

End-of-Life Management of photovoltaic modules and accessories in India

Der weltweite Bedarf an Elektrizität ist steigend. Vor allem in Entwicklungsländern ist dies zu beobachten, sowie die rasante Zunahme an Treibhausgasemissionen. Der Grund liegt hier hauptsächlich an der Verwendung von fossilen Energieträgern. Das Bewusstsein vom Klimawandel bzw. der Erderwärmung und die wachsende Motivation die Umwelt zu schützen führen immer stärker in eine CO₂ arme Energieproduktion. Die Schlüsseltechnologien sind hier überwiegend Windkraft- und Photovoltaikanlagen (PV).

In Indien gibt es jährlich 300 klare und sonnige Tage mit hoher Sonneneinstrahlung und großen PV Potential. Die Gegebenheiten blieben für die Industrie nicht unentdeckt. So hat sich die installierte PV Kapazität binnen der letzten 5 Jahre von 1 GW in 2012 auf rund 22 GW Ende 2017 erhöht. Für die kommenden Jahre wird ein jährlicher Zubau von 10 GW prognostiziert. Die Regierung strebt mit der sogenannte *Jawaharlal Nehru National Solar Mission* einen installierte PV Kapazität von 100 GW im Jahr 2022 an. Das wäre eine 100-fache Steigerung binnen 10 Jahren und das entspricht 33,3% der weltweiten installierten PV Kapazität von 2017. Realistische Hochrechnungen und Schätzungen setzen den Wert für 2022 auf maximal 70-80 GW. Anhand dieser Zahlen ist der immense Zubau der Photovoltaik in Indien in kurzer Zeit gut nachzuvollziehen. Die hochgelobte grüne Energie birgt leider auch negativ Punkte, die mit zunehmender Lebensdauer präsenter werden. Damit ist das End-of-Life Management der Photovoltaik Systeme gemeint und im Speziellen die Module. Allgemein gehalten beinhalten die Module teilweise sehr gefährliche Materialien, die großen Schaden an Mensch und Natur verursachen, sobald diese unkontrolliert freigesetzt werden. Wird ein Modul ausgetauscht, entweder während seiner Lebenszeit aufgrund Materialschäden o.ä. oder am Ende seiner Lebensdauer, dann wird es im Regelfall professionell in hochtechnischen Prozessen in seine verschiedenen Ausgangsmaterialien zerkleinert und verfeinert. Um einen hohen Reinheitsgrad an beispielsweise Glas oder Silizium zu erhalten, werden abhängig der Recycling Technologien thermische und chemische Verfahren genutzt. Die hohe Reinheit ist notwendig für die Wiederverarbeitung für wertvolle Produkte.

Grundsätzlich unterscheiden sich PV Module in Kristallines Silizium- (c-Si), Dünnschicht- und Forschungstechnologien. Der Marktanteil 2017 aller weltweiter installierten Module liegt bei 94% an c-Si, 5% an Dünnschichttechnologie und weniger als 1% an Modulen die in der Entwicklung stecken oder nur wenig Nachfrage haben. Bezogen auf die Recycling Methoden gibt es einige Unterschiede. Die c-Si Module werden in einfachen aber hochenergetischen Prozessen zerkleinert, gemahlen und mittels kryogener Behandlung (bei Temperaturen um -197°C) gereinigt. Es ist auch möglich die Module als Ganzes bei hohen Temperaturen von über 600°C zu erhitzen. Somit lassen sich die verschiedenen Schichten des Moduls erschließen und voneinander trennen. Der Vorteil dieser Variante liegt in der Wiedernutzung des kompletten Silizium Wafers, welcher in dem Prozess erhalten bleibt und der PV Modul Produktion zurück geführt werden kann. Bei der Dünnschichttechnologie wird sehr ähnlich Vorgegangen. Der Unterschied bezieht sich überwiegend auf die Erschließung der wertvollen und gefährlichen Materialien wie bspw. Germanium, Gallium oder Tellurium. Dafür werden chemische Verfahren genutzt. Diese Verfahren werden in Europa genutzt, um die Bearbeitung der Module zu realisieren. Die Rücknahme der

Module regelt in Europa die WEEE-Direktive, wodurch eine Rücknahme der industriell und privat montierten Module gewährleistet wird.

In Indien gibt es solch ein Gesetz nicht. Auch befindet sich in dem Land keine Recycling Anlage, welche nur ansatzweise den europäischen Standards genüge trägt. Da die Module eine Lebensdauer von 20-30 Jahren besitzen, ist mit einem hohen PV Müll Aufkommen ab 2030 zu rechnen. Aktuell werden 95% des Elektroschrotts in Indien im sogenannten informellen Sektor (Schwarzmarkt) recycelt bzw. gehandelt. Der Anreiz für Unternehmen und Menschen informell zu arbeiten liegt ausschließlich an der finanziellen Vergütung beim Verkauf von Komponenten und des Elektroschrotts. Dieser Elektroschrott (z.B. Handy oder PC, Fernseher) wird mit rudimentären Methoden zerlegt und getrennt, wodurch die arbeitenden Menschen und die umliegende Natur erheblich darunter leiden. Mit Hinblick auf die kommende Modul Schwemme ist das Ausmaß des Recyclens dieser im unprofessionellen Schwarzmarkt kaum vorstellbar. Gelangen Elemente wie Germanium in Kontakt mit Haut und Körper sind die Folgen gravierend, da diese Stoffe sehr toxisch und hochgradig krebserregend sind. Außerdem führt die falsche Lagerung von Modulen in der Landschaft vor ihrer Recycling Prozedur zu Verunreinigungen des Bodens und des Grundwassers. Der Großteil der Module wird durch den Rückbau, Transport und Abladen beschädigt und bietet der Feuchtigkeit bzw. dem Regen die Möglichkeit die gefährlichen Stoffe auszuwaschen und abzutragen.

Damit nicht nur ökologische Folgen und Schäden an der Gesundheit des Menschen als notwendige Handlungsargumente dienen, wird auch die ökonomische Seite des PV Modulrecyclens beleuchtet. Durch bekannte Marktanteile der Module, dem PV Kapazitäten in Indien und dem jeweilige Materialzusammensetzungen der Module ist es möglich eine Abschätzung für die zu erwarteten Materialien beim Recyclen zu machen. In Kombination mit einem Recycling Faktor von 69% sind so Materialmengen zwischen 2025 und 2050 vorhersagbar. Mit den zusätzlichen aktuellen Marktpreisen lassen sich auch Aussagen zu den monetären Potentialen machen. Die Vorhersagen sind vielsagend, beispielsweise für 2030 können rund 44 Millionen Euro durch das professionelle Recyclen der Module gewonnen werden. Jedoch steigen die Menge des Modul-Mülls bereits bis 2040 um einen Faktor 10 und somit auch der zu erwartende finanzielle Erlös. Anhand der getätigten Untersuchungen wurde zum einen gezeigt, dass ein Aufbau eines Recycling-Programms sowohl finanziell lukrativ ist, als auch große positive Auswirkungen auf Mensch und Natur hat.