

## 2nd Life for PV

Entwicklung einer modularen Hochdurchsatz-Upcycling-Anlage für gebrauchte PV-Module

<b>Programm / Ausschreibung</b>	IWI 24/26, IWI 24/26, Basisprogramm Ausschreibung 2024	<b>Status</b>	abgeschlossen
<b>Projektstart</b>	10.04.2024	<b>Projektende</b>	10.04.2025
<b>Zeitraum</b>	2024 - 2025	<b>Projektlaufzeit</b>	13 Monate
<b>Keywords</b>			

### Projektbeschreibung

Der Projektinhalt richtet sich auf die Entwicklung einer automatisierten und modularen Hochdurchsatz-Upcycling-Anlage für gebrauchte PV-Module. In mehreren Entwicklungsschritten und drei Ausbaustufen der Anlage soll im Zuge des Projektes ein Prototyp einer automatischen Hochdurchsatz-Upcycling-Anlage vorliegen, welcher sowohl in der Anordnung und Durchführung seiner Prozessschritte als auch in der Funktionsweise hinsichtlich der Erkennung von Modultypen und deren Fehlern grundlegend funktionsfähig ist. Die PV-Module sollen dabei entlang einer Anlagenstraße zuerst gereinigt, einem Modultyp zugeordnet sowie weiterführend geprüft und später auch repariert werden. Die upcyclefähigen Module sollen dabei so aufbereitet und geprüft werden, dass sie einen zweiten Lebenszyklus erfahren können. Das Ziel beschränkt sich somit nicht nur auf die Detektion von Defekten, sondern auch auf eine gesamtheitliche Bewertung des Potentials zur Überführung eines Moduls in seinen zweiten Lebenszyklus. Die Auswertungen der Anlage sollen in einen automatisiert erstellten Prüfbericht münden. Das Herzstück der Upcycling-Anlage bildet ein digitaler Zustandsevaluierungsprozess, der basierend auf den erhobenen Daten der Prüfverfahren und unter Einbezug von KI das Potential für einen weiteren Lebenszyklus sowie den aktuellen Wert des PV-Modules ermittelt. Je mehr Daten mit den in Betrieb stehenden Upcycling-Anlagen gesammelt werden, desto präziser und besser wird die Qualität des Prozesses.

Dadurch soll der Aufbereitungsprozess von gebrauchten PV-Modulen, der Stand jetzt primär manuell durchgeführt wird, durchwegs automatisiert werden. Die zu entwickelnde Anlage soll im Zuge dieses Projektes in stationärer Form umgesetzt werden. Das Ergebnis des Projektes soll unter anderem eine signifikante Einsparung von PV-Müll ermöglichen, indem verhindert wird, dass noch funktionierende PV-Module recycelt oder entsorgt werden. Die Maximierung der Lebensdauer von PV-Modulen trägt zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bei. Module, die aufgrund von Beschädigungen nicht mehr verwendet werden können, sollen weiters mit entsprechenden Informationen bezüglich der enthaltenen Materialien dem Recyclingprozess zugeführt werden. Die Installation neuer PV-Module hat in den letzten Jahren kontinuierlich zugenommen und liegt weltweit im Durchschnitt des letzten Jahres bei etwa 3 Mio. neuen Modulen pro Tag. Diese massive Ausweitung führt zu einer exponentiellen Zunahme von gebrauchten bzw. auszutauschenden PV-Modulen, die bei Abnahme der Leistung größtenteils entsorgt/recycelt werden. Alleine in Deutschland wird für das Jahr 2030 ein Rücklauf von etwa 1 Mio. Tonnen (ca. 50 Mio. Stück) an gebrauchten PV-Modulen erwartet. In genau diesem prognostizierten Rückstrom erkennt 2nd Cycle ein

erhebliches Potenzial.

Die Entwicklungsinhalte des Projektes richten sich konkret auf folgende Punkte:

- Auswahl und Anordnung der Anlagenmodule zur Umsetzung einer effizienten Prüfung und Zustandsbeurteilung von gebrauchten PV-Modulen
- Automatisierte Erkennung der PV-Modultypen
- Entwicklung einer automatischen elektrischen Kontaktierung der PV-Module in den notwendigen Prozessschritten
- Entwicklung fortschrittlicher Auswertelgorithmen für die PV-Modulprüfung
- Entwicklung automatischer Nassreinigungs- und Trocknungsanlage für gebrauchte PV-Module
- Entwicklung eines Mehrwegtransportsystems für gebrauchte PV-Module

Ebenso soll weiterführend das Thema einer automatisierten Reparatur von Modulen, deren Potential zur Überführung in einen zweiten Lebenszyklus besteht, fundamental aufgegriffen werden. Das Thema bietet jedoch für sich allein stehend eine erhebliche Innovation und etliche Entwicklungsrisiken, weswegen dieses Thema zur vollständigen Integration in dieses Projekt zu umfangreich beurteilt wird.

Nach aktuellem Stand der Technik existiert am Markt noch kein normierter und standardisierter Lösungsansatz zur Aufbereitung (insb. zur Überprüfung) von gebrauchten PV-Modulen. Es konnte kein äquivalent vergleichbares Produkt am Markt gefunden werden. Es werden jedoch einige Messverfahren, die auch in der Upcycling-Anlage zum Einsatz kommen werden, bereits im Produktionsumfeld und bei der Wartung von PV-Anlagen verwendet. Der Hauptgrund dafür, ist das bisher fehlende Potential an gebrauchten PV-Modulen, wodurch ein wirtschaftlicher Einsatz einer solchen Anlage bis dato nicht möglich war. Die Aufbereitung von PV-Altmodulen wird zurzeit entweder gar nicht oder vermehrt manuell durchgeführt. Durch den kontinuierlich ansteigenden Rücklauf an Altmodulen konnte jedoch ein erhebliches Potential zur Entwicklung und zum Einsatz einer solchen Anlage von 2nd Cycle identifiziert werden. Dieses Potential wurde weiterführend in Gesprächen mit potentiellen Interessenten und ExpertInnen aus dem Gebiet bestätigt. Die geplanten Entwicklungen sollten einen erheblichen Nutzen für die Umwelt mit sich bringen. Dieser Nutzen lässt sich folgendermaßen quantifizieren:

- Aufbereitung von etwa 8 % des EU-weiten Rückstroms (3,8 Mio. Stk.) an gebrauchten PV-Modulen mit 20 Upcycling-Anlagen (bis 2031)
- Einsparung von rund 114.000t PV-Müll (bis 2031)
- Vermeidung von rund 1 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Ausstoß (bis 2031)

Damit trägt man effektiv zur Verbesserung der Kreislaufwirtschaft und einer Ressourcenschonung bei. Zusätzlich kommt es zur Verminderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bei der Herstellung von PV-Modulen. Ebenso wird ein breiter und nachhaltiger Zugang zu PV-Produkten für KonsumentInnen, durch die Aufbereitung und das Angebot günstiger, geprüfter Alt-PV-Module, geschaffen.

Durch die Umsetzung des vorliegenden Projektes, wird in vielen Punkten eine Innovation geschaffen. Diese Innovation richtet sich übergreifend auf die neuartige Anordnung und Verknüpfung von Inspektionsverfahren, sowie die Automatisierung dieser Prozesse im Hochdurchsatz, zum Upcycling von gebrauchten PV-Modulen. Im Detail werden Innovationen unter anderem durch eine automatisierte Zustandsbeurteilung mittels Nutzung von Datenbanken und KI-Algorithmen sowie in den Bereichen der automatisierten elektrischen Kontaktierung, Prüfung, Reinigung und Sortierung der PV-Module erzielt.

Ebenso ist die geplante Implementierung von KI-Algorithmen in verschiedenen Phasen der Anlage ein bedeutender Fortschritt und eine Innovation im Anwendungsbereich. Dabei ist speziell die automatische Parametrierung der einzelnen Prüfverfahren (z.B. Limits für Strom/Spannung beim Flash-Test, Belichtungsdauer beim EL-Test) hervorzuheben, welche aufgrund der wechselnden PV-Modultypen erforderlich ist. Hierbei sind auch im Produktionsumfeld noch manuelle Tätigkeiten notwendig.

Der Mehrwert für KundInnen ergibt sich aus einem modular aufgebauten Prozess mit möglichst geringen Taktzeiten, die aufgrund einer effizienten Anordnung von Anlagen-Modulen und Prozessoptimierungen erreicht werden sollen. Die geplante Anlage erlaubt eine enorme Flexibilität in Bezug auf Modultechnologien, Modulabmessungen und Modulalter und eignet sich somit für eine breite Palette von Modulen (89% aller Module). Die Anlage soll sehr kurze Zykluszeiten und damit hohe Durchsatzraten ermöglichen (30 sec/Modul). Auch die Amortisationszeit soll mit Prüfkosten von 4 € pro Modul entsprechend gering gehalten werden.

Im Zuge der Projektumsetzung wird eine Lösung etlicher technischer Risiken kommen. Diese Risiken schlagen sich unter anderem auf folgende Punkte nieder:

- Herausforderungen bei der Einhaltung von Normen und Sicherheitsanforderungen
- Umlegung von bestehenden Prüfverfahren auf den Anwendungsfall bzw. Neuentwicklung von Prüfverfahrens-Kombinationen
- Probleme bei der automatisierten Modultyperkennung
- Schwierigkeiten bei der optischen Prüfung
- Erreichung der geringstmöglichen Taktzeit sowie Optimierung der Reihenfolge der Prozessschritte
- Entwicklung der horizontalen vollautomatischen Reinigungsanlage
- Herausforderungen bei der Umsetzung einer automatisierten elektrischen Kontaktierung
- Herausforderungen bei der Datenauswertung mittels KI-basiertem Prüfdatenauswertungsalgorithmus
- Entwicklungsschwierigkeiten im Bereich der Spektrometrie

## **Endberichtkurzfassung**

Die im Rahmen des Forschungsprojektes definierten Entwicklungsziele wurden im ersten Projektjahr in vollem Umfang und innerhalb des vorgegebenen Zeitplans erreicht. Die Umsetzung der ersten Entwicklungsstufe der Upcycling-Anlage, welche im semi-automatisierten Pendelbetrieb realisiert wurde, stellt einen wesentlichen Meilenstein dar und markiert zugleich den erfolgreichen Einstieg in die praktische Validierungsphase des Gesamtsystems. Damit wurde ein bedeutender Fortschritt auf dem Weg zur angestrebten vollautomatisierten Upcycling-Hochdurchsatzanlage erzielt.

Die im Förderantrag definierten Zielsetzungen – insbesondere die Entwicklung einer Anlage zur automatisierten Reinigung, Prüfung und Bewertung gebrauchter PV-Module – wurden inhaltlich bestätigt und technisch konkretisiert. Die erreichten Zwischenergebnisse unterstreichen die Realisierbarkeit des Gesamtvorhabens und belegen die hohe technische und konzeptionelle Umsetzungsqualität des Projektkonsortiums. Das zentrale Projektziel, eine marktfähige, vollautomatisierte Upcycling-Anlage für gebrauchte PV-Module mit intelligenter Datenverarbeitung und Entscheidungslogik zu entwickeln, ist weiterhin aktuell und realistisch. Der Projektfortschritt zeigt, dass sowohl die zeitliche als auch die technische Planung solide aufgesetzt wurde.

Im Rahmen der Umsetzung der ersten Anlagenstufe konnten zudem wertvolle Erkenntnisse über Prozessdesign, Anlagensteuerung und Schnittstellenintegration gewonnen werden. Diese Erkenntnisse fließen nun in die Weiterentwicklung zur vollautomatischen Stufe ein. Im Zuge der Testläufe wurden sämtliche Grundfunktionen wie die automatische Zuführung, die Basiserkennung von Modultypen sowie erste Prüfmodule erfolgreich integriert und getestet.

In Bezug auf mögliche Projektrisiken oder Ziellanpassungen kann festgestellt werden, dass es bisher zu keinen kritischen Abweichungen kam, welche eine Neu Beurteilung der Projektziele durch die FFG erforderlich machen würden. Die technische Machbarkeit sowie die wirtschaftliche Relevanz der angestrebten Lösung wurden im Projektverlauf weiter untermauert, sodass keine Änderungen an den ursprünglichen Zielen notwendig sind.

## **Projektpartner**

- 2nd Cycle FlexCo