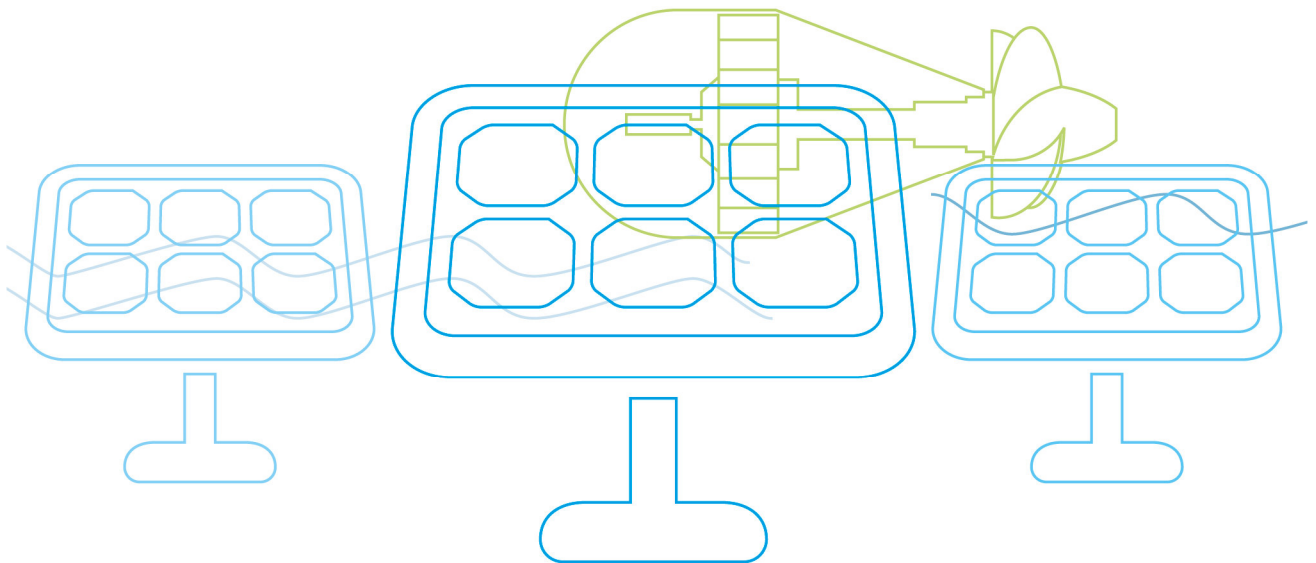




Langzeitperformance von Photovoltaik-Modulen: Systemoptimierung durch Anwendung innovativer Analysen- & Alterungsverfahren



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A stylized, handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, overlapping strokes.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink that reads 'Theresia Vogel' in a cursive script.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

Langzeitperformance von Photovoltaik- Modulen: Systemoptimierung durch Anwendung innovativer Analysen- & Alterungsverfahren

Analysis of PV-Ageing

AutorInnen:

Gabriele C. Eder

Yuliya Voronko

Gernot Oreski

Marlene Knausz

Karl A. Berger

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	4
2	Einleitung	5
3	Inhaltliche Darstellung	8
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	24
5	Ausblick und Empfehlungen	26
6	Literaturverzeichnis / Dissemination	27
7	Anhang	30
8	Kontaktdaten	30

2 Einleitung

PV-Module werden in vielfältigen Anwendungen eingesetzt: Von Großanlagen im zig MW-Bereich bis hin zu speziellen Modulen für die Dach- und Fassadenintegration. Obwohl der PV-Heimmarkt in Österreich nach wie vor marginal ist, reüssieren österreichische Unternehmen in vielen Bereichen der Wertschöpfungskette der PV-Industrie am Weltmarkt.

Photovoltaikmodule sind den am Einsatzort vorherrschenden **klimatischen Einflüssen und Umwelteinflüssen** über viele Jahre hinweg ungeschützt ausgesetzt. Zu den klimatischen Einflüssen zählen z.B. Temperatur, Feuchte und Bestrahlung unter Berücksichtigung des Tages- und Jahresganges dieser Zustandsgrößen, sowie Wind, Schnee, Eis, Salzgehalt der Luft, etc.; bei den Umwelteinflüssen ist es vor allem die Umgebungsluft mit ihren vielfältigen Emissionen. Während klimatische Einflüsse oft über große Gebiete hinweg überwiegend konstant sind, können sich die Umwelteinflüsse regional sehr stark unterscheiden: Ländliche und urbane Gebiete führen mit ihren Schadstoffen aus verschiedenen Emissionsquellen oft zu regional sehr unterschiedlichen 'Mikroklimata'. Sind PV-Module im ländlichen Bereich auf landwirtschaftlichen Betrieben – die aufgrund ihrer großzügig vorhandenen Dachflächen, zu großen Abnehmern von PV-Modulen zählen – oft hohen Ammoniakbelastungen ausgesetzt, so sind es im urbanen Bereich vor allem die Faktoren Feinstaub, Schadgase die den PV-Modulen zusetzen und dadurch die Performance (Leistungseinbußen) der PV-Module beeinflussen können, was im schlimmsten Falle bis hin zum Totalausfall der PV-Module führen kann.

Da viele Modulhersteller **lange Leistungsgarantien** (25+ Jahre) auf die PV-Module geben, ist es von besonderem Interesse, die Wirkung der schädigenden Einflussfaktoren zu erfassen und ihre Wirkung auf die Langzeitperformance abschätzen zu können. Da PV-Module aus einer Vielzahl von Komponenten und Materialien gefertigt sind, die unterschiedliche Funktionen im PV-Modul zu erfüllen haben und die verschieden stark den klimatischen Einflüssen und Umweltfaktoren ausgesetzt sind, ist es besonders wichtig, deren Einfluss auf jede dieser Komponenten und auf jedes Material zu kennen. Dieses Wissen ist auch deshalb von so großer Bedeutung, da die eingesetzten und in Kontakt miteinander stehenden Materialien wechselseitig Einflüsse auf einander ausüben (z. B. durch Permeation bzw. Diffusion, Austausch von Additiven, etc.) und es durch ein primär geschädigtes Material zu einer Folgeschädigung weiterer Materialien im PV-Modul kommen kann, und damit noch größere Auswirkungen auf die Performanceminderung hat als die Primärschädigung (Kettenreaktion).

Die **Schwerpunkte des Projektes** „Langzeitperformance von Photovoltaik-Modulen: Systemoptimierung durch Anwendung innovativer Analysen- & Alterungsverfahren“ liegen in der Untersuchung des Alterungsverhalten von in PV-Modulen eingesetzten Materialien als Einzelkomponenten und im Modulverbund. Dafür werden zahlreiche innovative Charakterisierungsmethoden eingesetzt und die Resultate mit den Ergebnissen aus parallel durchgeführten Messungen mit etablierten Analysenmethoden verglichen. Auf diese Weise kann die Eignung der neuartigen (zum Teil zerstörungsfreien) Methoden für die gegebene Problematik überprüft und evaluiert werden. Der Kernpunkt der Forschungsarbeiten liegt in der Korrelation der so erhaltenen Materialeigenschaften und deren alterungsbedingter Veränderungen mit dem Leistungsverhalten der PV-Module. Zum ersten Mal

können chemische und physikalische Materialveränderungen, die unter dem Einfluss von Umwelt- und Witterungsparametern auf molekularem Niveau ablaufen mit den makroskopischen Eigenschaften der (polymeren) Komponenten in Verbindung gebracht werden. Ihr Einfluss auf die Performance von komplexen, energieerzeugenden Systemen, wie sie PV-Module darstellen, kann hergestellt und so bedeutende Zusammenhänge für den optimierten Einsatz von Materialien/Materialkombinationen in langzeitstabilen PV-Modulen aufgezeigt werden.

Eine **Einordnung des Projektinhalts in das Programm** der 4. Ausschreibung zum Forschungs- und Technologieprogramm Neue Energien 2020 ist im Bereich Photovoltaik unter Punkt 3.6.2 - Netz- und Systemaspekte, Komponenten und unter Punkt 3.6.3 – Materialien zu sehen:

- PV-Module: Optimierung der Modulherstellungsprozesse (Kontaktierung, Lötverfahren, Moduleinkapselung etc.)
- Langzeitverhalten, Wirkungsgrad, Lebensdauer von Modulen und Wechselrichtern
- Entwicklung neuer Mess-Analyse und Charakterisierungsmethoden für die Normung, Prüfung, Technologieentwicklung
- Spezifische Materialentwicklungen (z. B. ..., Kunststofftechnik, ... etc.)
- Senkung der Zell- und Modulkosten durch neue Materialentwicklungen; ...

All diese Punkte werden im Projekt aufgegriffen. Neue Mess- und Prüfverfahren, bzw. Verfahren, die zwar in anderen Bereichen bereits eingesetzt werden, aber im Bereich der Photovoltaik noch nicht etabliert sind, sind wesentlich für die Entwicklung von zuverlässigen und kosteneffizienten Produkten. Die Untersuchungen auf verschiedenen Ebenen – von Materialien und deren Verbunden bis hin zum fertigen PV-Modul, ergänzen einander und werden zu einem besseren Verstehen der komplexen Vorgänge bei der Alterung führen.

Die internationale Kooperation im Task 13 des IEA PVPS Programms verleiht, zusammen mit den anderen Kooperationspartnern das notwendige Gewicht, diese internationalen Normen - auch durch die Erkenntnisse aus diesem Projekt – weiterentwickeln zu können.

Zur Erreichung der Ziele wurden folgende Methoden verwendet: Zuerst wurde ein Überblick über gängige und neuartige Modulmaterialien wie PV Einkapselungsmaterialien, Backsheets Dicht- und Klebstoffe am Markt gewonnen, auf dessen Basis die Auswahl der Materialien für die Mustermodulfertigung getroffen wurde. Testmodul-Serien wurden gefertigt, die sich in der (i) Type des Backsheets oder (ii) des Einkapselungsmaterials und /oder der (iii) Kleb- und Dichtstoffe unterscheiden haben. Die Zellen, Glasabdeckung, Anschlussdosen und Rahmen wurden bei allen Modulen ident gehalten, um den direkten Vergleich des Einflusses der verschiedenen polymeren Komponenten auf die Modulperformance zu erleichtern.

Darüber hinaus wurde die bisherige Forschung und Entwicklung zum Thema (zerstörungsfreien) Charakterisierungsmethoden von PV Modulen und Materialien mit Fokus auf

- chemischen Veränderungen (z.B. Abbaureaktionen des Polymers)
- physikalischen Veränderungen (wie z.B. Permeation, Delaminationen oder Migrationen) und
- elektrischen (z.B. dielektrische Änderungen, Leistungsverluste des Moduls)

recherchiert und geeignete Methoden ausgewählt, die dann im Projektverlauf zum Einsatz kamen.

Ein großer Schwerpunkt wurde der Bestimmung der Permeation von Luftinhaltsstoffen in polymeren Materialien, die in PV Modulen als Rückseitenfolien (Backsheets) eingesetzt werden, gewidmet. Ziel war es, eine umfassende Beschreibung der Abhängigkeit des Permeationsverhalten von Luftinhaltsstoffen (z.B. H_2O , O_2 , Ammoniak) von Morphologie, chemische Struktur und Oberflächenbeschaffenheit der in PV Modulen eingesetzten Polymere zu erstellen. Dazu wurde das Permeationsverhalten der Backsheet-Folien vor und nach beschleunigten Alterungen bestimmt – und die alterungsinduzierten chemischen und physikalischen Veränderungen damit in Korrelation gebracht. Daher wurde der Einfluss von Temperatur-, Schadgas- und/oder Feuchtigkeits- und Strahlenbelastung auf das Permeationsverhalten von Wasserdampf und Sauerstoff ermittelt.

Die dafür benötigten – unter verschiedenen Witterungs- und Umwelteinflüssen – gelagerten Mustermaterialien wurden in beschleunigten Alterungstests hergestellt. Es wurden dafür einzelne und kombinierte Stressfaktoren simuliert:

- konstante Wärme oder Feuchte Belastung -
- kombinierte Wärme + Feuchte-Belastungen (Damp/Heat)
- kombiniert mit Strahlungs-Belastung oder
- kombiniert mit Schadgasbelastung (Messung in der neuen Schadgaskammer)

Neben den Mustermodulen (6 versträngte Zellen laminiert und gerahmt, inklusive Anschlussdose und teilweise mit Rahmen wurden auch die dabei eingesetzten Einzelmaterialien (hauptsächlich Backsheets, da sie den Umwelteinflüssen direkt ausgesetzt sind) den künstlichen Alterungstests unterzogen (TASK 13: Materialalterung – Modulalterung). Die Performance der Module wurde vor und nach den Alterungen mittels Messung von Strom-Spannungskurven und potentielle Zelldegradation durch die Aufnahme von Elektrolumineszenzbildern (EL) bestimmt.

Um eine Lagerung unter definierter Schadgasatmosphäre (z.B. Ammoniak und Feuchte bei erhöhter Temperatur) möglich zu machen, war der Bau einer Schadgaskammer für die beschleunigte Alterung nötig. Es wurden zuerst 3 kleinere Einzelboxen für die Lagerungen in feuchter und trockener Ammoniakatmosphäre bei erhöhten Temperaturen (80°C) für die Einzelmaterialien und laminierte Einzelzellen gebaut. Da die Ergebnisse der isolierten und mit Feuchte kombinierten Schadgasbelastung so vielversprechend waren, wurde in der Folge noch eine weitere, für Minimodule ausgelegte, größere Kammer gebaut. Die Schädigung der Module konnte so mit dem Verlust der elektrischen Performance korreliert werden.

Begleitend zu den Alterungstests erfolgte die Charakterisierung der Einzelmaterialien und Mustermodule vor, während und nach Abschluss der Lagerungen. Durch Vergleich des Verhaltens Materialalterung gegen Modulalterung konnten Rückschlüsse auf Materialinkompatibilitäten bzw. die Umlegbarkeit von Ergebnissen aus Einzelmaterialalterungen auf das Alterungsverhalten der Materialien im Modul erhalten werden.

Die große Herausforderung war die erfolgreiche Implementierung von innovativen Analysemethoden zur

- chemischen (z.B. Darstellung des Polymerabbaus)
- physikalischen (z.B. Detektion von Delaminationen, Untersuchung der Steifigkeit)
- elektrischen (z.B. Isolationsvermögen), und
- optischen (z.B. Änderung der spektralen Eigenschaften)

Charakterisierung von Materialien und Modulen im Verlauf der beschleunigten Alterung. Der direkte Vergleich der Ergebnisse mit den aus etablierten Messtechniken erhaltenen Resultaten hat gezeigt, dass manche - v.a. physikalische Charakteristika von Materialverbunden (= PV-Modul) - durch zerstörungsfreie, innovative Messmethoden gut erfassbar waren, andere – v.a. alterungsinduzierte, chemische Veränderungen - jedoch durch gängige Verfahren wie thermische Analyse oder IR-Spektroskopie besser beschreibbar waren.

Parallel zu den Material- und Modulcharakterisierungen wurde der Leistungsverlust der Module im Verlauf des Alterungsprozesses bestimmt und mit den analytischen Untersuchungsergebnissen korreliert. Die Korrelation zwischen Materialalterung, Modulalterung und Modulperformance erlaubt das Aufstellen von Modellen zur Erklärung der Schädigungsmechanismen.

Um die Übertragbarkeit der erhaltenen Zusammenhänge auf reale Schadensfälle zu prüfen, wurde abschließend eine Schadensanalyse an langjährig natürlich gealterten PV-Modulen (reale Schadensfälle aus der Industrie und Forschungseinrichtungen) durchgeführt. 14 Module unterschiedlichen Aufbaus, Größe, Aufstellungsort und Lebensdauer wurden gesammelt und ihre Rest-Performance, vermessen. Die Aktivität der Zellen wurde mittels zerstörungsfreier Methoden (Elektroluminiszenz- und Thermographie-Messungen) charakterisiert. Durch den Vergleich der Fehlerbilder real/künstlich gealterte Module sollte sich überprüfen lassen, ob die durch unterschiedliche Alterungsbedingungen induzierten Schäden/Leistungsverluste auch der gleichen Mechanismen zu Grunde liegen.

3 Inhaltliche Darstellung

Ziel des Projektes war es, des Auftretens von chemischen und physikalischen Alterungsvorgängen von Materialien/Materialkombinationen mit dem Leistungsverhalten der Module zu korrelieren. Dazu wurde das Alterungsverhalten von im PV-Modulbau eingesetzter polymerer Materialien mit innovativen Analysenmethoden untersucht. Der direkte Vergleich von Materialalterung mit unter gleichen Bedingungen durchgeführter Modulalterung (im Sinne der Vorgaben des IEA PV TASK 13) erlaubt Rückschlüsse auf potentiell vorhandene Materialinkompatibilitäten. Ein weiteres Ziel war die (beschleunigte) Alterung unter Schadgasatmosphären wie sie in z.B. in ländlichen (Ammoniak) und industriellen Ballungsräumen auftreten; der Einfluss dieser Gase auf die Materialien und die Modulperformance wurde evaluiert.

Materialien/Mustermodule: Nach umfassender Literatur- und Marktrecherche wurden je 6 Vertreter aus dem Bereich polymere Einbettungsmaterialien und Rückseitenabdeckungen (Backsheets) ausgewählt. Dabei handelt es sich neben den aktuell am häufigsten im Einsatz befindlichen Produkten wie Ethylenvinylacetat (EVA) und PVB für die Zelleinbettung und Tedlar- und Polyamid-Backsheets für die rückseitige Abdeckung (alle Materialien, siehe Tabelle 1) auch um eine Auswahl von neuartigen Alternativmaterialien, die in den letzten Jahren am Markt erschienen sind wie z.B. Ionomere, thermoplastische Silikone und Polyolefine als Einkapselungsmaterialien. Auch im Bereich Kleb- und Dichtstoffe zur Befestigung der Anschlussdosen und der Rahmenfixierung wurden zahlreiche Systeme (neben den von den Marktführern verwendeten Silikonem auch Alternativmaterialien aus Polyurethan und MS-Polymeren) ausgewählt und getestet. Diese Materialien wurden intensiv charakterisiert und als

Einzelkomponenten sowie im Materialverbund (also im PV-Modul verbaut) gealtert und im Folgenden die alterungsinduzierten Veränderungen im Material erfasst.

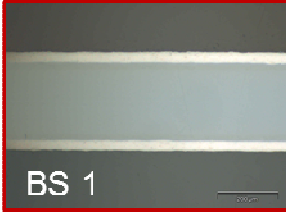
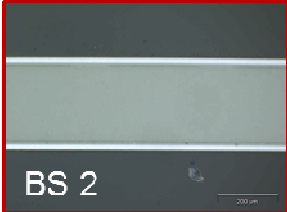
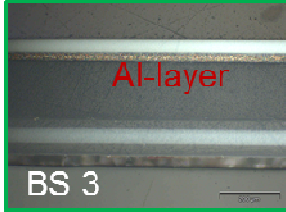
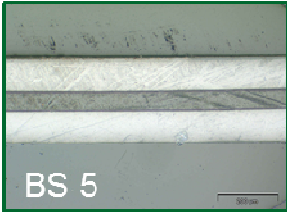
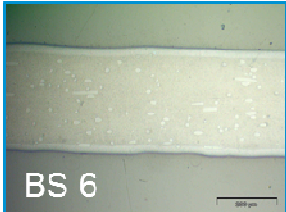
Backsheets		
PVF / PET / PVF = BS 1		
PVDF / PET / PVDF = BS 2		
PET / Alu / PET / EVA = BS 3		
PET / PET / EVA = BS 4		
PE / PET / PE-EVA = BS 5		
PA / PA / PA = BS 6		
glass 2mm = BS 7		

Tabelle 1: Zusammenstellung der Backsheet Materialien und lichtmikroskopische Abbildungen der Querschnitte (Aufbau)

Permeation: an den originalen und gealterten polymeren Backsheets wurden die WVTR (wasserdampfpermeationsrate) und OTR (Oxygenpermeationsrate) bestimmt. die Ergebnisse sind in den Abbildungen 1 und 2 zusammengefasst.

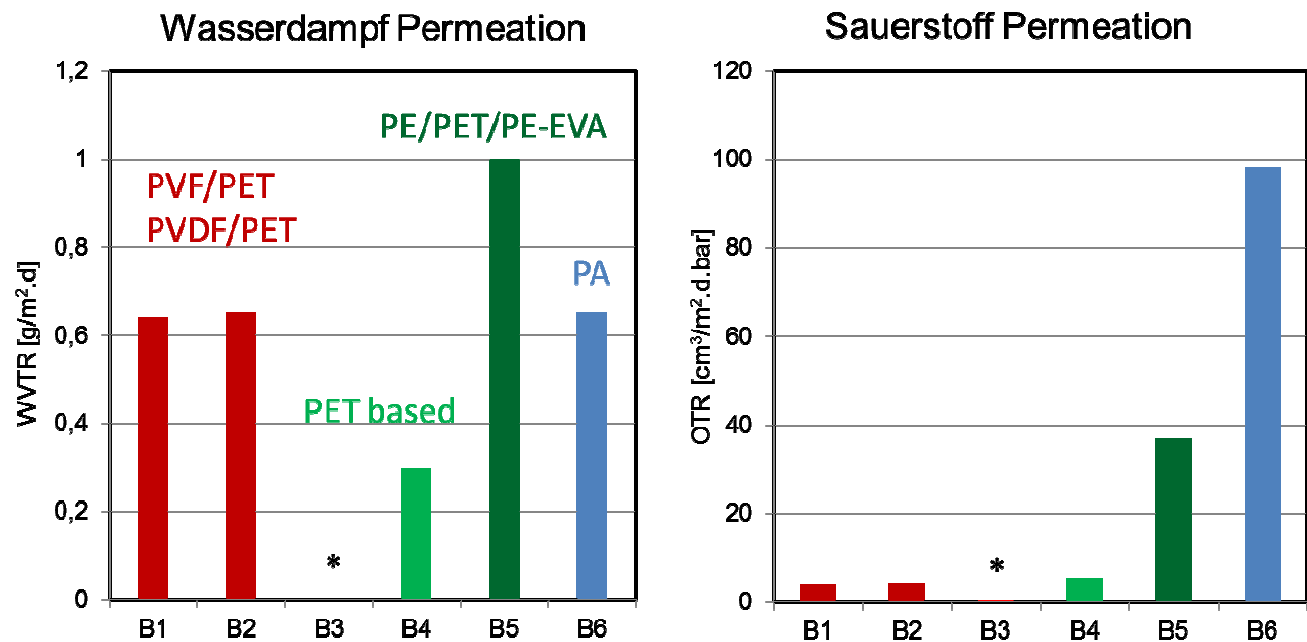


Abbildung 1: Wasserdampf- und Sauerstofftransmissionsraten der ungealterten Backsheets.

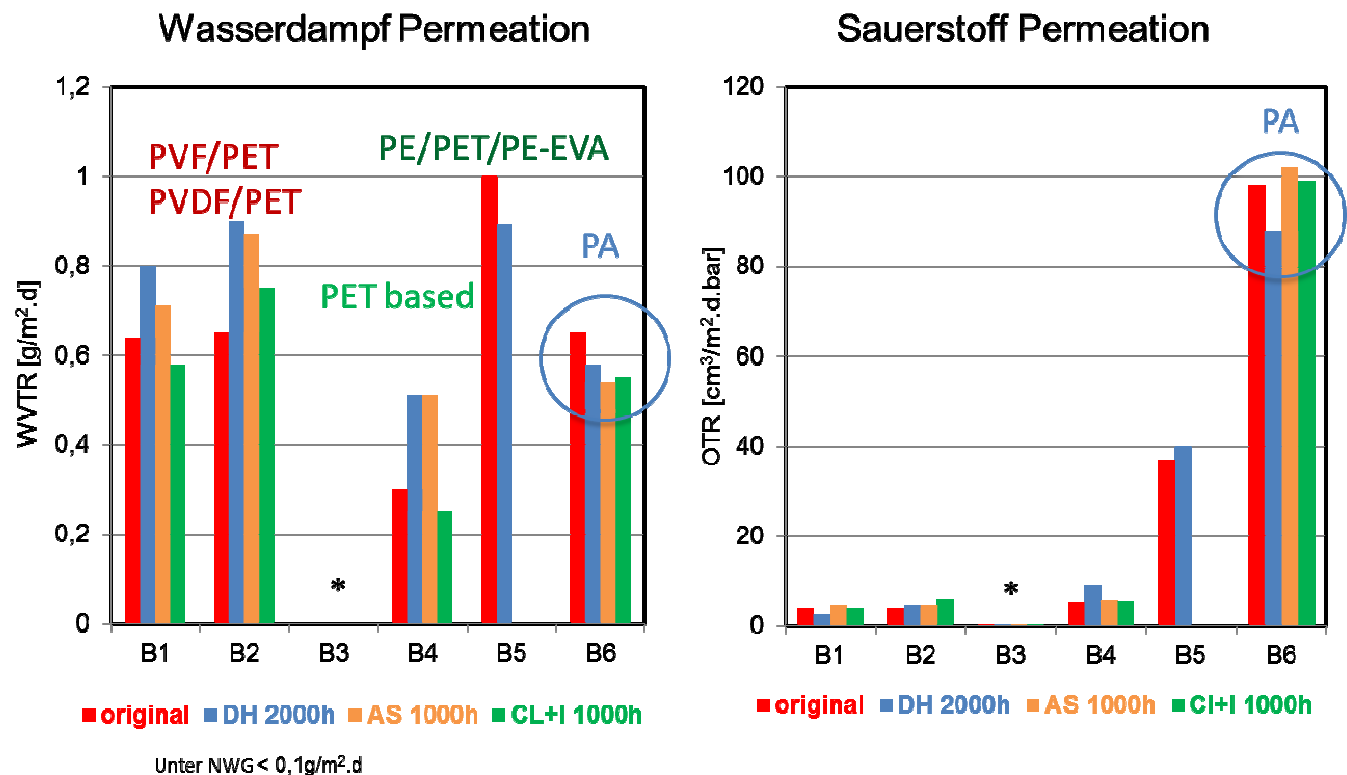


Abbildung 2: Wasserdampf- und Sauerstofftransmissionsraten der gealterten Backsheets. (blau=nach 2000h Damp Heat (DH) Test bei 85°C und 85% RH; orange=nach 1000h Ammoniaklagerung (AS) bei 80°C und gesättigter Wasserdampfatmosfera sowie grün=nach 1000h Klimalagerung mit Bestrahlung (CL+I))

Es zeigte sich, dass die Backsheets mit einer PET Mittelschicht und Außenschichten aus Fluorpolymer (B1 und B2) ein sehr ähnliches Permeationsverhalten aufwiesen. Nach Damp Heat und Ammoniaklagerung (AS) Test erhöhte sich die WVTR. Ein ähnliches Verhalten wurde auch beim PET-basierten Backsheet B4 gemessen. Backsheet B5, das aus einer vergleichsweise dünnen PET Schicht und Außenschichten aus PE-EVA besteht, zeigte das gegenteilige Verhalten. Auch für das auf Polyamid basierende Backsheet B6 wurde ein leichter Abfall der WVTR gemessen.

Die Ergebnisse der OTR zeigten einen starken Materialeinfluss. So ergaben sich für das Polyamidbacksheet B6 im Vergleich zu den Backsheets mit PET Mittellage (B1, B2, B3, B4, B5) wesentlich höhere Werte. Bei den Backsheets mit PET Mittellage (B1, B2, B3, B4, B5) konnten zwar alterungsbedingte Änderung in der Sauerstofftransmissionsrate gemessen werden, jedoch war kein eindeutiger und erklärbarer Trend erkennbar.

Generell kann die Änderung der WVTR anhand von Änderungen in der Kristallstruktur bzw. der kristallinen Mikrostruktur (physikalische Alterung) oder der Bildung von Rissen und erhöhtem Leerstellenvolumen aufgrund von chemischer Alterung erklärt werden. Ergebnisse aus der Thermischen Analyse zeigten im Fall der untersuchten Backsheets mit PET Mittellage eine signifikante,

alterungsbedingte Erhöhung der Enthalpie des PET Schmelzpeaks nach Lagerung unter feuchten Bedingungen bei hoher Temperatur (DH und AS), was auf eine Änderung der kristallinen Mikrostruktur aufgrund der erhöhten Temperaturen unter Feuchteinfluss hinweist. Im Falle der untersuchten Backsheets mit PET Mittelschicht wurde, ausgelöst durch die Lagerung unter DH und AS Bedingungen, auch eine Hydrolyse der Polymerketten mit daraus resultierender Kettenspaltung und Molekulargewichtsabbau ausgelöst. Diese hydrolytische Degradation des Polymers hat auch eine Veränderung der kristallinen Mikrostruktur zur Folge, die sich auch auf die mechanischen Eigenschaften (Versprödung; Abnahme der Reißdehnungswerte) auswirkt.

Im Fall des aus Polyamid bestehenden Backsheets B6 kann die leichte Reduktion von OTR und WVTR auf Nach- bzw. Umkristallisationsprozesse zurückgeführt werden, welche durch die erhöhte Temperatur während des Alterungstests ausgelöst werden. Mittels DSC und IR Spektroskopie konnte eine Nachkristallisation von α -Kristallen nachgewiesen werden. Diese Nachkristallisation führte zwar zu einer deutlichen Veränderung der mechanischen Eigenschaften der Folie, aber dennoch zeigte das Material im Gegensatz zu den Folien mit PET Mittellage keine Versprödung. Chemische Degradation konnte bei den Polyamid-Proben nicht nachgewiesen werden.

Künstliche Alterung von Materialien und Modulmodulen in unterschiedlichen Atmosphären

Es wurden zahlreiche beschleunigte Alterungen von Materialien und Modulmodulen in unterschiedlichen Atmosphären durchgeführt, die Parameter sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Bei den Einzelmaterialien wurden vorwiegend Backsheets gealtert, da die Einkapselungsmaterialien in den Modulen ja nicht direkt den Umwelteinflüssen ausgesetzt sind (sondern immer durch Glasscheiben oder Backsheets geschützt sind) und außerdem im Zuge des Modulbaus einem Laminierungsschritt unterworfen werden, bei dem z.B. in den EVA-Materialien noch eine stabilisierende Vernetzungsreaktion abläuft. Einzelalterung der Einkapselungsmaterialien hat völlig andere Ergebnisse gebracht, als die Alterung von verbauten Einkapselungspolymeren. Die Klebstoffe wurden auch hauptsächlich im Modulverbund gealtert oder als Kleberauren auf Backsheets aufgetragen, um die alterungsinduzierten Änderungen des Haftungsverhaltens detektieren zu können. Wie aus Tabelle 2 ersichtlich, konnte ein direkter Vergleich Material/Modulalterung bei 3 Lagerungen durchgeführt werden (rot markiert); bei diesen Messserien konnte auch der Leistungsverlust der Module den chemischen und physikalischen Änderungen der Materialien gegenübergestellt werden.

Lagerung	Temp.	Feuchte	Bestrahlung	Zeit	Einzel-Materialien	Muster-module
Damp Heat EN ISO 61215	85°C	85%rel.F.		1000h 2000h	ja	ja
Wärmelagerung	85°			1000h 2000h	ja	
Feuchtelagerung		85%rel.F.		1000h 2000h	ja	
Klimalagerung mit Bestrahlung	50°C	80%rel.F.	300-2800nm 1000W/m ²	1000h 2000h	ja	ja
Ammoniaklagerung Feucht	80°	gesättigt		1000h	ja	ja + laminierte Z.
Ammoniaklagerung trocken	80°			1000h	ja	laminierte Zellen
UV-Bewitterung EN ISO 4892-3			340nm 0,72 [W/m ²]	500h 1000h	ja	
Xe-Bewitterung EN ISO 4892-2			300-2500nm 1100 [W/m ²]	500h 1000h	ja	

Tabelle 2: Parameter bei den beschleunigten Alterungen

Der Einfluss von Schadgasen wie z.B. Ammoniak auf PV-Materialien und Performance der Module war ein ganz zentraler Punkt des gegenständlichen Projektes. Der Plan des Baues einer Schadgaskammer für die beschleunigte Alterung von Modulmodulen unter definierten Schadgasumgebungen wurde zuerst in der Form umgesetzt, dass kleinere Einzelboxen für die parallele Lagerungen in feuchter und trockener Ammoniakatmosphäre bei erhöhten Temperaturen (80°C) für die Einzelmaterialien und laminierte Einzelzellen möglich waren. Da der Einfluss des Ammoniaks v.a. in Kombination mit Feuchte auf die Materialien sehr ausgeprägt war (chemische und physikalische Veränderungen), wurde in der Folge noch eine weitere, für Minimodule ausgelegte, größere Kammer gebaut (siehe Abbildung 3), damit Schädigung der Module mit dem Verlust der elektrischen Performance korreliert werden konnte. Obwohl die Module nach Lagerung optisch verändert ausgesehen haben (Eintrübung des Einkapselungsmaterials bei allen gasdurchlässigen Backsheets), waren nach einer Lagerzeit von 1000h nur geringe Leistungseinbußen von max. 1,7 rel.% detektierbar, die Module mit dichten Backsheets

(PET mit Alu/B3) und mit Flourpolymeren geschützte PET-Backsheets zeigten den geringsten Leistungsverlust (siehe Abbildung 4).

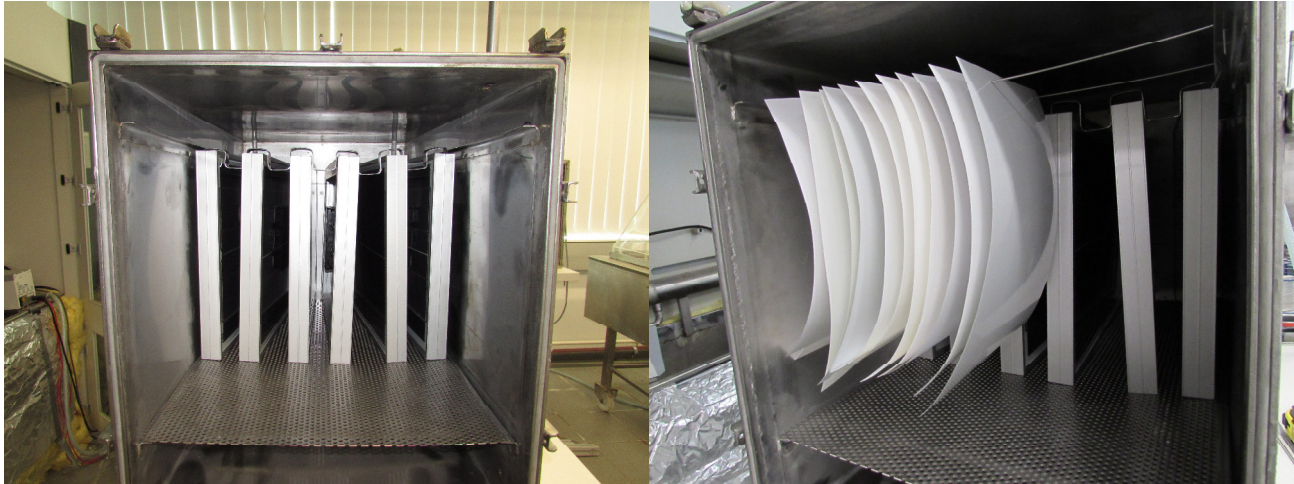


Abbildung 1: große Schadgaskammer für parallele Lagerung von 6 Mini-modulen und Backsheet-Folien

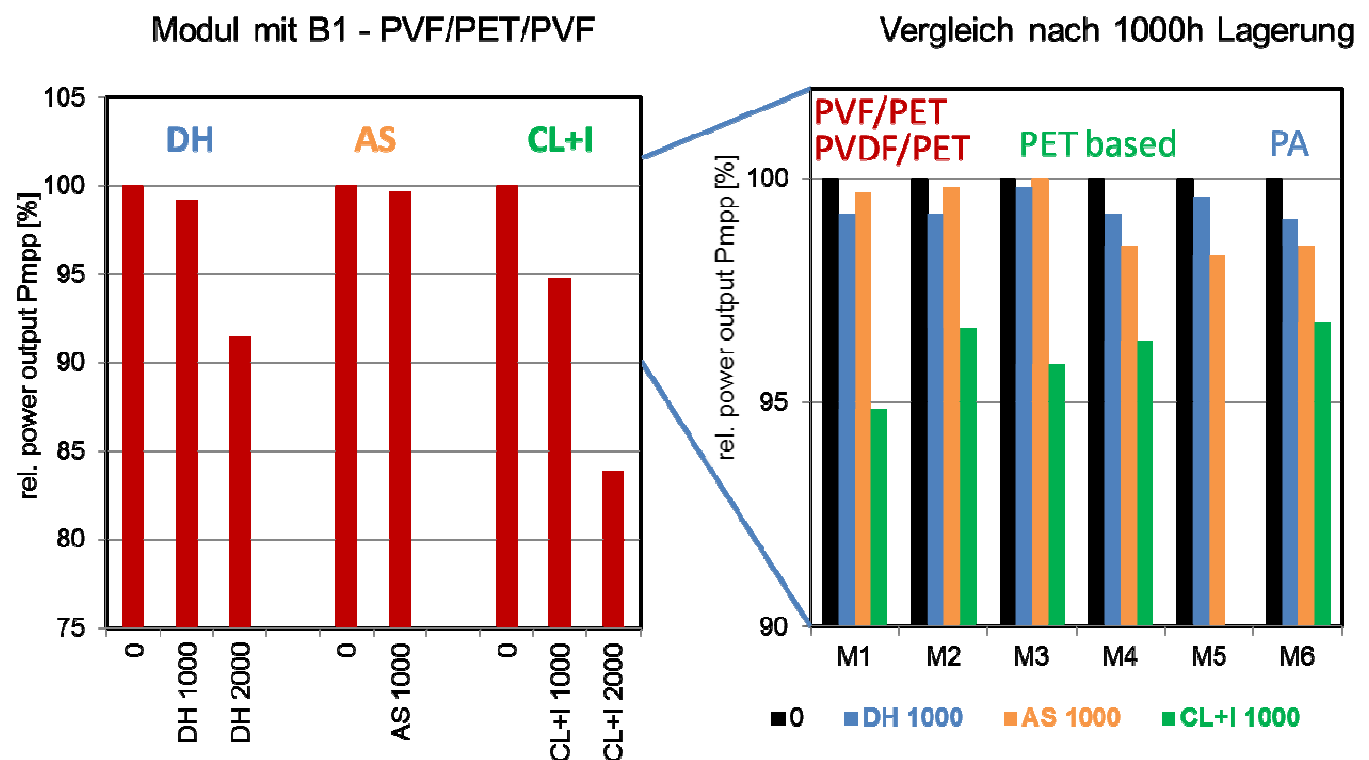


Abbildung 4: rechts: relativer Leistungsverlust der Testmodule mit Backsheet M1; links: relativer Leistungsverlust der Testmodule mit unterschiedlichen Backsheets B1-B7 nach 1000h Dh-Lagerung (blau), Ammoniaklagerung (orange) und Klimalagerung mit Bestrahlung (grün)

Die Durchführung von Lagerungen mit nur einem Stressfaktor: also nur Temperatur oder nur Feuchteinfluss oder reine Bewitterung (Bestrahlung) hat gezeigt, dass die polymeren Materialien, die

im Moment im PV-Modulbau eingesetzten Materialien gut gegen Strahleneinfluss und/oder Oxidation bzw. Hydrolyse stabilisiert sind (z.B. durch Zusatz von Additiven). Kombiniertes Einfließen wie z.B. Dampf-Heat Lagerungen (erhöhte Temperatur, Feuchtigkeit), Klimalagerung mit Bestrahlung (erhöhte Temperatur, Feuchtigkeit, Bestrahlung), feuchte Schadgasatmosphäre (Ammoniak, Feuchtigkeit, Temperatur) hingegen führt zu einer deutlich stärkeren Beeinflussung der Materialien, als es durch additive Effekte der Einzeleinflussgrößen zu erwarten wäre.

Implementierung von innovativen Analysemethoden zur Beschreibung des Alterungsverhaltens von PV Modulen und Materialien; Korrelation des Auftretens von Schädigungen mit dem Leistungsverhalten der Module:

Begleitend zu den beschleunigten Alterungen erfolgte eine Charakterisierung der Einzelmaterialien und Mustermodule vor, während und nach Abschluss der Alterungstests. Es wurden einerseits in der Polymercharakterisierung etablierte Methoden aus anderen Branchenbereichen als auch innovative, zerstörungsfreie Charakterisierungsmethoden zur Detektion und Visualisierung von alterungsinduzierten Veränderungen in Modulen und Materialaufbauten eingesetzt.

Zur chemischen Charakterisierung (z.B. Darstellung des Polymerabbaus, Hydrolyse oder Oxidation) haben sich besonders **spektroskopische Methoden** als aussagekräftige Tools herausgestellt.

In Abbildung 5 ist beispielsweise der Schichtaufbau der polymeren Backsheets über die Aufnahme von Raman-Linescans visualisiert. Die Dicke der Klebstoffschicht liegt in diesen Mehrschichtlaminaten nur bei ~5 µm, aus den Raman-Linescans oder Raman bzw. FTIR-Images kann sie bestimmt werden und v.a. auch ihre Veränderungen durch unterschiedliche Umwelteinflüsse visualisiert werden. In Abbildung 6 sind die ATR-FTIR-Images der Kleberschichten in Backsheets in Abhängigkeit der Alterungsbedingungen dargestellt. Starke Veränderungen wurden genau bei den Proben visualisiert, bei denen ein Verlust der Lagenhaftung im Backsheet und daraus resultierend eine starke Degradation des PET-Kernmaterials (-> Versprödung) beobachtet wurde: nach Dampf-Heat Lagerung (S1_DH_2000) oder Ammoniaklagerung feucht (S1_DA).

Weitere Beispiele für den erfolgreichen Einsatz von **spektroskopischen Methoden** sind:

- Detektion der chemischen Veränderungen an polymeren PET-Oberflächen (wie sie z.B. bei den Backsheets B3 und B4 vorliegen) nach Bewitterung mit Hilfe von oberflächensensitiver ATR-FTIR-Spektroskopie
- Detektion von Veränderungen im Kristallisationsverhalten von PET-Kernschichten durch Wasserdampf und/oder Temperatureinfluss
- Bestimmung des Vernetzungsgrades des im Modul verbauten EVA-Einkapselungen
- zerstörungsfreie Messung der fortschreitenden Polymerdegradation (EVA) im Modul – siehe Abbildung 7.

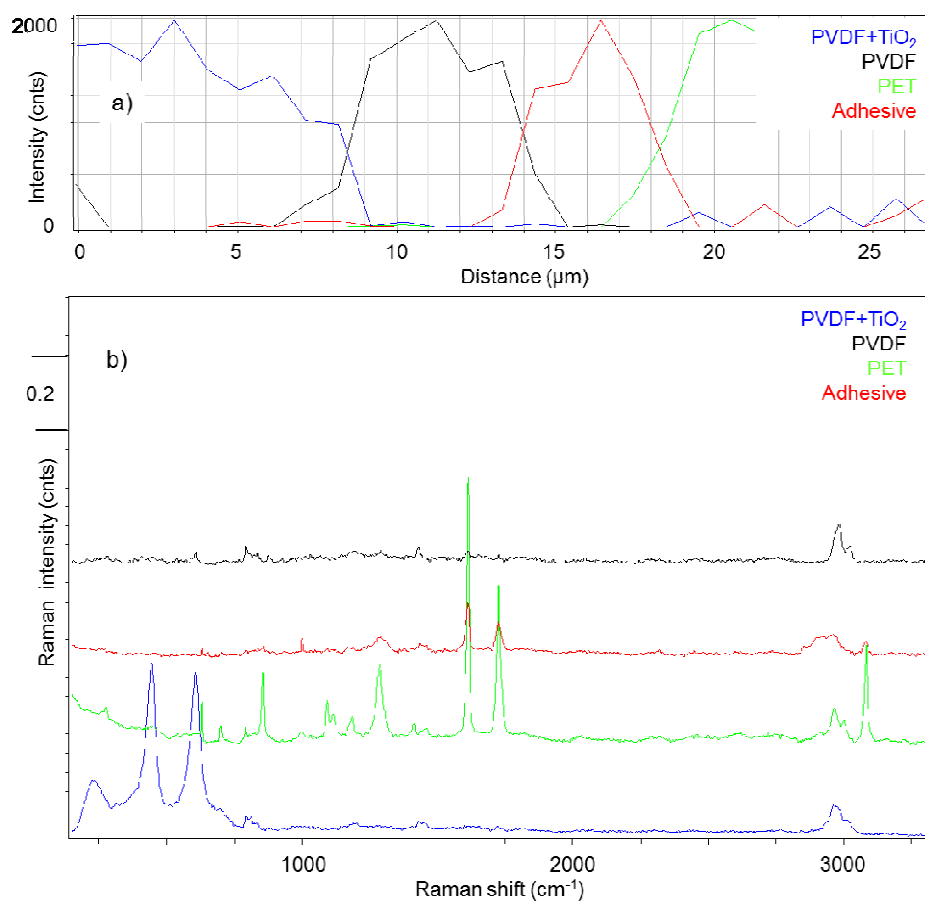


Abbildung 5: Materialaufbau von Backsheet B2 bestimmt über Raman linescans (a) und Spektren (b)

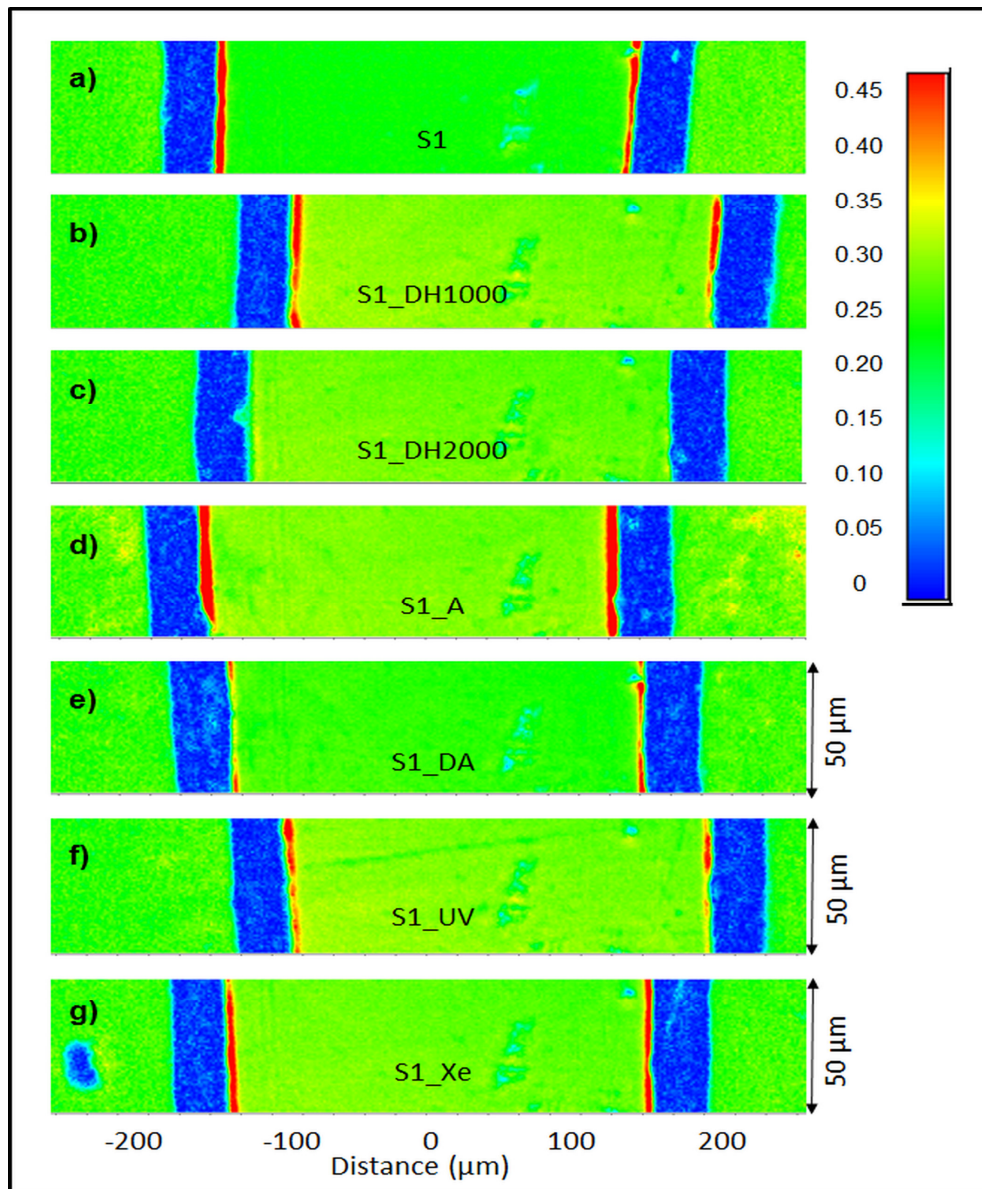


Abbildung 6: FTIR-ATR-Images der Kleberschichten von gealterten Backsheets; in rot ist die Kleberschicht zu sehen;

Des Weiteren hat sich die **Thermische Analyse**, v.a. DSC (Differential Scanning Calorimetry) als wertvolle Methode zur Bestimmung der physikalischen und chemischen Polymerdegradation bewährt. In Abbildung 8 sind die Ergebnisse der vergleichenden Charakterisierung von Komponentenlagerung und Modullagerung für 2 Backsheet-Typen dargestellt. Es ist klar ersichtlich, dass der Laminationsprozess keinen Einfluss auf das thermische Verhalten der Backsheetmaterialien hat und dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen und im Modul gealterten Rückseitenfolien gibt, d.h. Interaktionen zwischen den Materialien in PV-Modulen sind vernachlässigbar; einzige Ausnahme: Rückseitenfolien mit Barrierschichten – hier ist die Alterung bei Modullagerungen verzögert bzw. reduziert.

Raman Spectren von EVA / Modulen nach 2000h DH

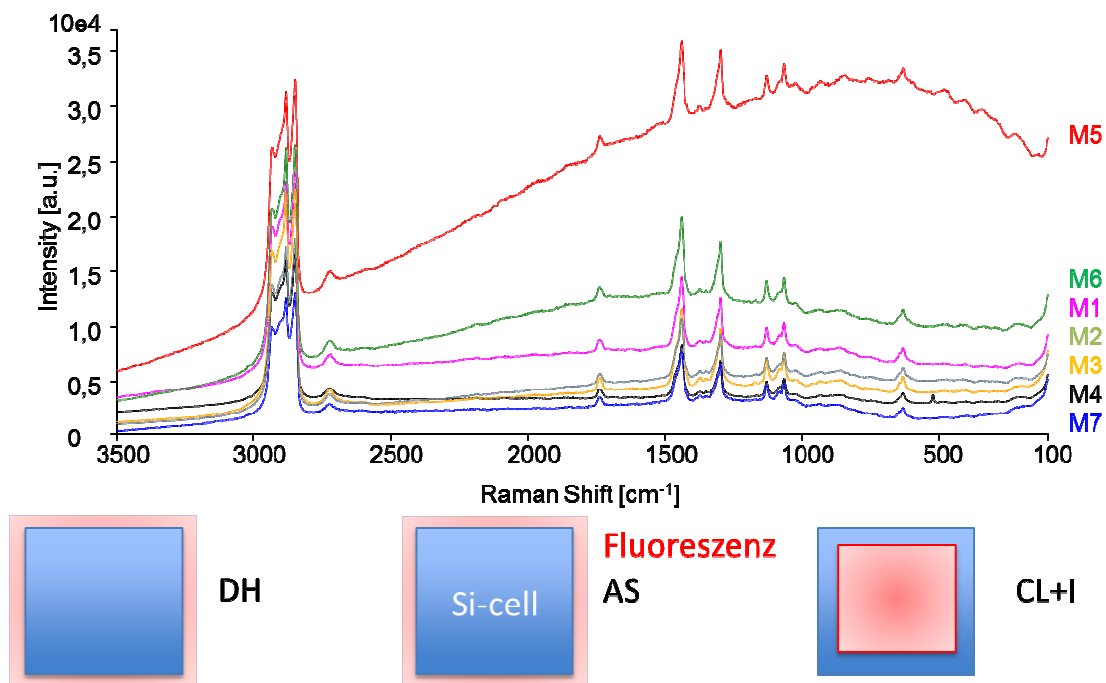


Abbildung 7: Raman Spektren der polymeren Einkapselung EVA in Modulen mit unterschiedlichen Backsheets B1-B7

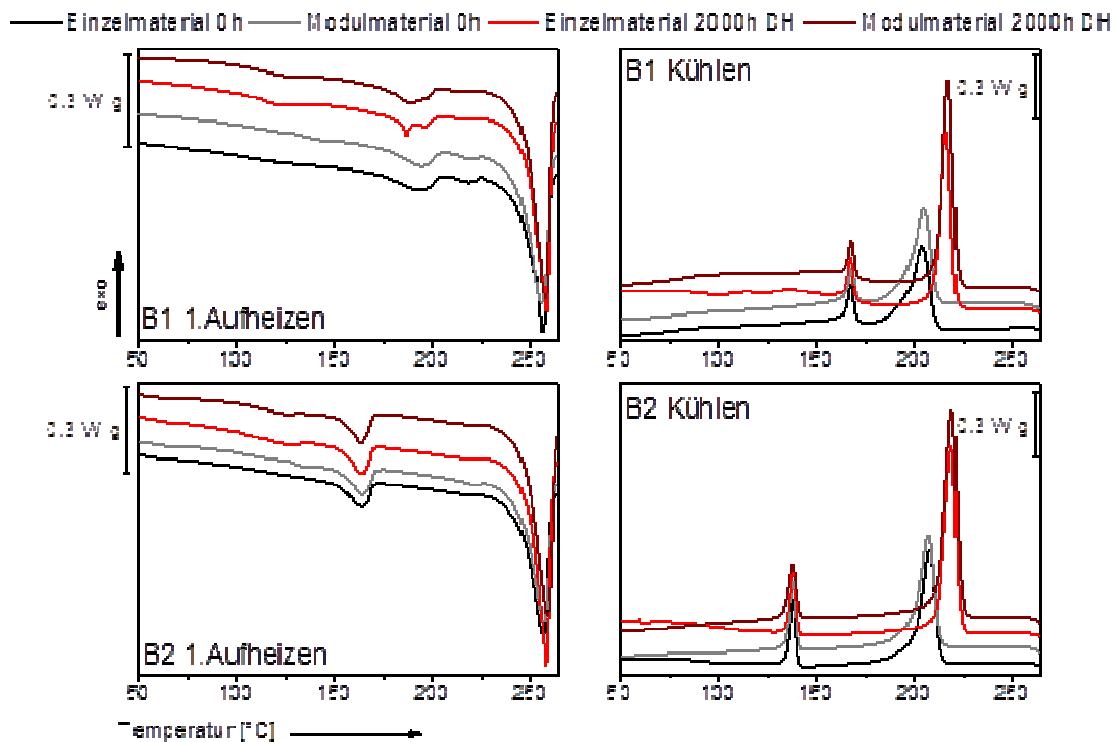


Abbildung 8: DSC-Kurven von Backsheet B1 und B2 aus Einzelkomponentenlagerung und Modullagerung

Der direkte Vergleich der Ergebnisse aus etablierten Messtechniken hat gezeigt, dass manche - v.a. physikalische Charakteristika von Materialverbunden (=PV-Modul) - durch zerstörungsfreie, innovative Messmethoden gut erfassbar waren, andere – v.a. alterungsinduzierte, chemische Veränderungen - jedoch durch gängige Verfahren wie thermische Analyse oder IR-Spektroskopie besser beschreibbar waren.

Zu den innovativen, zerstörungsfreien Analysenmethoden zur physikalischen Charakterisierung zählen die Pulsphasen-Thermographie, die Ultraschallmikroskopie und die Vibrationsanalyse:

Thermografie: ist eine berührungslose und zerstörungsfreie Modulcharakterisierungsmethode, die nicht nur im Feld bei laufendem Betrieb (passive Thermographie) sondern durch aktive Anregung im Labor ohne Stromfluss (Impuls Thermographie) Informationen über Fehlstellung und Defekte im Modulaufbau, die visuell nicht erfassbar sind, liefern kann. Die gelagerten Module wurden immer im Ausgangszustand und nach Lagerung untersucht, um so alterungsinduzierte Änderungen erfassen zu können. Da Materialien wie Si-Zellen für die Wärmestrahlung nicht transparent sind, wurden spezielle Probekörper gefertigt, um die Güte der Anschlußdosenverklebung überprüfen zu können: die Anschlussdosen wurde direkt auf das Backsheet geklebt und anschließend gealtert. In Abbildung 9 kann in den Thermographien die alterungsinduzierte Bildung von Blasen im Klebstoff gezeigt werden.

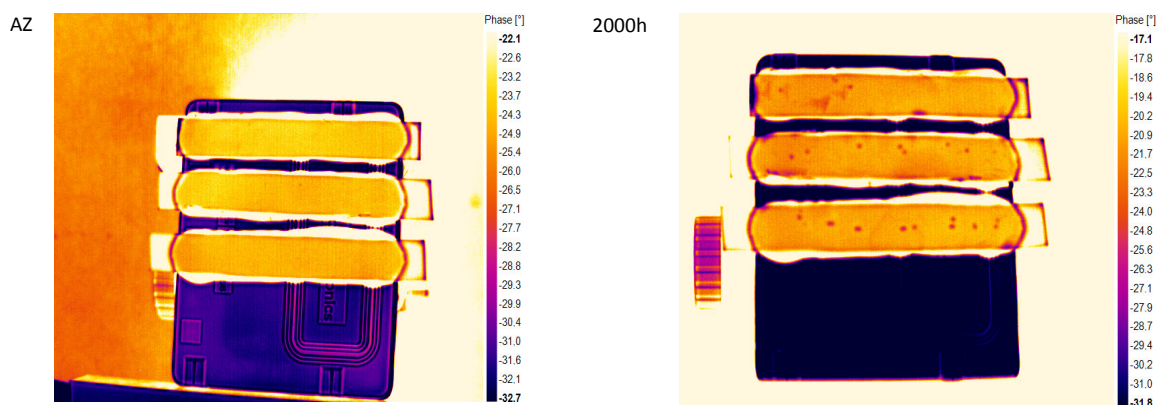


Abbildung 9: Impuls-Thermografie: Prüflinge Klebstoff/Backsheet Ausgangszustand (AZ) und nach Damp Heat Lagerung (2000h)

Ultraschallmikroskopie (USM) eignet sich sehr gut für die zerstörungsfreie Aufdeckung von Delaminationen und Fehlstellen in einem Modul, wenn man von der Rückseite, sprich von der Backsheet-Seite analysiert. Die Module wurden im Ausgangszustand und nach der Lagerung untersucht, Blasen oder andere Fehlstellen (z.B. Ablösungen von Lötbandern, Risse im Wafer) konnten bei einzelnen Modulen detektiert werden. Ein Beispiel ist in Abbildung 10 wiedergegeben.

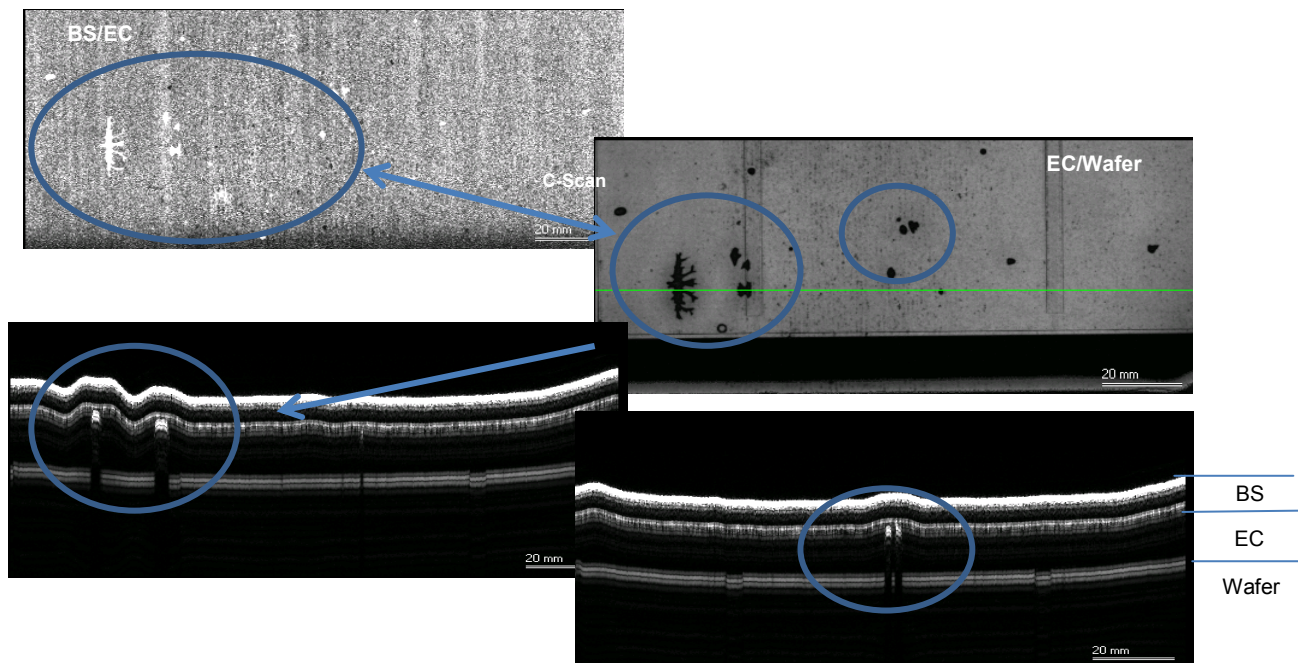


Abbildung 10: Ultraschallmikroskopische Aufnahmen; gezeigt sind Delaminationen zwischen Si-Zellenunterseite und Einkapselungsmaterial

Eine weitere neuartige Methode zur Charakterisierung von PV Modulen stellt **Laser Scanning Vibrometry** dar. Hier werden PV Module in einem Frequenzbereich von 1 bis 1000 Hz exzentrisch mit einer breitbandigen Geräuschfrequenz angeregt. Die Anregung führt zu Änderungen im Interferenz Muster der PV Module, welche eine Messung von Geschwindigkeiten und Deformation auf einer Nanometerskala erlauben (siehe Abbildung 11). Untersucht wurde ein Set von fünf identischen PV Modulen mit 6 Zellen, wo nur das Einbettungsmaterial verändert wurde. Die Module wurden vor und nach 1000 bzw. 2000h beschleunigter Bewitterung (Klimalagerung + Bestrahlung) untersucht. Ziel der Untersuchungen war die Erfassung der Veränderungen der thermo-mechanischen Eigenschaften der Einbettmaterialien durch Materialalterung. Bei jedem Testmodul wurden unabhängig von der verwendeten Einbettungsfolie dieselben Schwingungsmoden beobachtet, die sich aber in ihrer Frequenzlage unterschieden. Ein linearer Zusammenhang zwischen E-Modul der Einbettfolie und Frequenzlage des Schwingungsmodus wurde gefunden. Höhere E-Modulwerte führten zu einer Erhöhung der Frequenz des gleichen Schwingungsmodus, vermutlich weil mehr Energie für die Deformation aufgewendet werden muss (siehe Abbildung 12).

Nach Klimalagerung mit Bestrahlung wurde mit fortschreitender Alterung eine Verringerung der Frequenzen gemessen. Dies korrespondiert mit einer alterungsbedingten Verringerung der E-Modulwerte, welche mittels Zugversuch bestätigt wurde. Darüber hinaus zeigte sich, dass Fehlermoden wie Delamination aufgrund einer Veränderung der Kurvenform der Frequenz-Antwort-Funktion nachgewiesen werden können.

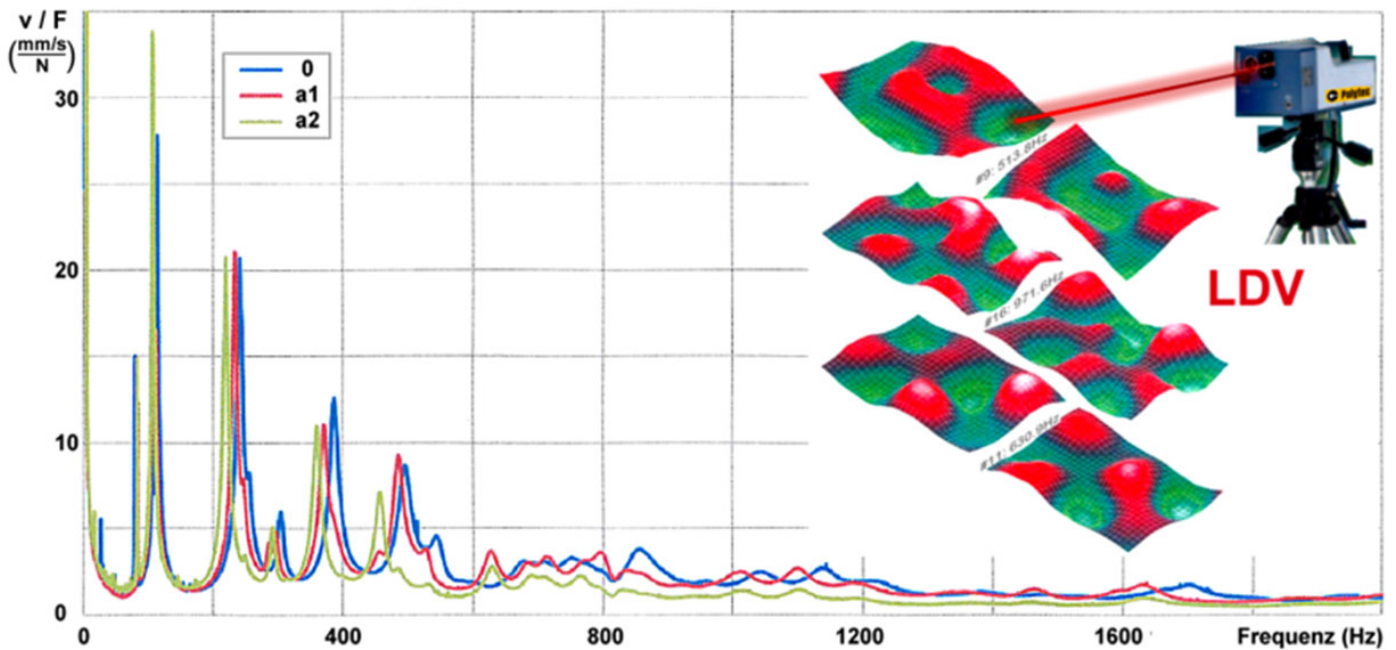


Abbildung 11: Schwingungsspektren eines Moduls vor (blau, 0), nach 1000h (rot, a1) und 2000h (grün, a2) Klimalagerung mit Bestrahlung

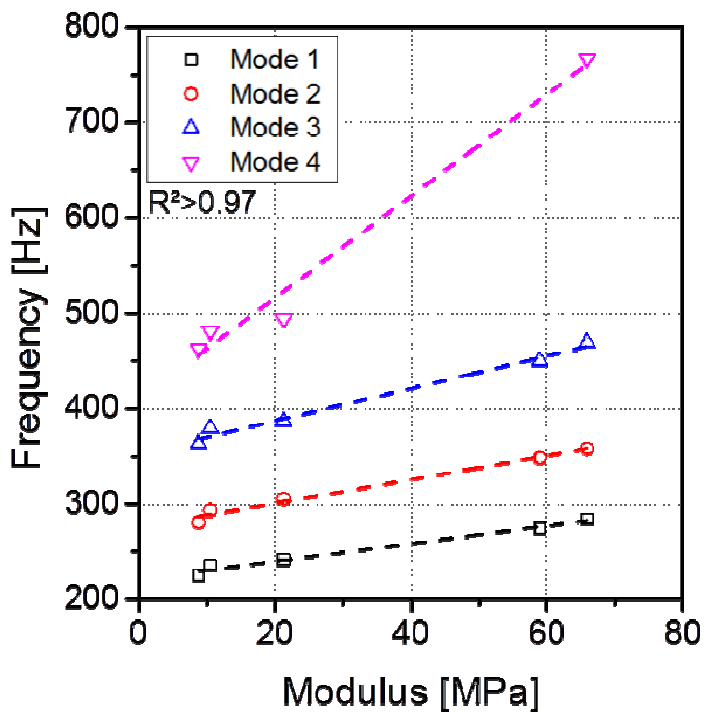


Abbildung 12: Zusammenhang zwischen den Frequenzen von 4 verschiedenen Schwingungen nach Laseranregung der Module und dem gemessenen E-Modul der Einkapselungsmaterialien

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

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

Korrelation Labortests/Feldtests: Schädigungen aus Labortests werden mit Schadensmustern an PV-Modulen aus langjährigem Feldeinsatz verglichen

Von verschiedenen Außenbewitterungsstellen und Freianlagen wurden 14 real gealterte Module mit unterschiedlicher Lebensdauer und Aufstellungsort (Deutschland, S-Schweiz, Wüste Negev, Tirol/Gebirge) gesammelt und die Schadensbilder nach visueller Beurteilung erfasst. Obwohl die Module z.T. schon über 20 Jahre im Einsatz waren, haben die Elektrolumineszenzbilder (3 Beispiele siehe Abbildung 13) zum Großteil intakte Module mit wenigen inaktiven Zellen/Zellbereichen bzw., gebrochenen Zellen gezeigt. Da der Großteil der real gealterten Module Glas/Glas-Modelle ohne polymere Backsheets waren, wurden hauptsächlich zerstörungsfreie Prüfungen am gesamten Modul durchgeführt. Auch die Thermografieaufnahmen zeigen weitgehend aktive Zellen mit nur wenigen „überhitzten“ oder kalten (=inaktiven) Bereichen. Problematisch waren dabei die auftretenden Reflektionen an den Glasoberflächen; Messungen durch polymere Backsheets – so haben die Arbeiten an den Testmodulen deutlich gezeigt – liefern deutlich besser aufgelöste Bilder. Vor allem die zum Teil sehr dicken Glasabdeckungen (4mm, manchmal sogar 6mm) verfälschen die Messergebnisse erheblich. Ein weiteres Problem bei der Charakterisierung der Realmodule hat sich auch die zum Teil sehr ausgedehnten Abmessungen ergeben. Module mit Abmessungen von z.T. 2m x 2m können in der Ultraschallmikroskopie nicht mehr untersucht werden, da der Wasserbadbehälter für die Proben zu klein ist. Auch können Raman-Spektren der Einkapselungsmaterialien so großer und schwerer Module nur mehr unter größtem Aufwand über eine externe Sonde aufgenommen werden. Das Handling wird sehr kompliziert, wenn keine portablen Spektrometer zu Verfügung stehen. Die 6-Zellen Testmodule mit dünnem 2 mm Glasabdeckungen hingegen konnten ohne Probleme im Labor vermessen werden. Die gemessenen Leistungsverluste gegenüber den Ausgangswerten (Schild) waren zum Teil jedoch erheblich (bis -20%, in Einzelfällen noch größer). Die visuell erfassbaren Schadensbilder waren hauptsächlich Verfärbungen auf Zelloberflächen (=Zelldegradation) oder in der Einkapselung (v.a. im Randbereich oder entlang der Leitungsbänder) oder Delaminationen verschiedenster Art. Einige solche Fehlerbilder sind in Abbildung 14 zu sehen. Viele der Schädigungen konnten wir durch beschleunigte Alterungen leider nicht nachstellen.

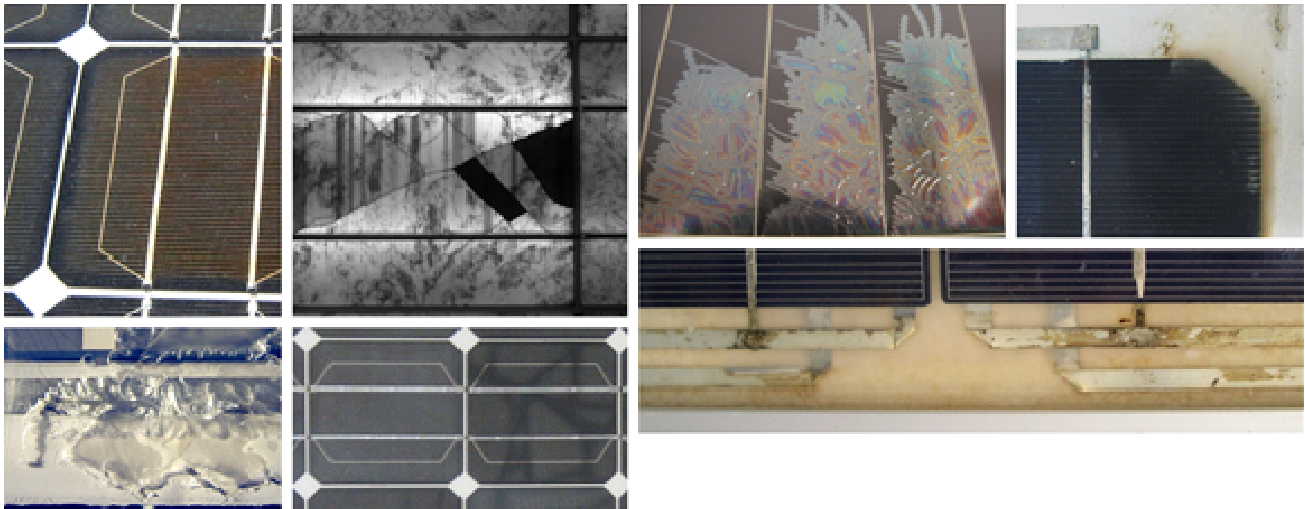
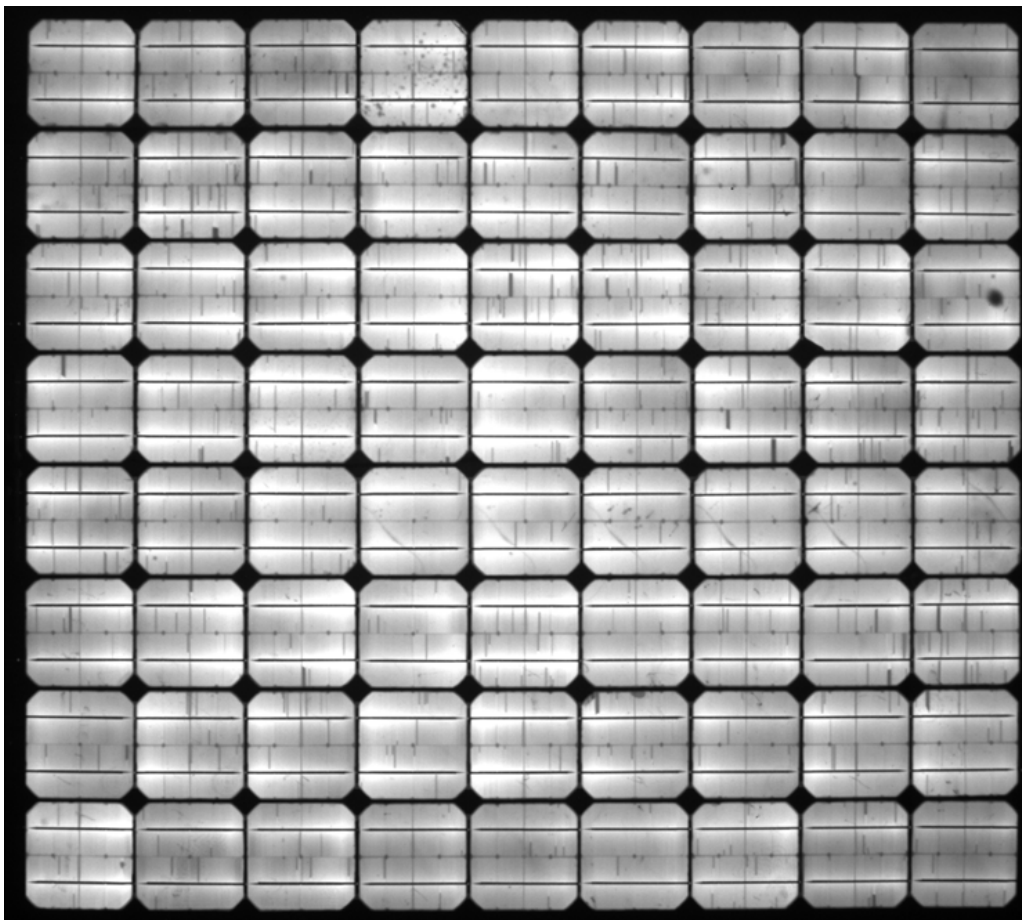
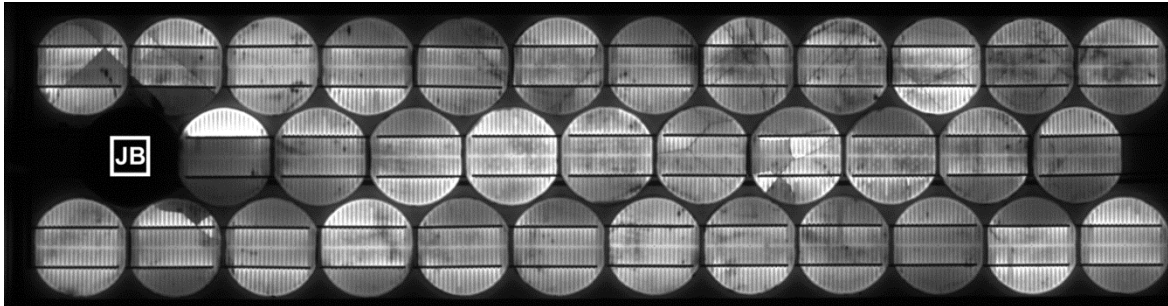


Abbildung 14: Schadensbilder von realgealterten Modulen

Real gealtertes Beispiel 1 (Tirol/Gebirge); Leistungsverlust ~10%rel.



Real gealtertes Beispiel 2 (S-Schweiz); 1 Zelle über JB-durchgebrannt-> Bypass; Leistungsverlust -15,5 %rel.



Real gealtertes Modul Beispiel 3 (Wüste Negev): Leistungsabfall -1,2%rel.

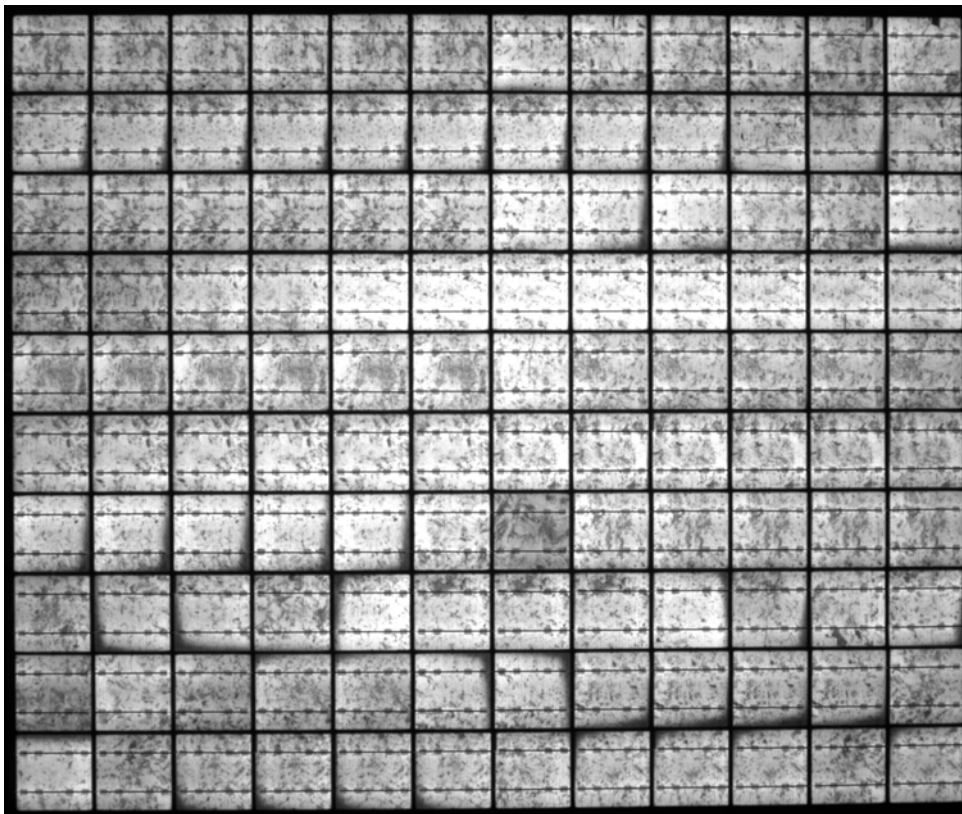


Abbildung 14: Elektrolumineszenz –Bilder von realgealterten Modulen

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Nach umfassender Literatur- und Marktrecherche wurden je 6 Vertreter aus dem Bereich polymere Einbettungsmaterialien und Rückseitenabdeckungen (Backsheets) ausgewählt. Dabei handelt es sich neben den aktuell am häufigsten im Einsatz befindlichen Produkten wie Ethylenvinylacetat (EVA) für die Zelleinbettung und Tedlar- und Polyamid-Backsheets für die rückseitige Abdeckung auch um eine

Auswahl von neuartigen Alternativmaterialien, die in den letzten Jahren am Markt erschienen sind. Auch im Bereich Kleb- und Dichtstoffe zur Befestigung der Anschlussdosen und der Rahmenfixierung wurden zahlreiche Systeme (neben den von den Marktführern verwendeten Silikonen auch Alternativmaterialien aus Polyurethan und MS-Polymeren) ausgewählt und getestet. Diese Materialien wurden intensiv charakterisiert und als Einzelkomponenten sowie im Materialverbund (also im PV-Modul verbaut) gealtert und im Folgenden die alterungsinduzierten Veränderungen im Material erfasst.

Backsheets: Durch den direkten Vergleich der Analysenergebnisse konnte gezeigt werden, dass bei den polymeren Rückseitenfolien KEINE Materialunverträglichkeiten mit den Einkapselungsmaterialien auftreten und - aus Kosten- und Zeitgründen - klar zu favorisierende Einzelkomponenten-Lagerungen zu den gleichen Ergebnissen führen wie Modulalterung. Einzige Ausnahme stellte ein Backsheet mit gasdichter Al-Barriereschicht dar, das im verbauten Zustand eine höhere Stabilität aufwies, da die tragende PET Schicht im Modul für die angreifende Feuchte durch die Al-Schicht von der einen und das Glas von der anderen Seite geschützt war. Für die Langzeitbeständigkeitsuntersuchungen dieser Materialien können deshalb auch zerstörende Prüfmethoden wie die **thermische Analyse (DSC) oder Reißdehnungsmessungen** eingesetzt werden. Mit diesen Methoden können chemische und physikalische Alterungen/Degradierungen der Backsheet-Materialien, die zu z.B. zu Versprödung, Verfärbungen oder Haftungsverlusten führen, sehr sensitiv nachgewiesen werden.

Einkapselungsmaterialien: Anders ist die Situation bei den polymeren Einbettmaterialien, die ja im Modul immer zwischen Glasfrontsheet und polymerem Backsheet eingeschlossen sind und auf diese Weise nie den Stressfaktoren Feuchte, direkter Luftzutritt oder Bestrahlung ausgesetzt sind. Bei diesen Materialien ist die beschleunigte Alterung unbedingt im Modul durchzuführen, um aussagekräftige Resultate zu erhalten. Zur zerstörungsfreien Analyse dieser eingekapselten Materialien hat sich die **konfokale Raman-Spektroskopie** als besonders aussagekräftig erwiesen. Mit dieser Methode kann einerseits der Vernetzungsgrad des EVAs im Modul zerstörungsfrei überprüft werden, andererseits aber auch beginnende Polymerdegradation durch auftretende Fluoreszenzerscheinungen nachgewiesen werden. So konnte an einer Messserie von gealterten Testmodulen nachwiesen werden, dass der Abbau des Einkapselungsmaterials vom Typ des eingesetzten Backsheets abhängt. Hier sind – neben anderen - vor allem die **Permeationseigenschaften** der Backsheets sehr ausschlaggebend: neben dem Transport von Wasserdampf (Feuchte) und Sauerstoff ins Modulinnere ist vor allem auch der Abtransport des Zersetzungsprodukts Essigsäure aus dem EVA sehr bedeutsam für potentiell auftretende Korrosionserscheinungen an Zelloberflächen und Leitungsbändern. Daher wurde der Untersuchung der Permeation durch die polymeren Backsheets vor und nach erfolgter beschleunigter Alterung auch hohe Bedeutung beigemessen (AP2).

Die Haftung innerhalb des Multimaterialverbundes PV-Modul wurde mit Hilfe der innovativen Methoden **Ultraschallmikroskopie und Puls-Phasen-Thermografie** zerstörungsfrei untersucht. Mit diesen

Methoden konnten nicht nur Delaminationen und Blasen, sondern auch Zellbrüche, Kontaktfehler und materialfremde Fehlstellen detektiert werden.

Die alterungsinduzierten Veränderungen in den polymeren Materialien im Verlauf der **unterschiedlichen beschleunigten Alterungstests** konnten in der Folge mit den gemessenen Leistungsverlusten an den Testmodulen korreliert werden. So konnten wie zeigen, dass Lagerungen bei hoher Feuchte und Temperatur (Damp Heat Test, 85°C; 85% rel.Feuchte), noch verstärkt durch zusätzliche Ammoniakbelastung, bei einigen Backsheet-Typen zu einer physikalischen Degradation (Änderung der kristallinen Mikrostruktur, Nachkristallisation) der PET-Kernschicht in den Backsheets führt, die **Zelldegradation und Leistungsverlust der Module** zur Folge hat. Chemische Degradation hingegen (also hydrolytischer Polymerabbau) wurde bei allen PET-basierenden Backsheets nachgewiesen und ist nicht direkt mit Performanceverlusten der Module korrelierbar.

Die reinen Polyamid-Backsheets, die seit Jahren einen immer größeren Marktanteil für sich beanspruchen, zeigen diese physikalischen Alterungseffekte nicht und haben sehr gute Langzeitstabilität in den Tests gezeigt.

In den beschleunigten Alterungstests bei „realitätsnäheren“ Bedingungen bei tieferen Temperaturen und Feuchten, aber zusätzlicher simulierter Sonneneinstrahlung auf die Testmodule hat sich gezeigt, dass nicht die physikalischen Alterungseffekte der Backsheets, sondern die beginnende Degradation der Einkapslungsmaterialien die Leistungsstabilität der Module stark beeinflusst.

5 Ausblick und Empfehlungen

Es konnten im Rahmen dieses Projektes Korrelation zwischen den Eigenschaften und deren alterungsinduzierten Veränderungen in den polymeren Modulkomponenten mit dem Leistungsverhalten der Module erstellt werden (beschleunigte Alterungstests). Allerdings hat eine intensive Literaturstudie gemeinsam mit im Rahmen von AP5 zusätzlich durchgeführten Charakterisierungen von im Feld gealterten Realmodulen gezeigt, dass die angewandten beschleunigten Alterungstests und die damit erzeugten Schadensbilder nicht in allen Aspekten den im Feld gealterten Modulen (reale Schadensfälle) entsprechen. Das heißt, eine Optimierung der für die PV-Industrie relevanten Prüf-Normen (EN 61215) erscheint sinnvoll, um die Schadensbilder, die in den beschleunigten Tests erzeugt werden, näher an die realen Fehlerbilder heranzubringen. Diesbezüglich sind in der internationalen PV-Community bereits Aktivitäten im Gange, die durch unsere Ergebnisse noch gestützt werden. Das in diesem Projekt gebildete Konsortium ist in die Tätigkeiten IEA-PVPS (Internationale Energy Agency – Photovoltaic Power Systems Programme) und zahlreiche europäische Initiativen (SOPHIA-Projekt) eingebunden und daher können unsere Forschungsergebnisse direkt in die zukünftigen Aktivitäten einfließen bzw. Berücksichtigung finden.

Die 3 Jahre der engsten Zusammenarbeit hat allen 3 Forschungseinrichtungen einen enormen Know-how Aufbau und engste Vernetzung gebracht, eine Basis auf der sich künftige Forschungsprojekte gut aufbauen lassen. Die extrem gute und fruchtbringende Zusammenarbeit des Konsortiums, die sich in zahlreichen Vorträgen, Posterpräsentationen und Publikationen auch wissenschaftlich belegen lässt (siehe Kapitel 6) soll in einem weiteren Forschungsvorhaben fortgesetzt werden. Geplant ist ein großangelegtes Leitprojekt mit zahlreichen Firmenpartnern zum Thema: „Langzeitstabilität von PV-Modulen in unterschiedlichen Klimazonen“.

6 Literaturverzeichnis / Dissemination

Die im Projekt gewonnenen Ergebnisse wurden/werden einer möglichst breiten Veröffentlichung und Verwertung für alle Interessenten zur Verfügung gestellt. Dies beinhaltet die **Vorstellung der Projekteinhalte und -ergebnisse auf hochkarätigen internationalen Fachtagungen der Kunststoff- und Solarbranche, bei nationalen und internationalen Netzwerktreffen sowie in Publikationen in referierten, internationalen Zeitschriften**. Ferner fließen die Projekteinhalte in Lehrveranstaltungen der Studienrichtung „Kunststofftechnik“ an der Montanuniversität Leoben ein.

Im Berichtszeitraum wurden Ergebnisse und Aspekte des Projekts auf folgenden Veranstaltungen präsentiert:

Vorträge:

- G.Eder (2012) “Quality assurance of PV materials and modules: System optimization through the application of innovative characterization methods”, in: PV Power Plants – EU 2012, Wien, AUT: 29.03.2012
- G. Oreski (2012) “Accelerated aging of PV encapsulation materials”, -in: SOPHIA Workshop PV-Module Reliability, Lugano (CH), 04.05.2012
- Y. Voronko (2012) „Kleb- und Dichtstoffe in Photovoltaik – Modulen“ 6.Österreichische Klebstoff-Tagung, Mai 2012; Wr.Neustadt;
- M. Knausz (2012) „Measurement of the water vapour transmission rate of high barrier films at service relevant conditions”, in: 15. Internationale Konferenz "Polymerwerkstoffe 2012", Halle, D, 12.-14.9.2012
- G. Oreski (2012) “Service life testing of polymers for photovoltaic module encapsulation” in: 15. Internationale Konferenz "Polymerwerkstoffe 2012", Halle, D, 12.-14.9.2012
- G. Eder (2012), „Innovation als Antwort: Österreichs PV-Forschungslandschaft“, Fachvortrag bei der 10.Österreichischen PV-Tagung, Laxenburg, Okt. 2012.
- G. Oreski (2012) “New non-destructive characterization methods – Scanning laser vibrometry” in: IEA Task 13 Meeting, 23.-25.10.2012, Denver
- M. Knausz (2013) „ Investigation of the thermal expansion behaviour of PV module encapsulation materials” in: Austrian Slovenian Polymer Meeting 2013, Bled, SLO, 03.-05.04.2013

- G. Eder (2013) „Influence of environmental factors on the ageing behavior of photovoltaic backsheets” in: 6th European Weathering Symposium, Bratislava, SK, 11.-13.09.2013
- G. Oreski (2013) “Aging and aging characterization of polymers” in: 3M Solar Customer Day, Berlin, D, 19.4.2013
- G. Oreski, M. Knausz (2013) “Werkstoffgerechte Optimierungspotenziale des PV Modulherstellungsprozesses” in: 11. Österreichische PV Tagung, St. Pölten, 19.-20.11.2013
- G. Eder (2013), Projektvorstellung & Ergebnispräsentation, Science Brunch St. Veit an der Glan März 2013.
- G.C. Eder (2013), Analytische Erfassung alterungsbedingter Änderungen von Materialien in PV-Modulen
Eingeladener Vortrag am Leibnitz Institut für Polymerforschung Dresden; 4.12.2013.
- G.C. Eder, (2014) „ Correlation of the loss in PV module performance with the characteristics and ageing behavior of the used backsheets” in: 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Amsterdam, NL, 22.09-26.09.2014

Poster:

- M. Knausz, G. Oreski, K. Berger, G. Eder, Y. Voronko (2012) “Measurement of the water vapour transmission rate of high barrier films for PV applications at service relevant temperatures”, in: 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Frankfurt, 24.09.2012
- Y. Voronko, G. Eder, M. Weiss, M. Knausz, G. Oreski, T. Koch, K. Berger (2012) “Long term performance of PV modules: System optimization through the application of innovative non-destructive characterization methods”, in: 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Frankfurt, 24.09.2012
- M. Knausz, G. Oreski, K. Berger, G. Eder, Y. Voronko (2012) “Measurement of the water vapour transmission rate of high barrier films for PV applications at service relevant temperatures”, in: 10. Österreichische Photovoltaik Tagung, 18.-19. Oktober 2012, Laxenburg
- Y. Voronko, G. Eder, M. Weiss, M. Knausz, G. Oreski, T. Koch, K. Berger (2012) “Long term performance of PV modules: System optimization through the application of innovative non-destructive characterization methods”, in: 10. Österreichische Photovoltaik Tagung, 18.-19. Oktober 2012, Laxenburg
- G. Oreski, M. Knausz, G. Pinter, Ch. Hirschl, G. Eder (2013) „Advanced methods for discovering PV module process optimization potentials and quality control of encapsulation materials” in: 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Paris, F, 30.09-04.10.2013
- Y. Voronko, G. Eder, V. Chernev, M. Knausz, G. Oreski, T. Koch, K. Berger (2013) „Analytical evaluation of the ageing induced changes of the adhesive within photovoltaic backsheets” in: 29th International Conference of the POLYMER PROCESSING SOCIETY, Nürnberg, D, 15.-19.07.2013
- K. Berger, B. Kubicek, G. Ujvari, G. Eder, Y. Voronko, M. Weiss, G. Oreski, M. Knausz, T. Koch, J. Wassermann (2013) „Innovative, nichtzerstörende Methoden zur Untersuchung von Photovoltaikmodulen” in: 28. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, D, 06.-08.03.2013

- Y. Voronko, G. C. Eder, M. Knausz, G. Oreski, T. Koch und K. A. Berger „Korrelation des Alterungsverhaltens der eingesetzten Backsheets mit dem Leistungsabfall der PV-Module“ Poster bei der 11. Österr. PV-Tagung 11.2013, St.Pölten.
 - G. Oreski, M. Knausz, Y. Voronko, G. Eder, K. Berger, G. Pinter, J. Wassermann (2014) „Vibrational analysis of PV modules“ in: 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Amsterdam, NL, 22.09-26.09.2014
 - M. Knausz, G. Oreski, Y. Voronko, G. Eder, K. Berger, G. Pinter, T. Koch (2014) „Reliability testing of backsheets: Comparison between module aged and free aged films“ in: 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Amsterdam, NL, 22.09-26.09.2014
- geplant:
- Y. Voronko, G. Eder, M. Knausz, G. Oreski, T. Koch, K. Berger (2014) „PV-Backsheets: Analytische Erfassung von alterungsinduzierten Veränderungen auf Modul- und Komponentenebene“, in: 12. Österreichische Photovoltaik Tagung, 3.-5. November 2014, Linz.

Konferenzbeiträge

- Y. Voronko, G. Eder, M. Weiss, M. Knausz, G. Oreski, T. Koch, K. Berger (2012) „Long term performance of PV modules: System optimization through the application of innovative non-destructive Characterization methods“, Proc. 27th PV SEC, Frankfurt/Main, Sept. 2012; p. 3530 – 3535; ISBN: 3-936338-28-0; DOI: 10.4229/27thEUPVSEC2012-4BV.3.41
- K. Berger, B. Kubicek, G. Ujvari, G. Eder, Y. Voronko, M. Weiss, G. Oreski, M. Knausz, T. Koch, J. Wassermann (2013) „Innovative, nichtzerstörende Methoden zur Untersuchung von Photovoltaikmodulen“, Symposium Photovoltaische Solarenergie (06. bis 08. März 2013 in Bad Staffelstein)
- Y. Voronko, G. Eder, M. Knausz, G. Oreski, T. Koch, K. Berger (2013) „Influence of environmental factors on the ageing behaviour of photovoltaic backsheets“, Proceedings of the European Weathering Symposium Bratislava 09.2013; CEEES Publication No 16, 2013; Editor: Dr.-Ing. Thomas Reichert; Herausgeber: Gesellschaft für Umweltsimulation e.V. GUS; ISBN 978-3-9813136-8-0
- Y. Voronko, G. Eder, B. Chernev, M. Knausz, G. Oreski, T. Koch, K. Berger (2013) „Analytical evaluation of the ageing induced changes of the adhesive within Photovoltaic backsheet“, Proc. 28th PV-SEC Paris, 09.2013; p. 3037 – 3042; ISBN: 3-936338-33-7; DOI: 10.4229/28thEUPVSEC2013-4AV.4.10

Publikationen in referierten Zeitschriften:

- Y. Voronko, B. Chernev, G. Eder, „Spectroscopic investigations on thin adhesive layers in multimaterial laminates“ Appl.Spectr. (2014), 68, 5, 584-592.
- Y. Voronko, G. Eder, M. Knausz, G. Oreski, K. Berger, T. Koch (2014) „Correlation of the loss in PV module performance with the characteristics and ageing behavior of the used backsheets“ submitted 05.2014 to **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**
- M. Knausz, G. Oreski, Y. Voronko, G. Eder, K. Berger, G. Pinter, T. Koch (2014) „Degradation of photovoltaic module backsheets: Analytical evaluation of the aging induced changes on module

and component level. Part 1: Thermal analysis”, submitted 08.2014 **Solar Energy Materials & Solar Cells**

- G. Oreski, M. Knausz, Y. Voronko, G. Eder, K. Berger, G. Pinter, T. Koch (2014) „ Reliability testing of backsheets: Use of thermal analysis for comparison of module aged and free aged films”, eingereicht bei **PV International 08.2014**
- M. Knausz, G. Oreski, M. Schmidt, P. Guttman, G. Pinter Y. Voronko, G. Eder, K. Berger, T. Koch (2014) „Comparative study on the thermal expansion of various PV encapsulation materials during lamination and application”, eingereicht bei **Renewable Energy**

Ein Ziel dieses Projektes war, dass das im Projekt generierte Wissen in laufende Forschungsprojekte der Projektpartner eingebracht wird und auch als **Ausgangspunkt für weiterführende, anwendungsorientierte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sowie für Aufträge** dienen soll. Insbesondere sollen mit den Ergebnissen innovative industrielle Forschungsvorhaben von Unternehmen der Photovoltaikbranche initiiert werden. Deshalb wurde und wird das Projekt stetig in Präsentationen vor bestehenden und potenziellen Kooperationspartnern bzw. in den jeweiligen Firmenpräsentationen und Homepages der Projektpartner OFI, PCCL und AIT vorgestellt.

Folgeprojekte:

- Pamina (laufend) FFG Nr. 838634 (AIT, OFI + Firmenpartner)
- PV@Fassade (laufend) FFG Nr. 843803 (AIT, OFI + 7 weitere Partner)
- Leitprojekt PV „Infinity“ in Vorbereitung, geplante Einreichung Jänner 2015 (AIT, OFI, PCCL + 9 weitere Partner)

7 Anhang

8 Kontaktdaten

ProjektleiterIn: Dr. Gabriele C. Eder

Institut/Unternehmen: OFI, Österreichischen Forschungsinstitut für Chemie und Technik

Kontaktadresse: Franz Grill Str. 5, Arsenal Objekt 213, 1030 Wien

Auflistung der weiteren Projekt- bzw. KooperationspartnerInnen Name / Institut oder Unternehmen

- PCCL - Polymer Competence Center Leoben GmbH
Dr. Gernot Oreski
- Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal Ges.m.b.H. – AIT Austrian Institute of Technology – Energy Department (AIT)
Dipl. Ing. Karl A. Berger

IMPRESSUM

Verfasser

OFI, Österreichischen Forschungsinstitut für
Chemie und Technik
Franz Grill Str. 5
Arsenal Objekt 213, 1030 Wien
ProjektleiterIn: Gabriele C. Eder

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
E-Mail: office@klimafonds.gv.at
Web: www.klimafonds.gv.at

Projekt- bzw. Kooperationspartner

PCCL - Polymer Competence Center Leoben
GmbH
– Gernot Oreski

AIT Austrian Institute of Technology,
Energy Department (AIT)
– Karl A. Berger

AutorInnen

Gabriele C. Eder
Yuliya Voronko
Gernot Oreski
Marlene Knausz
Karl A. Berger

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige
Verantwortung für den Inhalt dieses
Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise
die Meinung des Klima- und Energiefonds
wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch
die Forschungsförderungsgesellschaft
(FFG) sind für die Weiternutzung der hier
enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH