

NEUE ENERGIEN 2020

Publizierbarer Endbericht

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

Endbericht

erstellt am

10/7/2015

Projekttitlel:

Swimsol – eine schwimmende,
meerwasserresistente Photovoltaik-Anlage für
tropische Inselregionen

Projektnummer: 834 454

Neue Energien 2020 - 5. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

| | |
|--------------------|-------------------------------------|
| Ausschreibung | 5. Ausschreibung NEUE ENERGIEN 2020 |
| Projektstart | 01.03.2012 |
| Projektende | 30.04.2015 |
| Gesamtprojektdauer | 38 Monate |
| ProjektnehmerIn | Swimsol GmbH |
| AnsprechpartnerIn | Mag. Martin Putschek |
| Postadresse | Goldeggasse 2, 1040 Wien |
| Telefon | T: 0699 11507501 |
| Fax | |
| E-mail | office@swimsol.com |
| Website | www.swimsol.com |

Swimsol

Swimsol – eine schwimmende, meerwasserresistente Photovoltaik-Anlage
für tropische Inselregionen

AutorInnen:

Mag. Martin Putschek (Swimsol)

Mag. Dominik Schmitz (Swimsol)

Namen der mitwirkenden AutorInnen je ProjektpartnerInnen

1 Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Inhaltsverzeichnis | 4 |
| 2 | Einleitung | 5 |
| 3 | Inhaltliche Darstellung | 6 |
| 3.1 | Entwicklung Plattform | 6 |
| 3.1.1 | Modellversuche Plattform | 7 |
| 3.1.2 | Prototypen und Praxistest | 8 |
| 3.1.3 | Seewasserfeste Photovoltaik-Module | 10 |
| 3.2 | Balance of Systems, PV-Komponenten und Netzintegration | 10 |
| 3.3 | Wirtschaft/Umwelt/Recht | 11 |
| 4 | Ergebnisse und Schlussfolgerungen | 11 |
| 5 | Ausblick und Empfehlungen | 13 |
| 6 | Literaturverzeichnis | 15 |
| 7 | Kontaktdaten | 17 |

Ein publizierbarer Endbericht sollte folgende Struktur (Index) besitzen und besteht aus **mindestens 10 Seiten**. Die unten angeführte **Darstellung ist eine Mindestanforderung** und kann bei Bedarf erweitert werden.

2 Einleitung

Die **Aufgabenstellung** des Projektes war es, eine schwimmende Solarplattform für den Betrieb in tropischen Lagunen zu entwickeln, die den mechanischen und chemischen Belastungen im tropischen Klima am Meer standhält und eine Lebensdauer von 20 Jahren hat. Bestehende Unterkonstruktionen und Schwimmkörper waren bisher entweder zu teuer, korrosionsanfällig oder nicht verwindungssteif genug für Swimsol. Daher sollte ein neuartiges System aus Schwimmkörpern und einer tragenden Konstruktion mit integrierten Modulhalterungen entwickelt werden. Das Projekt hatte zum Ziel, eine Technologie zu entwickeln, die nach dem Projekt in einer Pilotanlage erprobt und in der Folge in eine Serienproduktion übergeführt werden kann. Als **Hauptanforderung an Swimsol** ist vor allem die Widerstandsfähigkeit gegen ständige Belastungen durch Wellen, Wind, Gezeiten und Strömungen zu nennen. Zusätzlich müssen Solarmodule und Kabel durch spezielle Verkapselung gegen die salzhaltige und feuchte Meeresluft geschützt werden. Eine wichtige Aufgabe war auch, die Kosten für den produzierten Solarstrom unter 0,25 €/kWh zu halten, d.h. Swimsol darf maximal 3.300 €/kW kosten.

Schwerpunkt des Projektes war die Analyse von Design und Materialien der schwimmenden Plattform. Die Swimsol Konstruktionen wurden im Projektverlauf mit verschiedenen Modellen im Wellenkanal und schließlich mit 3 praxisnahen Prototypen getestet. Die Modelle und Prototypen wurden mit Sensoren bestückt und umfangreich analysiert. Swimsol entwickelte damit eine schwimmende Photovoltaik-Anlage, die Solarstrom zu konkurrenzfähigen Preisen produziert und den mechanischen und chemischen Belastungen auf tropischen Meeren lange standhält.

Einordnung in das FFG Forschungsprogramm. Das Projekt Swimsol behandelte prioritär den Ausschreibungsschwerpunkt *3.3 Erneuerbare Energieträger* und *Subschwerpunkt 3.3.2 Photovoltaik*. Bei Swimsol geht es um den Einsatz von Photovoltaik auf bisher dafür nicht genutzten Flächen (Lagunen im Meer und andere Gewässer) entsprechend dem *Programmziel 1.3: Aufbau und Sicherung langfristig klimaschützender Raum- und Wirtschaftsstrukturen*. Zudem wurde an einem Herstellungsverfahren für Photovoltaik-Module gearbeitet, die aus Kombinationen von Materialien und Komponenten bestehen, die derzeit nicht eingesetzt und/oder nicht ausreichend getestet sind. Schließlich spielt die Netzintegration bei Swimsol eine große Rolle. Ein Ziel war die Integration von großen Photovoltaik-Anlagen im Megawattbereich in relativ kleine, mit Dieselgeneratoren betriebene Inselnetze. Die Anforderungen an die Netzintegration sind dabei andere als an Solaranlagen, die an ein stabiles Stromnetz in einem Industriestaat gekoppelt werden oder bei den weit verbreiteten kleinen Stand-Alone-Anlagen für die Elektrifizierung von entlegenen Regionen (rural electrification).

Verwendete Methoden – Arbeiten: Es wurde im Projekt eine Kombination aus Werkstoffen und Produktionsverfahren gesucht bzw. entwickelt, um eine Swimsol-Produktion innerhalb der genannten Parameter zu ermöglichen. In Zusammenarbeit mit der TU Wien sowie mit Forschungspartnern wie der Lenzing Plastics GmbH, Sunpor und der Tittmann Solar GmbH wurden die geeigneten Konzepte mit

Berechnungen, durch Computermodelle und Simulationen weiterentwickelt, mit Versuchsträgern im Wellenkanal geprüft und schließlich in Prototypen umgesetzt.

Der folgende Bericht beschreibt die inhaltlichen Forschungsarbeiten (Annahmen, Methodik, Messreihen) in Kap. 3., die Ergebnisse in Kap. 4. Aus Konkurrenz- und Patentgründen wurden bisher - abgesehen von den Fortschrittsberichten - keine Publikationen veröffentlicht.

3 Inhaltliche Darstellung

3.1 Entwicklung Plattform

Wesentliche Herausforderungen für Swimsol sind die Krafteinwirkungen durch Wellen, Wind und Strömungen, die aggressive Meeresluft sowie hohe Temperaturen und sehr starke UV-Strahlung. Im Unterschied zu bestehenden Konstruktionen wie Ölplattformen oder Stegen muss Swimsol dabei hohe Stabilität über große Flächen mit einem vergleichsweise geringen Budget erreichen. **Die technischen Anforderungen an das Design der Plattform** waren daher die folgenden:

- PV-Module sind für mechanische Belastungen wie Hagel und Schnee ausgelegt, aber nicht für eine Verwindung des Rahmens und des Moduls. Da Swimsol durch Wellen ständig bewegt wird war es notwendig, eine Konstruktion zu entwickeln, die die **Übertragung von Torsionskräften auf die Module vermeidet**.
- Wenn sich die eingestrahlte Sonnenenergie aufgrund von Schwankungen der Plattform ändert, führt das zu einer – wenn auch geringen - Verminderung des Stromertrags. Zudem bedeutet eine ständige Bewegung der Plattform eine erhöhte mechanische Belastung für alle Bauteile. Durch möglichst kleine Angriffsflächen für Wind und Wellen sollen **ruhiges Schwimmverhalten** und niedrige mechanische Kräfte auf die Komponenten der Plattform erreicht werden.
- Die Funktionsfähigkeit der Plattform muss bei Betrieb am Meer für 20 Jahre gegeben sein, ohne wesentliche Komponenten auszutauschen. Voraussetzung dafür ist **Korrosionsbeständigkeit** und damit die Beibehaltung der mechanischen Eigenschaften (Schwimm- und Schwingungsverhalten, Steifigkeit von Bauteilen).
- **Verwendung von seewassertauglichen PV-Modulen**. Handelsübliche PV-Module bestehen aus Glas, Einkapselungsmaterialien (PVB, EVA), Solarzellen und einer Rückseitenfolie aus Kunststoff (Tedlar). Sie sind nicht vollkommen diffusionsdicht und werden bei andauernder hoher Luftfeuchtigkeit durch Korrosion funktionsuntüchtig.
- Photovoltaik-Komponenten sind nicht auf Dauer seewasserfest. **Verschmutzung**, wie ein Eintauchen von Modulen in Meerwasser, darf nur in Ausnahmefällen und nur für kurze Zeit geschehen. Zudem führt eine Verkrustung der Moduloberfläche mit Salz zu geringerem Ertrag. Eine Beeinträchtigung durch Spritzwasser ist daher auf selten auftretende Fälle zu beschränken (extrem starker Wind). Auf eine ausreichende Selbstreinigungsfähigkeit des Systems durch Regenwasser ist zu achten.

Aus den genannten Anforderungen ergab sich eine Reihe von Forschungsfragen, wie z.B:

- Welche Form muss ein Tragwerk haben, um die Einwirkungen von Wind und Wellen zu minimieren; wie erreicht man möglichst große Spannweiten bei ausreichender Festigkeit und minimalen Kosten?
- Welche Materialien sind in Bezug auf Kosten, Festigkeit und Haltbarkeit geeignet?
- Wie sind die Form und Anordnung sowie Material und Aufbau der Schwimmkörper zu wählen?
- Welche Verankerung ist kostengünstig und stabil genug, übt auf die Plattform speziell an den Befestigungspunkten keine zu großen Kräfte aus und erlaubt eine freie vertikale Bewegung der Plattform?
- Welche Modulbefestigung ist für unsere Anforderungen geeignet?
- Wie können Module und Kabel langfristig seewasserfest und ausreichend widerstandsfähig gemacht werden?
- Wie kann eine Solaranlage optimal in bestehende Inselnetze integriert werden – gibt es bereits wirtschaftlich sinnvolle Speicherlösungen?

Diese wichtigsten Fragen konnten im Laufe des Projektes beantwortet werden (siehe Kap.4 Ergebnisse):

3.1.1 Modellversuche Plattform

Für die Schwimmplattform wurden zuerst 3 unterschiedliche Konzepte betrachtet (siehe unten). „Float light“, eine relativ leichte Konstruktion mit großen Schwimmkörpern, die mit den Wellen mitgeht. „Float heavy“ ist schwerer und dadurch so träge, dass es sich deutlich weniger mit Wellen mit bewegt. „Semi-submersible“ ist an das Prinzip einer Ölbohrplattform angelehnt. Auftriebskörper werden größtenteils unter der Wasseroberfläche angebracht, so dass Wellen sich über sie hinweg bewegen und kein Schaukeln der Plattform verursachen.



Abb.1: Float light Plattformverbund

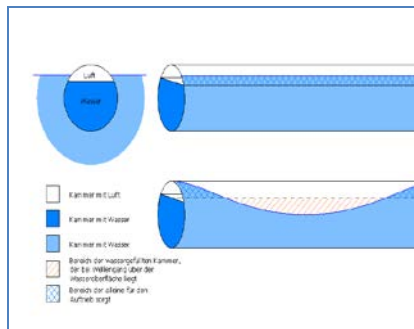


Abb.2: Konzept für float heavy

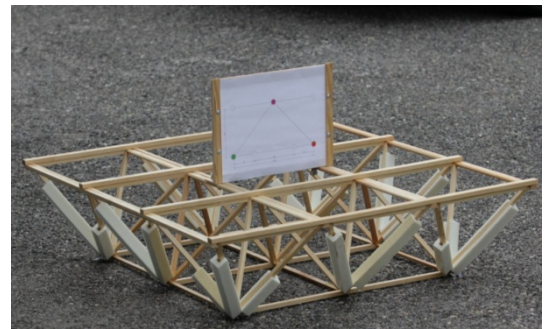


Abb.3: Holzmodell für Semi-Submersible Variation

Ausgewählte Ansätze wurden mit Modellen geprüft und schließlich, jeweils nach Abschluss einer Entwicklungsphase, mit einem Prototyp umgesetzt. Die Modelle, im Maßstab 1:10 gebaut (siehe Abb. 4 und 5), wurden in einem eigenen Testbecken mit einem Wellengenerator bezüglich ihres Schwimmverhaltens bei Wellengang untersucht. In den Analysen zeigte sich eine gute **Übereinstimmung von Computersimulationen und tatsächlichem Schwimmverhalten der Modelle**, sodass eine Optimierung mit Computersimulationen geprüft und nur vielversprechende Varianten mit Modellen oder Prototypen getestet wurden. Die Analyse der Konstruktionen bezüglich Festigkeit und Langlebigkeit wurde ebenfalls am Computer durchgeführt.



Abb.4: Semi Submersible Basismodell 1:10



Abb.5: GfK-Röhrenmodell 1:10

Eine Konstruktion aus senkrecht im Wasser stehenden Röhren, die von einem Rahmen in Position gehalten werden, wies bei weitem das beste Schwimmverhalten auf, war aber windempfindlich und zu teuer.

3.1.2 Prototypen und Praxistest

Intensive Arbeiten an den Modellen und Materialien mündeten in das finale Design der Prototypen. Bis Projektende konnten 3 Prototypen entwickelt werden, die den gestellten Anforderungen entsprachen. Basierend auf den Erkenntnissen der Modellversuche und Simulationen wurde aber zunächst ein erster Vorprototyp „0.5“ gebaut, mit dem das Konstruktionsprinzip eines Raumfachwerks im Maßstab 1:3 erprobt und auf seine Schwimmtauglichkeit getestet wurde.



Abb.6: Semi Submersible Vorprototyp 0.5



Abb.7: Prototyp 0.5 im Wasser, Maßstab 1:3

Nach weiteren Modellversuchen im verbesserten Testbecken wurde die Gerüststruktur gering modifiziert, die Modulaufständerung verbessert und Form, Anordnung und Anbindung der Schwimmkörper optimiert. Bei Prototyp 1.0, welcher aus Stahl bestand, wurde das Design erstmals erfolgreich im Maßstab 1:1 im Plattensee getestet. Windgeschwindigkeiten bis 120 Km/h und Wellen bis 1,5 Meter führten zu keinen Beschädigungen von Plattform und Modulen.



Abb.4: Erster semi-submersible Prototyp im Praxistest am Plattensee.
Durchlaufende Welle, Prototyp 1.0. schwimmt ruhig.

Prototyp 1.5 bestand dann aus weitgehend korrosionsbeständigem Aluminium. Er wiegt ca. die Hälfte seines Vorgängers und ist auch kostenmäßig bereits im angestrebten Bereich. Nach bestandenerm Schwimmtest auf einem Schotterteich wurde er im Herbst 2014 auf die Malediven verschifft, dort installiert und erfolgreich ans Stromnetz angeschlossen.



Abb.5: Prototyp 1.5 schwimmt am vorgesehenen Ort

Im April 2015 folgte Prototyp 3.0 aus Glasfaserkunststoff, der aufgrund des Auftriebs der Röhren keine separaten Schwimmkörper benötigt. Seine Vorteile liegen in Korrosionsbeständigkeit und geringerem Gewicht. Der Herstellungsprozess erfolgte in Eigenentwicklung, unterstützt und optimiert durch Computersimulationen zu Festigkeitsberechnungen und Schwimmverhalten.



Abb.6: Prototyp 3.0 ist mit 28 kWp PV Leistung bestückt, schwimmt und liefert Strom

Ein Vorpilot in Form einer Messplattform aus Holz wurde ebenfalls entwickelt und im Frühjahr 2014 auf den Malediven installiert. Er dient einerseits dem Vergleich der Leistung von Modulen über der Wasserfläche mit identischen Modulen auf einer Dachanlage, andererseits zur Gewinnung von Erkenntnissen zur Auswirkung von Modulart, -ausrichtung und –anstellwinkel auf der Plattform.

3.1.3 Seewasserfeste Photovoltaik-Module

Handelsübliche **Solarmodule** mit Rückseitenfolie korrodieren in Meeresnähe. In zahlreichen und über mehrere Jahre geführten Gesprächen mit Herstellern von Modulen, Einkapselungsfolien, Produktionsmaschinen und mit Prüfinstituten wurde eine Modultechnik identifiziert, die mit großer Wahrscheinlichkeit unseren Anforderungen entspricht. Anschließend wurden Module mit verschiedenem Aufbau und von verschiedenen Herstellern einem Langzeittest in einer Klimakammer unterworfen.

Basis der Überlegungen zur **Modulbefestigung** war einerseits die minimale Übertragung von Kräften auf die Module, andererseits die Notwendigkeit, möglichst viele Module auf geringer Fläche unterzubringen. Zur Reduktion der Kosten wurde anstelle einer zusätzlichen Schiene eine Strebe der Unterkonstruktion etwas massiver ausgeführt und zur Modulbefestigung verwendet. Außerdem erlaubt eine eigens entwickelte Kombination von Standardklemmen und Eigenbaukomponenten nun auch verschiedene Anstellwinkel für die Module. Die Kosten für diese Art von Aufständigung sind zwar beim Bau der einzelnen Prototypen noch zu hoch, können in Serienproduktion jedoch deutlich reduziert werden.

3.2 Balance of Systems, PV-Komponenten und Netzintegration

Für die Dimensionierung und Integration von Solarstrom in kleine Inselstromnetze müssen zunächst die Anforderungen und relevanten Parameter ermittelt werden, was im vorliegenden Projekt durch eine eigens aufgebaute Messstation bei einer Hotelinsel erreicht wurde. Es zeigte sich, dass Solaranlagen, die im Vergleich zu den mit ihnen parallel betriebenen Dieselgeneratoren sehr groß sind, den Einsatz

kleiner Pufferbatterien erfordern. Diese gleichen dann kurzfristig auftretende Schwankungen der Solarstromproduktion aus. Dabei war zu berücksichtigen, dass fast alle Dieselgeneratoren mit unterschiedlichen Steuerungssystemen geregelt werden und der Markt für leistungsstarke und kostengünstige Batterien sehr jung ist. Dementsprechend musste erst ein passendes Konzept mit verschiedenen Herstellern entwickelt werden.

3.3 Wirtschaft/Umwelt/Recht

Die **Graue Energie von Swimsol** wurde über ein vom Projektpartner IET entwickeltes Tool berechnet. Die Berechnung berücksichtigt die Umwelteffekte von Produktion, Transport, Installation, Betrieb und Rückbau von Swimsol-Anlagen. Das Ergebnis ist der kumulierte Energieaufwand KEA, der in MJ/kg Material dargestellt wird. Aus den Berechnungen für unsere Prototypen 1.5 und 3.0 ergibt sich eine Energierücklaufzeit von 8,8 bzw. 7,5 Jahren, wobei der höhere Wert durch die energieintensive Aluminiumherstellung entsteht. Betrachtet man die Komponenten der Solaranlage, verursachen die Module den höchsten Anteil des Energieaufwands.

Auf den Malediven wurde der Vorgang der Umweltverträglichkeitsprüfung für schwimmende PV Anlagen nachvollzogen. Dabei wurde Hussein Zahir, Experte für UVPs bei der Firma Lamer, interviewt und die Schritte der UVP zusammengefasst. Des Weiteren dokumentierte das Forschungsprojekt Maßnahmen zur Verbesserung der Umwelt- und Energiebilanz und holte dabei fachliche Expertise über Wechselwirkungen mit der Umwelt und notwendige Schutzmaßnahmen (z.B. Meeresbiologe Dr. Kikinger) ein. Mögliche Schadstoffe von schwimmender PV wurden dabei auch mittels Literaturrecherche analysiert und zusammengefasst.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im gegenständlichen Projekt sollten die bestehenden Swimsol-Konzepte und Berechnungen durch Computermodelle und Simulationen weiterentwickelt, mit Versuchsträgern geprüft und schließlich in Prototypen umgesetzt werden. Das erwartete Ergebnis war die Entwicklung einer Technologie, die nach dem Projekt in einer Pilotanlage erprobt und in der Folge in eine Serienproduktion übergeführt werden soll. Der für das Jahr 2015 geplante Markteintritt mit einem Demonstrationsprojekt konnte bereits realisiert werden.

Entwicklung Plattform. Eine wichtige Erkenntnis des Projektes war, dass die mechanischen Kräfte auf alle Komponenten der Plattform niedrig sind und letztere daher vergleichsweise kostengünstig hergestellt werden können. Als korrosionsbeständige Materialien für die Prototypen haben sich Aluminium bzw. GFK bewährt - welches der beiden für das Endprodukt zum Einsatz kommt oder ob eine Materialkombination die beste Lösung darstellt, wird sich im Praxistest zeigen.

In den Analysen zeigte sich eine gute **Übereinstimmung von Computersimulationen und tatsächlichem Schwimmverhalten der Modelle**, sodass eine Optimierung mit Computersimulationen geprüft und nur vielversprechende Varianten mit Modellen oder Prototypen getestet wurden. Ein wesentliches Ergebnis der Berechnungen war etwa die Erkenntnis, dass eine filigranere Konstruktion

eine Gewichtsreduktion der Knoten auf beinahe 1/5 des jetzigen Wertes ermöglicht und damit eines der wichtigsten Ziele bei der Optimierung der Konstruktion erfüllt. Diese Konstruktion hielt auch allen Lastfällen stand. Dennoch zeigte der Bau des Prototyps 1.0, dass viele konstruktive Aspekte zu berücksichtigen waren, die in den Simulationen nicht offensichtlich wurden.

Als bestes Design für die Swimsol-Plattform hat sich ein steifes, fachwerksartiges Gerüst mit Auftriebskörpern aus Kunststoff erwiesen, die über das Tragwerk verteilt sind. Die Plattform ist 3 Meter hoch und sinkt zur Hälfte in das Wasser ein, so dass sich die Module bei glatter See 1,5 Meter über der Wasseroberfläche befinden. Der Großteil der Auftriebskörper liegt unterhalb der Wasserlinie, so dass Wellen über sie „hinweg wandern“. Zusätzliche Auftriebskörper knapp ober- und unterhalb der Wasseroberfläche stabilisieren die Plattform und gleichen von Wind verursachten Druck und Sog aus (ihre spezielle Form und Anordnung wurde bereits zum Patent eingereicht). Neben der Seewasserfestigkeit zeichnet sich Swimsol Lagoon daher im Vergleich zu anderen Lösungen besonders durch seine ruhige Lage im Wasser auch bei starkem Wind und Wellengang aus.

Die **Schwimmkörper** aus EPS werden mittels einer Spezialfolie der Firma Lenzing und dünnen Aluminiumplatten seewasser- und UV-beständig ummantelt. Als zusätzlicher Vorteil sind sie in dieser Form stabiler und bei der Montage leichter zu handhaben. Die **Verankerung** erfolgte bei den ersten zwei Prototypen über Seile, die unter Vorspannung von den oberen Eckpunkten der Plattform nach außen zu Bojen und von dort weiter zu den Verankerungselementen (Betonblöcke bzw. Schraubanker) führen. Bei Prototyp 3.0 werden die Verankerungsseile von einem Knotenpunkt in der Mitte der Unterseite der Konstruktion zu den unteren Ecken und von dort zu Vorspannbojen geleitet, was die auf das Tragwerk wirkenden Kräfte stark reduzieren sollte.

Bei der **Verkabelung** unterscheidet man zwei Bereiche: die direkt von den Modulen wegführenden Kabel müssen in erster Linie UV-beständig sein, da sie im Normalfall nicht mit Seewasser in Kontakt kommen. Für die Verbindung der Plattform mit dem Land müssen wir hingegen ausdrücklich seewasserdichte Unterwasserkabel verwenden, da bei gewöhnlichen Kabeln ein zu geringer Isolationswiderstand gemessen wurde. Eine zusätzliche Armierung verhindert das Durchscheuern auf dem harten Korallenboden.

Der durchgeführte Praxistest bei **PV-Modulen** untermauerte das nach unseren Recherchen zu erwartende Ergebnis, dass für unseren Anwendungsfall der gleichzeitigen mechanischen und sehr starken chemischen Belastung nur vollkommen diffusionsdichte Glas-Glas-Module mit Randabdichtung ihre Leistung beibehalten. Andere Module zeigten einen Leistungsabfall von 10% bzw. 50%. Aufgrund der Erfahrungen mit Transport, Installation und Befestigung vor Ort wurde von der ursprünglichen Idee abgegangen, rahmenlose Module mit an der Rückseite angeklebten Profilen („Backrails“) einzusetzen. Stattdessen wurden Doppelglasmodule ausgewählt, die mittlerweile von dem von uns bevorzugten Hersteller mit einem Aluminiumrahmen angeboten werden.

Das Ziel eine **PV Anlage in ein bestehendes Dieselnetz zu integrieren** konnte mit den nunmehr 2 erfolgreich angeschlossenen Prototypen realisiert werden. Zusätzlich wurde dabei umfangreiche Kenntnis von Konzepten, Techniken und Maßnahmen, die für die Einbindung einer großen PV-Anlage in ein mit Dieselgeneratoren betriebenes Inselnetz nötig sind gewonnen. Aus dem Forschungsprojekt

resultierte ein Maßnahmenkatalog für einen zuverlässigen und stabilen Netzbetrieb (Regelung, Stromspeicher, ...) sowie eine Liste geeigneter Produkte und Vorgehensweisen für die Netzintegration.

Das Einholen von Informationen zu wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen führte auch zu der Entscheidung, **im Dezember 2014 ein eigenes Patent** mit dem Kurztitel: SCHWIMMENDE PV-ANLAGE SWIMSOL GMBH einzureichen.

5 Ausblick und Empfehlungen

Swimsol hat mit diesem Forschungsprojekt die weltweit erste schwimmende Solaranlage entwickelt, die auf dem Meer eingesetzt werden und Inselstandorte unbegrenzt mit Solarstrom versorgen kann. Das Produkt „Swimsol Lagoon“ erzeugt Strom billiger als Dieselgeneratoren und ist ohne geförderte Einspeisetarife wettbewerbsfähig. Die Investition amortisiert sich beim aktuellen Dieselpreisniveau auf den Malediven in 11 Jahren und verzinst sich über 20 Jahre mit 7,8%. In Französisch-Polynesien liegt die Amortisationsdauer aufgrund der deutlich höheren Dieselpreise bei 5 Jahren. Nutznießer des Projektes sind somit Regierungen, Stromversorger und Endkunden in den Zielmärkten.

Bezüglich der geeigneten Materialien (Alu oder GFK) sind wir nach der theoretischen Gegenüberstellung von P.1.5 und P.3.0 gespannt auf den Vergleich in der Praxis. Messergebnisse des Prototyps 3.0 können ab Mai 2015 abgerufen werden, zur detaillierten Analyse sind jedoch zum jetzigen Zeitpunkt noch zu wenige Daten vorhanden. Mit den Ergebnissen wird sich entscheiden, welche Variante schließlich für das Produkt „Swimsol“ zum Einsatz kommen wird, oder ob vielleicht eine Materialkombination von GFK bis zur Wasserlinie und Metall für die obere Etage die beste Lösung darstellt.

Derzeit liegen jedenfalls die **Kosten** für den GFK-Prototyp noch über dem angepeilten Ziel, dieser Wert ist allerdings nicht ganz repräsentativ, weil teures Spezialwerkzeug und für den Prototyp eigens entwickelte und hergestellte Schablonen in Zukunft weiterverwendet werden können. Außerdem ist sehr viel Zeit (und somit Personalkosten) in die Optimierung des Herstellungsprozesses geflossen, der mittlerweile sowohl in Sachen Qualität als auch Quantität der produzierten Bauteile schon sehr weit entwickelt ist. Zukünftige Entwicklungen in Richtung verstärkter maschineller bzw. Serienproduktion sollten nicht mehr einen Aufwand in dieser Größenordnung erfordern. Zudem sind wahrscheinlich noch Einsparungen am Material möglich, da P.3.0 hinsichtlich Steifigkeit mit einer großen Sicherheitsreserve gebaut wurde.

Der Abkühlungseffekt durch das Wasser macht sich wie erwartet positiv bemerkbar. Durch einen gleichmäßigeren Temperaturverlauf auf den Modulen ist der **Stromertrag** der Swimsol Anlage 5-10% höher als bei einer vergleichbaren Dachanlage. Weitere Steigerungen des Stromertrages könnten mit neuartigen Bifazial Modulen erreicht werden, welche 2015 auf den Markt gekommen sind. Bei diesen Modulen ist die Vorder- und Rückseite mit PV Zellen bestückt, somit kann das vom Wasser gespiegelte Sonnenlicht ebenfalls genutzt werden.

Die **Einspeisung des Solarstroms** hat sich (bis auf die Probleme mit den Wechselrichtern) als einfacher als gedacht herausgestellt. Im ersten Schritt werden Swimsol-Anlagen als Hybrid-System gleichzeitig mit mindestens einem Dieselgenerator betrieben, der die Frequenz und Spannung im

Stromnetz aufrechterhält. Dabei muss beachtet werden, dass die Produktion von Solarstrom bei teilweiser Bewölkung stark schwanken kann und der Dieselgenerator diese Schwankungen ausgleichen muss. Die höchsten Einsparungen werden mit einer Solaranlage erzielt, die so dimensioniert ist, dass einer oder mehrere Dieselgeneratoren abgeschaltet und die restlichen Generatoren mit einem hohen Wirkungsgrad betrieben werden können. Dafür soll in Zukunft eine kleine Pufferbatterie installiert werden, die kurzfristige Schwankungen der Solarstromproduktion durch Regen oder Wolken überbrückt. Nur bei leerem Pufferspeicher und niedriger Solarstromproduktion wird ein zusätzlicher Dieselgenerator wieder eingeschaltet. In diesem ersten Schritt soll nicht mehr als 20% Solarstrom in ein Dieselnetz gespeist werden. Bei genügend Erfahrungen mit der Einspeisung des Solarstroms und der Stabilität des Inselnetzes kann dann schrittweise der Anteil des Solarstroms erhöht werden, bis hin zu einer 100% Versorgung mit Solarstrom.

Das Wasser an den Resort nahen Standorten ist oft seicht (1,5 – 3 Meter Tiefe), daher wird nun an einer **kostengünstigeren Flachwasservariante** gearbeitet. Damit entfällt in Zukunft auch das Aufsuchen und Bestellen eines Sand Barge Bootes.

Seit April 2015 fördert das „Zentrum für Innovation und Technologie der Stadt Wien“ die Automatisierung der Produktion. Die Kosten der Plattform ohne Solarmodule sollen dadurch auf unter 2,300 \$/kW gesenkt werden. Ziel ist die Schaffung eines serienreifen Produkts, von dem innerhalb von 3 Monaten 100 Stück hergestellt werden können. Außerdem soll ein effizienter Weg gefunden werden, Plattformen am Strand zu montieren und anschließend ins Wasser zu bringen.

Unser langfristiges Ziel ist die **Versorgung der Hauptstadt Male** mit einem nennenswerten Anteil an Solarenergie. Unsere Ziele für 2016 sind eine erste Referenzanlage mit 0,5-1 MW und der Markteintritt in einem weiteren Markt außerhalb der Malediven mit einem Pilotprojekt. Um abgesicherte Aussagen über das Verhalten von **Plattformverbunden** erzielen zu können, braucht es aber noch Zeit, Versuche, und jede Menge Rechnerstunden, um die große Anzahl von Konfigurationen abdecken zu können. Im Oktober 2015 sollen daher im Rahmen eines Pilotprojekts 100 kW auf einer Einheimischeninsel installiert werden. Dabei werden vier Plattformen in Kooperation mit dem regionalen Energieversorger und dem maledivischen Energieministerium an das Stromnetz angebunden. Dieses Demonstrationsprojekt wird von der Austrian Development Agency im Rahmen des Programms Business Partnerships unterstützt.

6 Literaturverzeichnis

Basisliteratur

Malediven: <http://www.stelco.com.mv/home2.php>

REMER, D.S., KELLY, B.C. und LIM, H.T. (1983): Aquatic photovoltaic facility for Catalina Island. Publiziert in: Energy Vol. 8, Nr. 6, 461-472.

RENNÉ, D., GEORGE, R., MARION, B. und HEIMILLER, D. (2003): Solar Resource Assessment for Sri Lanka and Maldives. National Renewable Energy Laboratory. Verfügbar unter: <http://www.nrel.gov/docs/fy03osti/34645.pdf>. Abfrage am [07.07.2015].

Secretariat of the Pacific Community: <http://www.spc.int/>

Statistical Yearbook of the Maldives: http://planning.gov.mv/yearbook2010/tables_2010.html

SOLANO-PERALTA, M., MONER-GIRONA, M., VAN SARK, W. und VALLVE, X. (2009): Tropicalisation of Feed-in Tariffs: A custom-made support scheme for hybrid PV/diesel systems in isolated regions. Publiziert in: Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 2279–2294.

TAKAGI, K., SHIMADA, K. und IKEBUCHI, T. (2000): An anti-motion device for a very large floating structure. Publiziert in: Marine Structures, Volume 13, Issues 4-5, 421-436.

YILMAZ, O. und INCECIK, A. (1996): Hydrodynamic design of moored floating platforms. Publiziert in: Marine Structures, Volume 9, Issue 5, 545-575.

Entwicklung, Patente und Konkurrenz

ARGHIRO, S. (2010): Arrangement de modules photovoltaics sur structure de support. Verfügbar unter: http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=22&adjacent=true&locale=de_at&FT=D&date=20100331&CC=CH&NR=699564A2&KC=A2. Abfrage am [06.06.2015].

Babenhausen: Verfügbar unter: <http://www.erneuerbareenergien.de/photovoltaik-geht-offshore/150/479/28845/>. Abfrage am [07.06.2015].

CALDANI, M. (2008): Modular floating structure for photovoltaic array. Verfügbar unter: http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=0&adjacent=true&locale=de_at&FT=D&date=20110824&CC=EP&NR=2359075A2&KC=A2; Abfrage am [06.06.2015].

CANGINI, E. (2010): Floating photovoltaic system. Verfügbar unter:

http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=0&adjacent=true&locale=de_at&FT=D&date=20100610&CC=CA&NR=2744686A1&KC=A1; Abfrage am [06.06.2015].

CARRENO, N.: Structure for supporting panels in aquatic environments. Verfügbar unter:

http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=9&adjacent=true&locale=de_at&FT=D&date=20110223&CC=EP&NR=2287544A1&KC=A1 Abfrage am [06.06.2015].

Ciel-de-Terre: Verfügbar unter: <http://www.ciel-et-terre.net/>. Abfrage am [06.06.2015].

FERRER, C.: Floating photovoltaic cover system. Verfügbar unter:

http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=0&adjacent=true&locale=de_at&FT=D&date=20100910&CC=WO&NR=2010100291A1&KC=A1. Abfrage am [06.06.2015].

Jetfloat: Verfügbar unter: <http://www.jetfloat-international.com/de/einsatzbereiche/photovoltaik/>. Abfrage am [06.07.2015].

LAING, J. (1995): Plattform zur Nutzung von Sonnenenergie. Verfügbar unter:

http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=58&adjacent=true&locale=de_at&FT=D&date=19950829&CC=US&NR=5445177A&KC=A. Abfrage am [06.06.2015].

Solaris Synergy: Verfügbar unter: <http://www.solaris-synergy.com/>. Abfrage am [06.06.2015].

VOLKRODT, W. (2000): Schwimmender Sonnenkollektor. Verfügbar unter:

http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=53&adjacent=true&locale=de_at&FT=D&date=20000831&CC=DE&NR=19908645A1&KC=A1. Abfrage am [06.06.2015].

Woo Do, Y. (2011): Water surface floating type solar power generator. Verfügbar unter:

http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=0&adjacent=true&locale=de_at&FT=D&date=20110519&CC=KR&NR=20110053210A&KC=A. Abfrage am [06.06.2015].

YEKETIELY, B. (2008): Floating water integrated photovoltaic module. Verfügbar unter:

http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=1&adjacent=true&locale=de_at&FT=D&date=20100318&CC=US&NR=2010065106A1&KC=A1; Abfrage am [06.06.2015].

7 Kontaktdaten

Mag. Martin Putschek

Swimsol GmbH,

T: 0699 11507501

Goldeggasse 2, 1040 Wien

office@swimsol.com

www.swimsol.com

Partner:

- TU-Wien, Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik (IFT)
- TU-Wien, Institut für Energiesysteme und elektrische Antriebe (ESEA)
- TU-Wien, Institut für Energietechnik und Thermodynamik (IET)
- Tittmann Solar GmbH
- Lenzing Plastics GmbH
- Sunpor Kunststoff GmbH