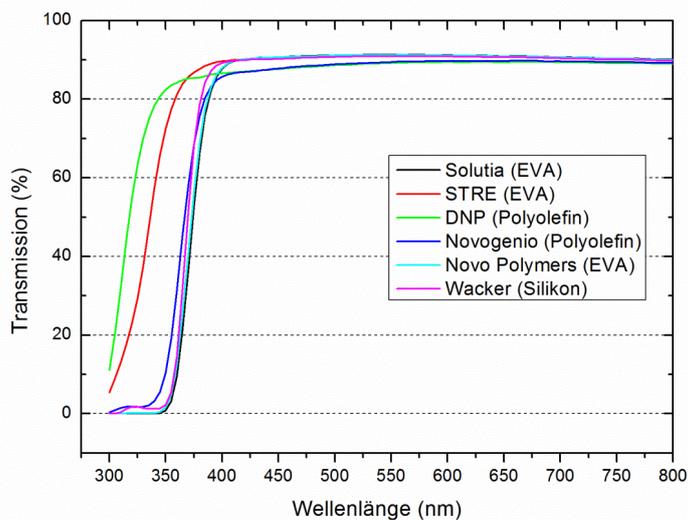


Abbildung 1: Transmissionskurven der Glass-Glass Laminare mit verschiedenen Einkapselmaterialien

Desweiteren wurden die elektrischen und elektrochemischen Eigenschaften der Materialien mittels PID und Klimakammertests untersucht. Für die PID Tests wurden Minimodule (je eine Zelle pro Modul) mit den verschiedenen EKM hergestellt und diese für je zwei Wochen bei hoher Luftfeuchte (55% rel.) auf 1000V positive und negative Spannung gepolt, um Leistungseinbußen zu quantifizieren. Dabei wurde festgestellt, dass die neuartigen EKM resistenter gegenüber PID sind als die EVA basierten. Um zu verifizieren, dass die EKM nicht mit der verwendeten Silber-Alu Paste auf der Zellrückseite reagieren wurden Minimodule mit durchsichtiger Rückseitenfolie und Lötbandchen als Kontaktierung hergestellt. Dann wurden diese Minimodule der Feuchte-Wärme-Prüfung gemäß DIN Norm unterzogen. Alle untersuchten Minimodule bestanden die Tests, es wurde keine Verfärbung aufgrund einer Reaktion der EKM mit der Silber-Alu Metallisierung beobachtet. Die mechanischen Eigenschaften der EKM wurden verglichen indem manuell Abzugstest an Laminaten vorgenommen wurden. Dafür wurden Halbmodule mit Standardsolarzellen so laminiert, dass das EKM von der vollflächig mit Al-Paste bedruckten Rückseite abgezogen werden kann. Als Eignungskriterium gilt, dass beim Abziehen das EKM mit der Al-Paste von der Solarzelle abgezogen wird und sich das EKM nicht von der Al-Rückseite löst. Dieser Test wurde für alle EKM mit positivem Resultat abgeschlossen. Diese meisten hier genannten Ergebnisse wurden später veröffentlicht (siehe D5.3, Beitrag an der IEEE PVSC 2013). Probelaminationen mit gestanzten EKM erhielten ein

unterschiedliches Flussverhalten der geschmolzenen neuartigen EKM gegenüber EVA weswegen diese sich nicht ohne weiteres als Isolierschicht zwischen Zebra-Zelle und leitender Rückseitenfolie eignen. Aufgrund der in D1.2 erarbeiteten Erkenntnisse wurde eine EVA Folie (STR) an Eurotron BV empfohlen und als Standardmaterial für das Projekt verwendet. Im späteren Projektverlauf wurde zusätzlich Solarglas mit einer speziellen Antireflexbeschichtung eingesetzt, um die optischen Verluste von Zelle zu Modul weiter zu verringern.

- *AP2 – D2.1: Beste Zell- und Rückseitenfolie Kombination (M10)*

In diesem AP sollten die Rückseite der Zebra Zelle und die leitende Rückseitenfolie aufeinander abgestimmt werden. Hierzu wurden Berechnungen, Tests und Simulationen durchgeführt um die Anzahl der Kontaktpunkte auf der Zelle, die Breite der Stege von Zelle zu Zelle auf der Kupferfolie und die Foliendicke zu optimieren.

Mit Hilfe von 2-d Silvaco-Atlas Simulationen wurden die elektrischen Eigenschaften der Zebra Zelle simuliert und diese Parameter dann mit der analytischen Software Grid weiterverarbeitet, um anteilige Serienwiderstandsverluste der kontaktierten Zelle zu errechnen. So wurde die Anzahl der Kontaktpunkte und der optimale Metallquerschnitt errechnet, um möglichst geringe Widerstandsverluste bei einer sinnvollen Dimensionierung von Folie und Kontaktpunkten zu erreichen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sind in Abbildung 2 dargestellt und wurden mit dem Projektpartner Eurotron BV und dem Unterauftragnehmer Eppstein Foils geteilt und ein gemeinsames Layout wurde erstellt. Für das Produkt von Eppstein Foils musste zusätzlich die Schichtdicke der Isolationslage auf der Kupferfolie angepasst werden da anders wie bei Standard-Folien, die Eurotron BV verwendet, hier keine EKM Schicht zwischen Folie und Zelle isolierend wirkt. Sowohl die von Eurotron selbst strukturierte Folie (Lieferant Isovoltaic) als auch die Eppstein Folie wurden im weiteren Projektverlauf eingesetzt da beide Folienarchitekturen spezielle Vorzüge besitzen und es je nach Einsatzgebiet sehr Vorteilhaft ist, nur eine der beiden Varianten zu verarbeiten.

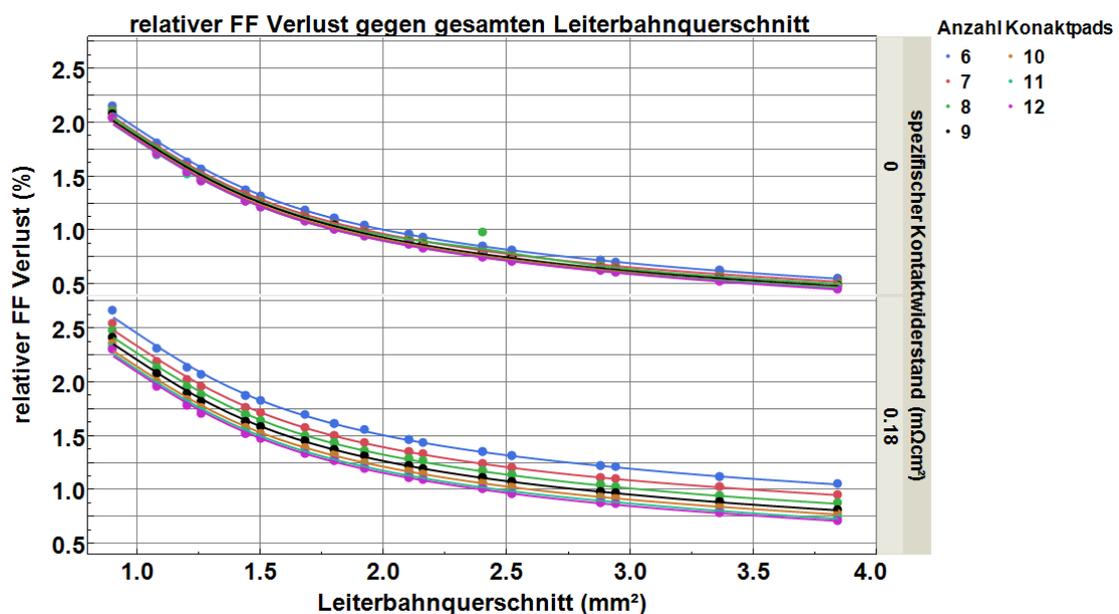


Abbildung 2: Simulation des relativen FF Verlustes in Abhängigkeit des Metallquerschnitts der Rückseitenfolie für verschiedene Anzahlen von Kontaktpunkten und zwei verschiedene Kontaktwiderstände

- *AP2 – D2.3: Eigenschaften der Leitkleber (M20)*

Die Verbindung zwischen der Zelle und der Rückseitenfolie muss einen sehr guten Ohmschen Widerstand (mit geringem Kontaktwiderstand) aufweisen, aber auch mechanisch stabil sein. Hier wurde der beste Leitkleber (LK) für diese Anwendung bestimmt und ebenfalls für unsere Anwendungen optimiert.

Verschiedene kommerzielle LK von sechs unterschiedlichen Herstellern zum Verbinden von Zebra-Solarzelle und leitfähiger Rückseitenfolie wurden im Hinblick auf deren elektrische und mechanische Eigenschaften getestet. Für die verschiedenen LK wurde zum Einen der Kontakt zwischen LK und Solarzelle untersucht, zum Anderen der Kontakt zwischen LK und leitender Rückseitenfolie. Die Qualität des Kontaktes zwischen Zelle und LK wurde mit Hilfe von „Rückseitenhalbmodulen“ quantifiziert. Hierfür wurden die Zebra-Zellen mittels der LK und Lötbandchen kontaktiert, auf ein Substrat laminiert und dann der Verlust im Füllfaktor gemessen, der direkt vom Serienwiderstand der kontaktierten Solarzelle abhängt. Die Untersuchungen für die Rückseitenfolie wurden mit Hilfe von 4-Punkt Messungen durchgeführt wobei der Kontaktwiderstand zwischen Kupferfolie und Kleber gemessen wurde. Desweiteren wurden Minimodule, die mit den verschiedenen LK fabriziert wurden und in der Klimakammer Temperaturzyklentest (gemäß DIN Norm) unterzogen, um die mechanische Stabilität der Verbindung Zebra-Zelle- LK -Rückseitenfolie zu testen.

Zusätzlich wurde der Unterauftragnehmer SoltaBond beauftragt eine Formulierung zu entwickeln, die speziell auf die projektspezifische Anwendung angepasst ist. Die Resultate von Langzeittests in der Klimakammer mit drei leitfähigen Klebern (LK) von SoltaBond ließen den Schluss zu, dass deren Produkte nicht für die Anwendung in ModerN-Type geeignet sind. Es wurden drei LK getestet, einer davon war speziell für die Anwendung in ModerN-Type entwickelt. Alle Klebeverbindungen die eine Distanz von 250 µm überbrückten (ähnlich der realen Situation im Modul), waren instabil oder ergaben zu hohe Kontaktwiderstände. Aufgrund dieser Ergebnisse wurden die Arbeiten mit SolatBond nicht weitergeführt. Dafür bot sich der Hersteller EMS an sein Produkt, das von Eurotron BV eingesetzt wird um MWT Zellen zu kontaktieren, speziell anzupassen um Zebra Zellen zu kontaktieren und die Bildung von Rissen in der Zelle während der Lamination zusätzlich zu verringern.

So wurde als finale Untersuchung am ISC Konstanz e.V. Proben zum Messen des Kontaktwiderstandes des Gesamtsystems Zelle-Kleber-Kupferfolie hergestellt. Es wurden alle Kombinationen aus zwei verschiedenen Silberpasten für Busbars und drei verschiedenen Leitklebern getestet. Zwei der Leitkleber waren die, die bei der ersten Untersuchung am besten abschnitten und der letzte war das von EMS speziell entwickelte Produkt. Der beste LK wurde Eurotron BV weiterempfohlen.

- *AP3 – D3.1: Minimodule für Tests hergestellt (M12)*

Um das ganze Gebilde zu testen, werden Minimodule (Einzeller oder 2x3 Module) hergestellt. Es werden die optimalen Komponenten aus den vorherigen Arbeitspaketen verwendet und eingebaut.

Modulaufbau mit von Eurotron BV bereitgestellten Rückseitenfolien:

Zusammen mit Eurotron BV wurden in deren Labor Ein-Zell-Module mit Zebra-Zellen gefertigt. Hierzu wurden die vorher in Experimenten gewonnenen Erkenntnisse mit einbezogen. Aus unvorhersehbaren Gründen entstanden Risse in den Zellen während des Laminationsvorganges an

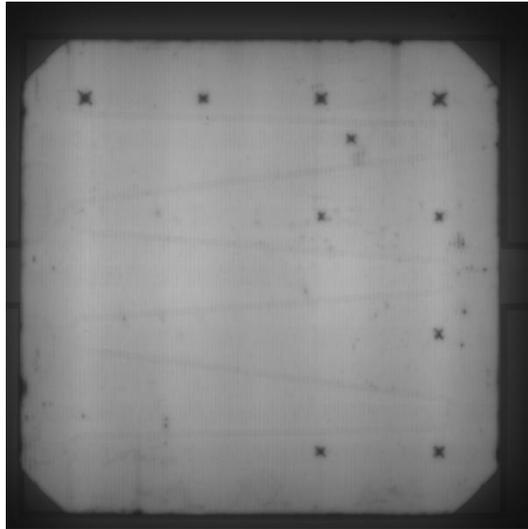


Abbildung 3: Elektrolumineszenzaufnahme eines Ein-Zell Moduls mit x-förmigen Rissen an den Kontaktpunkten

den Kontaktpunkten aus leitfähigem Kleber zwischen Zelle und Rückseitenfolie (siehe Abbildung 2). Nach intensiver Optimierungsarbeit auf beiden Seiten konnte die Bildung der Risse vermieden werden. Erste Modulprototypen mit vier Zebra-Zellen wurden bei Eurotron BV hergestellt und am ISC vermessen. Da deren Leistung noch nicht optimal war musste der Herstellungsprozess im Hinblick auf die Modulleistung bzw. einen kleinen Leistungsverlust von Zelle zu Modul weitergehend optimiert werden. Es wurden 4-Zell-Module mit spezieller Anpassung des Modulprozesses und dem Einsatz des von EMS angepassten Leitklebers erfolgreich zusammen mit Eurotron BV hergestellt und ein aufwendiges DOE (design of experiment) Experiment mit Ein-Zell-Modulen durchgeführt, um Prozessparameter zu finden, die kleine Einbettungsverlust ermöglichen und während des Laminiervorgangs keine Rissebildung in den Zellen hervorrufen.

Modulaufbau mit Rückseitenfolie von Eppstein Technologies:

Zusammen mit dem Unterauftragsnehmer Eppstein Technologies wurden in deren Labor und am ISC Konstanz e.V.: Ein- und Vier-Zell-Module mit Zebra Zellen gefertigt. Kurzschlüsse zwischen den Fingern der Zebra-Zellen und der leitenden Rückseitenfolie wurden als Grund für deren anfängliches Versagen identifiziert. Nach intensiver Optimierungsarbeit am ISC Konstanz e.V. konnte eine Lösung des Problems gefunden werden. Dann wurden funktionierende Prototypen hergestellt und die angepasste Folie an Eurotron BV weiterempfohlen.

- *AP3 – D3.3: Indoor Tests (M15, M24)*

Die Module werden auf ihre mechanischen, optischen und vor allem elektrischen Eigenschaften getestet.

Die in AP 3.1 hergestellten Minimodule wurden nach ihrer Herstellung standardmäßig mit dem Messen der Strom-Spannungs-Kennlinie (IV-) und von Elektrolumineszenzbildern charakterisiert, um die Modulleistung zu bestimmen und die Zellen auf etwaige Schäden zu untersuchen, die während des Modulprozesses induziert wurden. Die verwendeten Zellen wurden vor dem Modulbau deshalb auch mit denselben Methoden vermessen, um einen Referenzwert bzw. ein Referenzbild zu erhalten. Der Vergleich der Strom-Spannungs-Kennlinien der individuellen Zellen mit denen der entsprechenden Ein-Zell-Module gibt Aufschluss über die Höhe der Einbettungsverluste (CTM loss - cell to module loss) also der Leistungsminderung von Zelle zu Modul. Die Evaluation der relativen Änderung des Füllfaktors und Pseudofüllfaktors erhellen, ob die Zelle während der Lamination elektrischen Schaden nimmt; der Serienwiderstand nimmt jedoch leicht zu, was Spielraum für weitere Verbesserungen auch nach Projektende zulässt. Die Einbettungsverluste im Kurzschlußstrom hängen hauptsächlich von der Wahl des Einkapselmaterials ab und wurden somit in D 1.2 ausreichend untersucht. Das beste Ein-Zell-Modul wies einen Verlust im Wirkungsgrad von nur 1,7% von Zelle zu Modul auf. Dies ist 0,3 % geringer als das im Projekt festgelegte Ziel von 2% Wirkungsgradverlust. Das beste 4-Zell-Modul wies einen Wirkungsgradverlust von nur 0,9% absolut auf, die verwendeten Zellen hatten einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 20,7%, das resultierende Modul einen Wirkungsgrad von 19,8% (auf die Aperturfläche bezogen). Somit wurde das Projektziel bis auf 0,2% erreicht! Leider konnten im Rahmen des Projektes keine weiteren Module mehr hergestellt werden – das beste 4-Zell-Modul zeigt jedoch, dass das Projektziel von 20% Wirkungsgrad auf Modulebene mit dem im Projekt erarbeiteten Kenntnisse einfach zu realisieren wäre, würde man zu dessen Herstellung Zellen mit höherem Wirkungsgrad verwendet. Dies wäre möglich gewesen, der durchschnittliche Zellwirkungsgrad lag am Projektende bei maximal 21,8%. Die Herstellungssequenz und Materialien, die zur Herstellung des 4-Zell Rekordmodul verwendet wurden bildeten auch den Ausgangspunkt für die Herstellung von 60-Zell Modulen bei Eurotron BV nach Projektende am ISC.

Umfangreiche Tests zur potentialinduzierten Degradation wurden an Minimodulen durchgeführt; die Ergebnisse wurden während der Konferenz „SiliconPV“ 2015 in Konstanz präsentiert. Zusätzlich wurden Klimakammertests durchgeführt und die Erkenntnisse dazu verwendet, den Modulprozess auf die Beständigkeit hin weiter zu optimieren.

- AP3 – D3.4: Outdoor Tests (M17, M24)

Die Module werden auf ihre elektrischen Eigenschaften in Langzeitmessungen draußen getestet.

Um eine erste Einschätzung der Leistungsfähigkeit und der Widerstandsfähigkeit gegenüber Umwelteinflüssen zu erlangen wurden 4-Zell Module mit Zebra Zellen auf dem Dach des ISC Konstanz e.V. installiert und vermessen. Alle zehn Sekunden wurde die Strom-Spannungskennlinie jedes Moduls aufgenommen und daraus die relevanten Größen bestimmt. Es wurden drei verschiedene Modularchitekturen verglichen: das im Projekt entwickelte Modul mit leitender Kupferfolie, ein mit Lötbändchen und LK verschaltetes Modul und ein bifaziales

Modul das klassisch mit Bändchen verlötet wurde. Die Module wurden vom 13.11.2014 bis zum 14.04.2015 vermessen, insgesamt also sechs Monate. Vor und nach der Außenmessung wurde die Leistung der Module unter Standardbedingungen am Modultester bestimmt. Ein Vergleich dieser Leistungswerte ergibt, dass die Module nach 6 Monaten im Bereich der Meßgenauigkeiten dieselbe Leistung aufweisen wie vor der Montage. Das Modul mit Kupferfolie degradierte um 0.9% relativ, das Modul mit geklebten Lötbandchen verbesserte sich um 1.2% relativ und das bifaziale Modul verschlechterte sich um 1,4% relativ. Die gesammelten Messdaten wurden ausgewertet und eine Energieausbeute (Wh/Wp) wurde bestimmt. Der Energieertrag des Moduls mit geklebten Kupferbändchen war mit 241,6 Wh pro Wpeak der niedrigste, das Modul mit Kupferrückseitenfolie produzierte 247.5 Wh pro Wpeak, also 2,5% mehr und das bifaziale Modul produzierte mit 268.9 Wh pro Wpeak die meiste Energie. Dies ist nicht erstaunlich da diese Art von Modulen von beiden Seiten Licht aufnehmen kann, also auch das Rückseitig einfallende Streulicht ausnutzt.

- *AP3 – D3.5: Klimakammertests der verbesserten Module (M19)*

Zusätzlich zu den Innen- und Außentests werden Tests in Klimakammern durchgeführt, die eine Zeit von 20 Jahren simulieren. Es werden hohe und niedrige Temperaturen angewandt und elektrische Beanspruchung simuliert.

Intensive Klimakammertests an Ein-Zell-Minimodulen zeigen die Langzeitstabilität des neu entwickelten Konzepts. Es wurden folgende Tests entsprechend der IEC Norm 61215 durchgeführt: Feuchte-Wärme-Prüfung (1000 Stunden), Feuchte-Frost-Prüfung (10 Zyklen) und Temperaturzyklen-Prüfung (200 Zyklen). Das Kriterium für einen bestandenen Test ist allgemein eine maximale Leistungseinbuße von 5% für eine vorgegebene Zeit oder Zyklenanzahl. Während des Projektverlaufes wurden im Rahmen von D1.2 und D3.3 erste Klimakammertests durchgeführt. Dabei handelte es sich um die Feuchte-Wärme Prüfung und die Temperaturzyklen-Prüfung für alle evaluierten Einkapselmaterialien und die Feuchte-Wärme-Prüfung für die ersten Prototypen mit dem neuen Leitkleber von EMS. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse flossen in die Verbesserung des Modulprozesses ein. Die verbesserten Minimodule bestanden alle Klimakammer-Tests; für die Feuchte-Wärme-Prüfung und die Feuchte-Frost-Prüfung sogar die doppelte der in der IEC Norm geforderten Testzeit bzw. Zyklenanzahl. So bestanden die getesteten Module 2000 Stunden in der Feuchte-Wärme Prüfung (2,5% durchschnittlicher Verlust nach 1000h; 4,5% durchschnittlicher Verlust nach 2000h), 20 Zyklen der Feuchte-Frost-Prüfung (1,6% durchschnittlicher Verlust nach 21 Zyklen) und 200 Zyklen der Temperaturzyklenprüfung (1,9% durchschnittlicher Verlust nach 200 Zyklen). Da Ein-Zell-Module normalerweise bei solchen Tests aufgrund ihrer größeren Randflächen im Vergleich zur Modulfläche anfälliger für Leistungseinbußen sind ist dies ein sehr positives Resultat.

- *AP4 – D4.1: Design des ersten Prototypen (M20)*

Basierend auf den im Projekt gemachten Erfahrungen, im speziellen der Prozess der zum 4-Zell-Rokordmodul mit 19.8% Wirkungsgrad führte, wurde zusammen mit Eurotron BV ein sog. BOM (bill of materials) für die ersten Prototypen erstellt. Hierbei wurden alle zu verwendenden Verbrauchsmaterialien und alle relevanten Prozeßparameter festgelegt.

Außerdem wurden 80 Zebra Zellen für die Modulintegration produziert. Deren Wirkungsgrad war im Durchschnitt 21.3 % (maximal 21.6%, minimal 21,1%); das Rückseitenlayout wurde nochmals angepasst um die automatische Verarbeitung mit Kameraerkennung zu ermöglichen. Nach Projektende am ISC wurde bei Eurotron BV, für die das Projekt noch bis 30.09.2015 verlängert wurde, erfolgreich ein Prototypmodul basierend auf der erstellten BOM hergestellt (Abbildung 4). Das Modul wurde am ISC Konstanz e.V. vermessen und hat eine Ausgangsleistung von 295 Watt gemessen bei Standardbedingungen (Einstrahlung=1000 W/m², T=25°C). Dies ist ein sehr positives Resultat für die einen ersten Prototypen und zeigt das Potential der im Projekt entwickelten Technologie.



Abbildung 4: 60 Zell Zebra Prototypmodul mit 295 Watt Ausgangsleistung

- *AP5 – D5.3: Konferenzbeiträge (M12, M24)*

Es werden Publikationen zu den bisherigen Themen des Projekts angefertigt.

Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse wurden auf internationalen Konferenzen präsentiert und diskutiert. Zuerst 2013 auf der IEEE PVSC, dann 2014 auf der PVSEC in Amsterdam und zuletzt 2015 an der SiPV Konferenz in Konstanz. Die Publikationen sind der Schlussbericht beigelegt, hier folgen die Titel:

- Halm A. et al. "Evaluation of cell to module losses for n-type IBC solar cells assembled with state of the art consumables and production equipment", proceedings of the 39th IEEE PVSC 2013, Tampa, USA
- Halm A. et al. „ENCAPSULATION LOSSES FOR RIBBON CONTACTED N-TYPE IBC SOLAR CELLS“, proceedings of the 29th EU PVSEC 2014, Amsterdam, Netherlands
- Halm A. et al. „Potential-induced degradation for encapsulated n-type IBC solar cells with front floating emitter“, 5th International Conference on Silicon Photovoltaics, SiliconPV 2015

- *AP5 – D5.4: Organisation eines Workshops (M24)*

Da das Thema des Projektes sehr aktuell ist, wurde ein Workshop organisiert, der nPV Workshop 2013 in Chambéry. Es wurden Vertreter aus Wissenschaft und Industrie aus aller

Welt hierzu eingeladen; insgesamt nahmen 160 Experten aus 20 Nationen teil. Diskussionsthemen waren n-Typ Silizium im Allgemeinen, dessen spezielle Eigenschaften, Zellprozessierung mit n-Typ Material, die Modulintegration von n-Typ und speziell Rückkontaktsolarzellen und wie ein möglichst schneller Transfer dieser neuen Technologien in die Industrielle Fertigung zu schaffen ist. Sowohl Eurotron BV, BCC als auch der ISC Konstanz e.V. waren vertreten, um die im Projekt erreichten Ziele in Präsentationen vorzustellen und aktiv mit den Teilnehmern aus Forschung und Industrie zu diskutieren.

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises können in vier Kategorien eingeteilt werden, diese sind die Personalkosten, allgemeine Ausgaben, Unteraufträge und Reisekosten.

Die wichtigsten Positionen der Personalkosten sind schwer zu definieren, da am ISC Konstanz e.V. alle im Projekt durchgeführten Aufgaben von Fachkräften durchgeführt wurden und zum gleichen Teil zum Erfolg des Projektes beitrugen. Die wissenschaftliche Arbeit stand klar im Vordergrund aber auch die Arbeiten des technischen Personals, die weniger anspruchsvoll sind waren trotzdem genauso notwendig, damit die Projektarbeit erfolgreich durchgeführt werden konnte.

Die Positionen der Allgemeinen Aufgaben bestehen aus sehr vielen Einzelbeträgen die alle dazu verwendet wurden, die Forschung am ISC für das Projekt zu ermöglichen. Diese erstrecken sich von Einkauf von Siliziumwafer als Ausgangsmaterial für den Herstellungsprozess für Zebra Zellen über die fachgerechte Entsorgung der hierzu benötigten Chemikalien bis hin zu den Metallverbindern, die an die hergestellten Module angelötet wurden, um diese in verschiedenen Messapparaturen zu kontaktieren.

Die Vergabe von Unteraufträgen im Projekt war sehr hilfreich und führte zu anhaltenden Kooperationen mit den Firmen SoltaBond und Eppstein Technologies. Die Kooperation mit der Firma SoltaBond führte im Rahmen des Projektes nicht zum gewünschten Ergebnis, aus ihr folgten aber andere Anknüpfungspunkte mit dem ISC Konstanz e.V.. Eppstein Technologies lieferte Folien, die im Projekt evaluiert wurden sowohl am ISC als auch bei Eurotron BV. Dabei unterstützte Eppstein Technologies aktiv die Modulintegration auch mit Experimenten am eigenen Standort.

Reisen im Projekt waren sehr wichtig zum Austausch von Informationen, zur Präsentation von Projektergebnissen und speziell auch zur Durchführung gemeinsamer Experimente. Die Reisekosten im Projekt wurden alle so effektiv wie möglich eingesetzt, am wichtigsten waren die Ausgaben für die Reisen zu Projekttreffen und den Projektpartnern, die eine effektive Plattform für die Abstimmung und Durchführung von Experimenten zur gemeinsamen Problemlösung und für Diskussionen der Aufgabenstellungen waren.

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 alle Projektziele erreicht.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Der ISC Konstanz e.V. konnte im Rahmen dieses Verbundprojekts seine Kompetenzen zur Herstellung von Rückkontaktsolarzellen und speziell Rückkontaktmodulen weiter ausbauen. Auch wurden im Projekt Herstellungsmethoden und –Apparaturen entwickelt, die es dem ISC Konstanz e.V. noch effektiver ermöglichen, eigene Rückkontaktmodule im 4-Zell-Format unterschiedlicher Architektur herzustellen. Indem der ISC Konstanz e.V. sich an der Überführung des entwickelten Modulkonzepte in die industrielle Prototypenfertigung beim Projektpartner Eurotron beteiligte, erweitert das Institut sein Profil entscheidend. Die in ModerN-Type entwickelten Prozesse können sowohl wirtschaftlich als auch wissenschaftlich zu einer sehr starken Weiterentwicklung des ISC Konstanz führen. Die im Projekt erlangten Erkenntnisse werden im EU Projekt „Hercules“ zusammen mit Eurotron weiter ausgebaut; im BMWI Projekt „PFZ“ sind weitere Arbeiten zusammen mit Unterauftragnehmer Eppstein Technologies geplant. Somit sind auch weitere Publikationen zu den in ModerN-Type behandelten Themen geplant. Desweiteren wird der ISC Konstanz e.V. voraussichtlich im Jahre 2016 den Zebra Zellprozess in die Industrielle Produktion beim italienischen Zellhersteller MegaCell überführen, der auch schon das vom ISC Konstanz e.V. entwickelte und in die Fertigung von MegaCell überführte Zellkonzept „Bison“ erfolgreich produziert. Hier bietet sich die Chance auch den in ModerN-Type entwickelten Modulherstellungsprozess zu MegaCell zu transferieren.

II.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet bei anderen Stellen

Die Herstellung von Rückkontaktsolarmodulen welche Rückkontaktsolarzellen des IBC Typs wie die Zebra Zelle des ISC Konstanz e.V. enthalten ist bisher noch nicht sehr verbreitet, da kaum ein anderes Forschungsinstitut oder kaum ein anderer Solarzellenhersteller einen industriell relevanten Prozess besitzt, mit dem solche sog. IBC Zellen kostengünstig hergestellt werden können. Deshalb ist die Forschung an der Modulintegration dieses Typs von Solarzellen bisher sehr beschränkt. Nach der Kenntnis des ISC Konstanz e.V. beschränken sich diese anderen Stellen fast ausschließlich auf die klassische Verbindung solcher Zellen mit Lötbandchen. Die einzige Stelle die auch an der Modulintegration eines ähnlichen Zellkonzepts arbeitet ist das niederländische Forschungsinstitut ECN, bisher aber mit geringerem Erfolg als der ISC Konstanz e.V. im ModerN-Type -Konsortium.

II.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6

Folgende Veröffentlichungen zu Ergebnissen des Vorhabens sind durch den Zuwendungsempfänger ISC Konstanz e.V. erfolgt:

- Konferenzbeitrag:

Halm A. et al. "Evaluation of cell to module losses for n-type IBC solar cells assembled with state of the art consumables and production equipment", proceedings of the 39th IEEE PVSC 2013, Tampa, USA

Halm A. et al. „ENCAPSULATION LOSSES FOR RIBBON CONTACTED N-TYPE IBC SOLAR CELLS“ proceedings of the 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Amsterdam, 2014

Halm A. et al. „Potential-induced degradation for encapsulated n-type IBC solar cells with front floating emitter“ 5th International Conference on Silicon Photovoltaics, SiliconPV 2015, Konstanz, Germany

- Beiträge zu Workshops

Halm A. et al. "Reducing cell to module losses for n-type IBC solar cells with state of the art consumables and production equipment" 3rd npvworkshop, Chambéry, April 23rd, 2013

Halm A. et al. "Different approaches on module assembly for n-type IBC solar cells" 5th MWTworkshop2013, November 20-21, Freiburg, Germany

- geplante Veröffentlichung

Präsentation der Ergebnisse der Prototypenproduktion am „7th Back Contact WORKSHOP 2015“ im November Freiburg

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht	
3. Titel Schlussbericht nach Nr. 3.2 BNBest-BMBF 98 Forschungsvorhaben E! 7232 Förderkennzeichen: 01QE1231 Titel des Gesamtvorhabens: ModerN-Type – Neuartige Höchstleistungsmodule mit hocheffizienten n-Typ Rückkontaktsolarzellen Titel des Teilvorhabens: ModerN-Type – Anpassung hocheffizienter n-Typ Rückkontaktsolarzellen und Materialien für Höchstleistungsmodule		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Halm, Andreas	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.03.2015	
	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 01QE1231	
	11. Seitenzahl 19	
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung Dienststz Bonn Heinemannstraße 2 53175 Bonn	13. Literaturangaben 16	
	14. Tabellen 4	
	15. Abbildungen 4	
	16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) EUREKA/COST-Büro Heinrich-Konen-Str. 1 53227 Bonn .2015		
18. Kurzfassung Im Projekt ModerN-Type arbeiteten der ISC Konstanz e.V. mit zwei niederländischen Partnern zusammen. Zum Einen das KMU Eurotron BV, Entwickler und Vertreiber einer kompletten Fertigungsstecke zur Herstellung von Solarmodulen für Rückkontaktsolarzellen – sog. MWT („metal wrap trough“) Solarzellen. Zum Anderen das KMU BCC, das auf die Akquise von Geldern für die Entwicklung neuer Geschäftsfelder spezialisiert ist. BCC ist seit 15 Jahren in der Photovoltaik tätig und beschäftigt sich auch mit der ökonomischen und ökologischen Begutachtung neuer Technologien. Zusammen mit den Projektpartnern wurden neue, kostengünstige, aber höchsteffiziente Prozesse zur Rückkontaktsolarzellen- und Modulherstellung entwickelt. Ziel des Teilvorhabens war es, durch grundlegende Untersuchungen die Rückkontaktsolerzelle in allen Einzelheiten zu verstehen und das Moduldesign optimal auf diese anzupassen. Diese innovativen Zellprozesse und Modulkonzepte sollten zu hohen Zellenwirkungsgraden und entsprechend zu geringen Kosten per Wattpeak führen. Das Ziel war es, Modulwirkungsgrade über 20% zu erreichen und durch Materialeinsparungen und niedrige Prozesskosten einen Herstellungspreis unter 0,7 EUR/Wp zu erreichen.		
19. Schlagwörter Rückkontaktsolarzelle, Prozessentwicklung, Modulintegration, IBC Zelle, Rückkontaktmodul, leitende Rückseitenfolie, PV Modul, leitfähiger Kleber		
20. Verlag	21. Preis	

Nicht änderbare Endfassung mit der Kennung 288498-6