

# Anwendbarkeit von Ultraviolett-Fluoreszenz (UVF) zur Bestimmung der Alterung moderner Verkapselungsmaterialien für photovoltaischer Module

Zonghan Jiang<sup>1</sup>, Patrick Wessel<sup>1,2</sup>, Sebastian Dittmann<sup>1,2</sup>, Carlos Meza<sup>1,2</sup>, Ralph Gottschalg<sup>1,2</sup>

E-Mail: zonghan.jiang@hs-anhalt.de

<sup>1</sup>Hochschule Anhalt University of Applied Sciences, Bernburger Str. 55, 06366, Köthen, Germany

<sup>2</sup>Fraunhofer-Center for Silicon Photovoltaics CSP, Halle (Saale), Germany

## Motivation

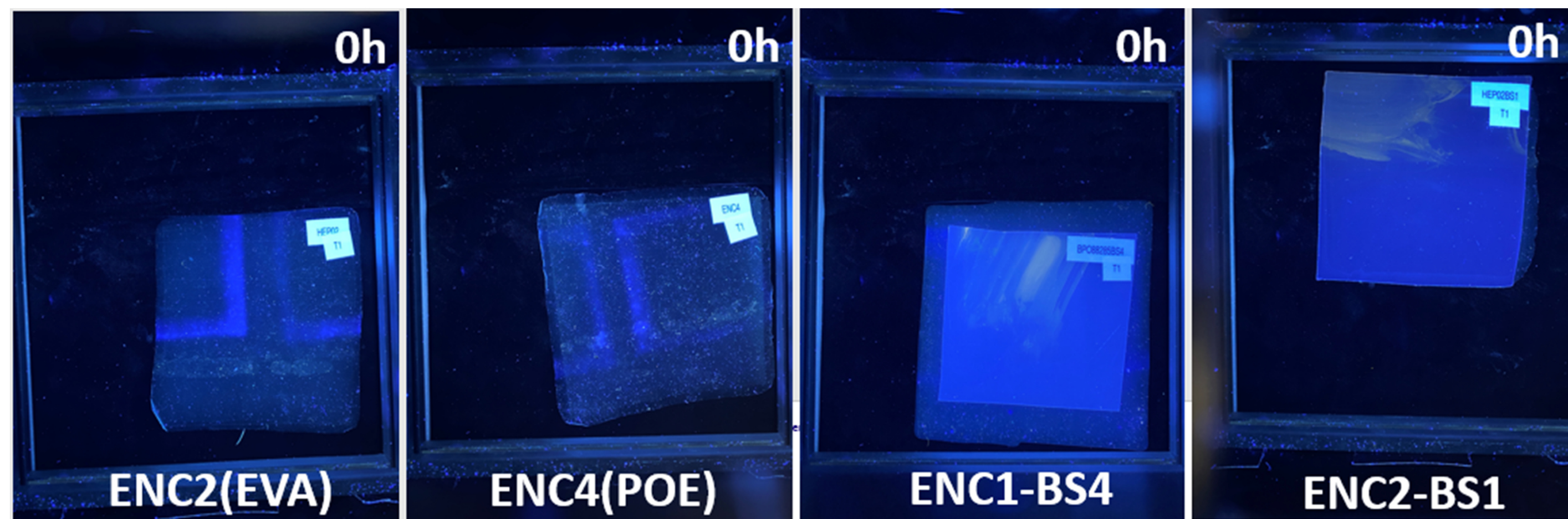
Die Degradation der Verkapselung von PV-Module kann durch Ultraviolett-Fluoreszenz (UVF) evaluiert werden. In den bisherigen UVF-Studien wurden überwiegend EVA-Proben verwendet, aber es fehlt der Nachweis, dass UVF auch auf moderne Verkapselungsmaterialien (TPO, POE) anwendbar ist. In dieser Studie wird die Anwendbarkeit von UVF zur Bestimmung der Alterung von modernen Verkapselungsmaterialien demonstriert.

## Probenvorbereitung

### Polymere für Verkapselungen: Polymere für Rückseitenfolien:

- ENC1 (Folienmaterial: TPO)
- ENC2 (Folienmaterial: EVA)
- ENC4 (Folienmaterial: POE)
- BS1 (Grundmaterial: PPE)
- BS4 (Grundmaterial: FFC//PET//FFC)

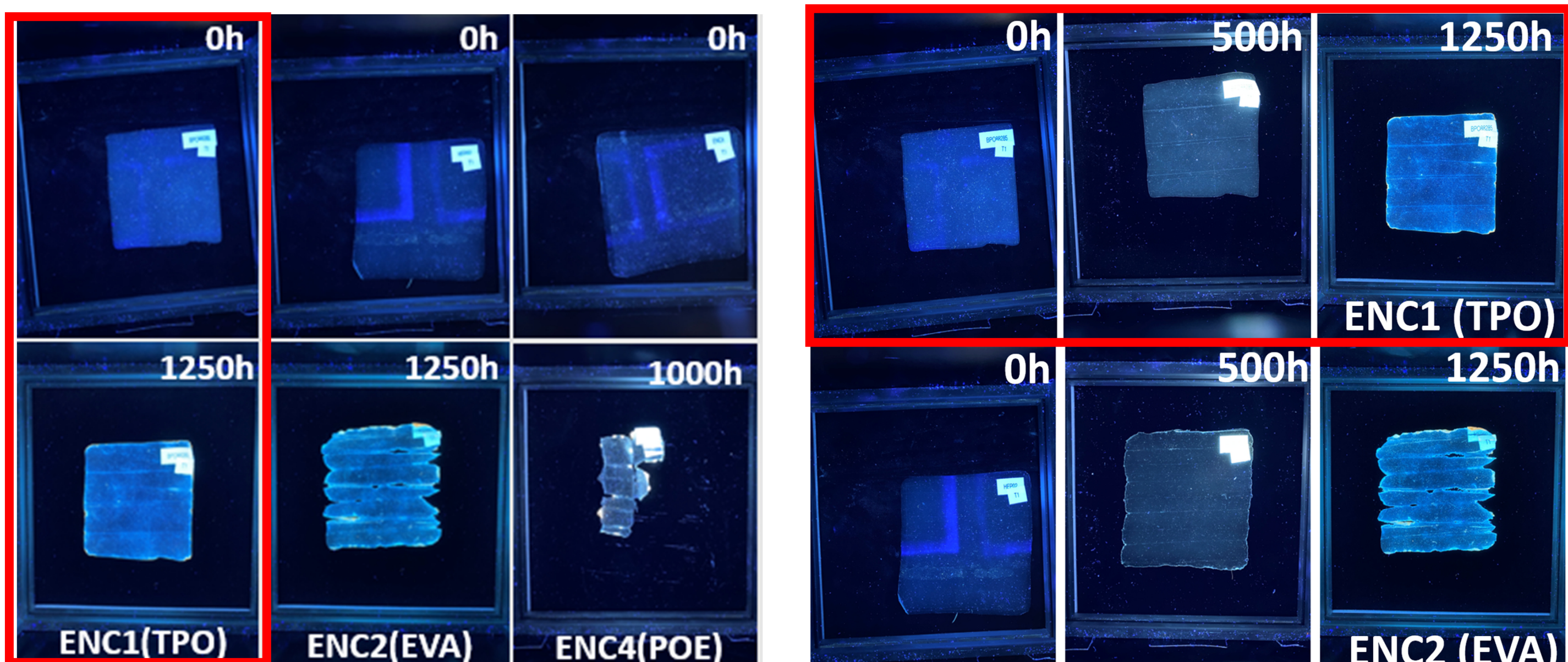
## UVF-Bilder nach der Lamination



**Fig. 1:** Ungleichmäßige Muster, die in den UVF-Bildern einiger der laminierten Proben erscheinen.

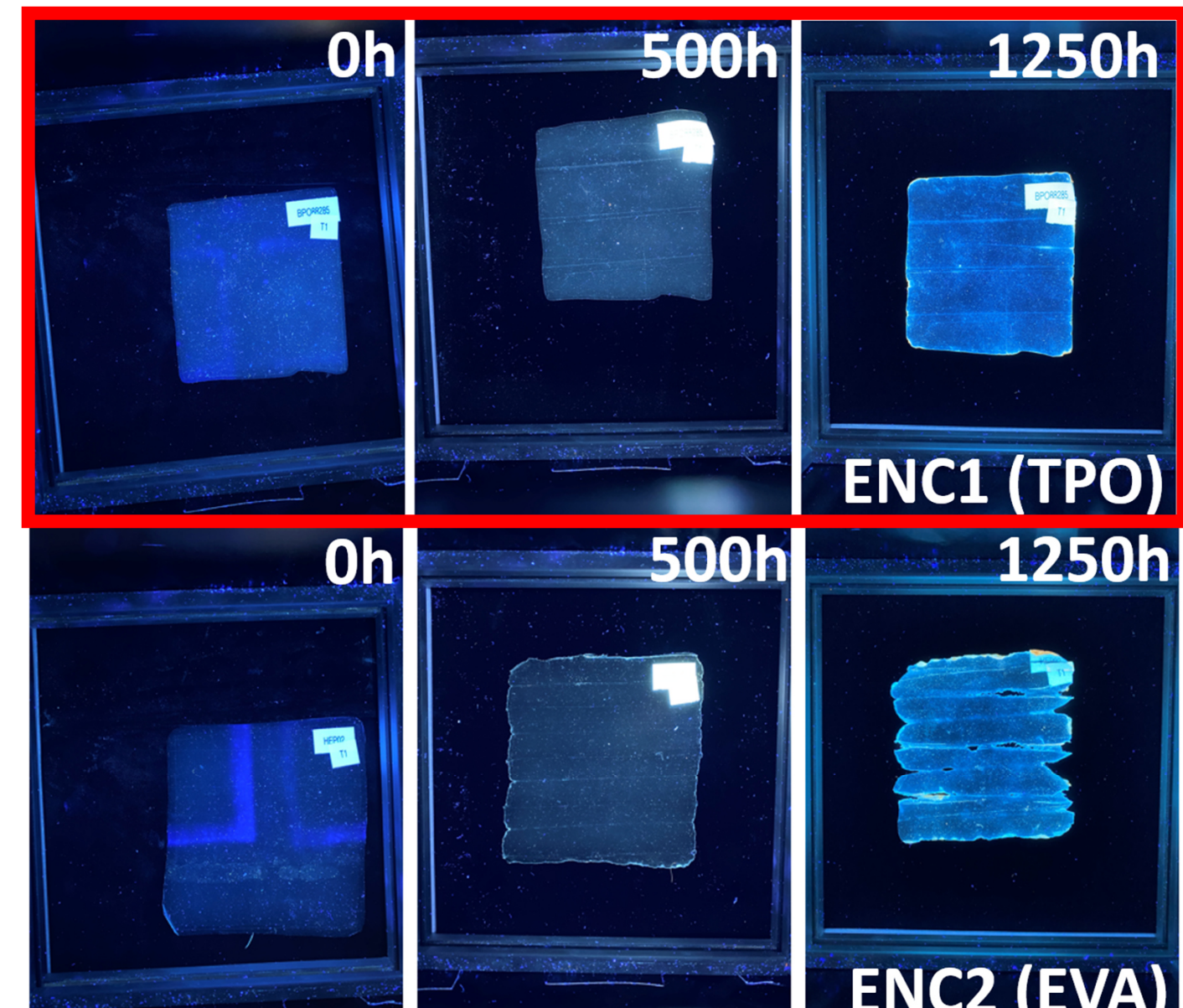
- Kastenförmiges Fluoreszenzmuster bei EVA- und POE-Proben und nebliges Fluoreszenzmuster bei ENC1-BS4- und ENC2-BS1-Proben. (siehe Abb. 1)
- Der Zusammenhang zwischen unterschiedlichen Fluoreszenzmustern und der Qualität der Lamination muss weiter untersucht werden.

## Fluoreszenzveränderung während der Alterung



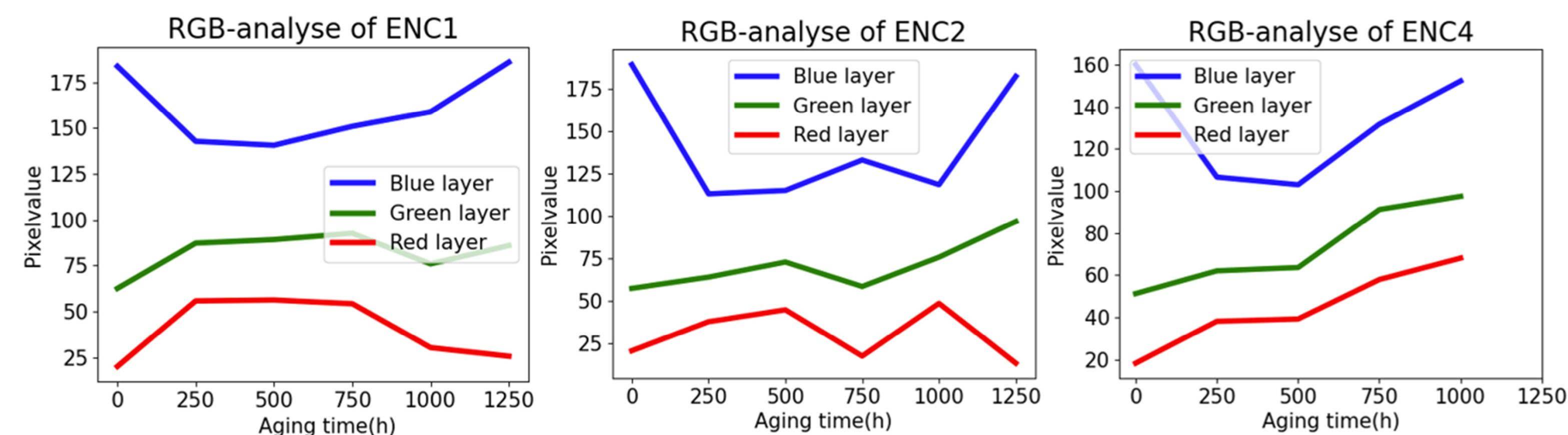
**Fig. 2:** Vergleich der UVF-Bilder der Proben TPO, EVA und POE vor und nach der Alterung

- Alle Proben (auch die modernen Verkapselungsmaterialien) zeigten eine Zunahme der Fluoreszenzintensität mit zunehmender Alterungszeit. (siehe Abb. 2)
- Die Fluoreszenzfarbe einiger Proben (TPO, EVA) veränderte sich während der Alterung (von blau zu weiß und schließlich wieder blau). (siehe Abb. 3)



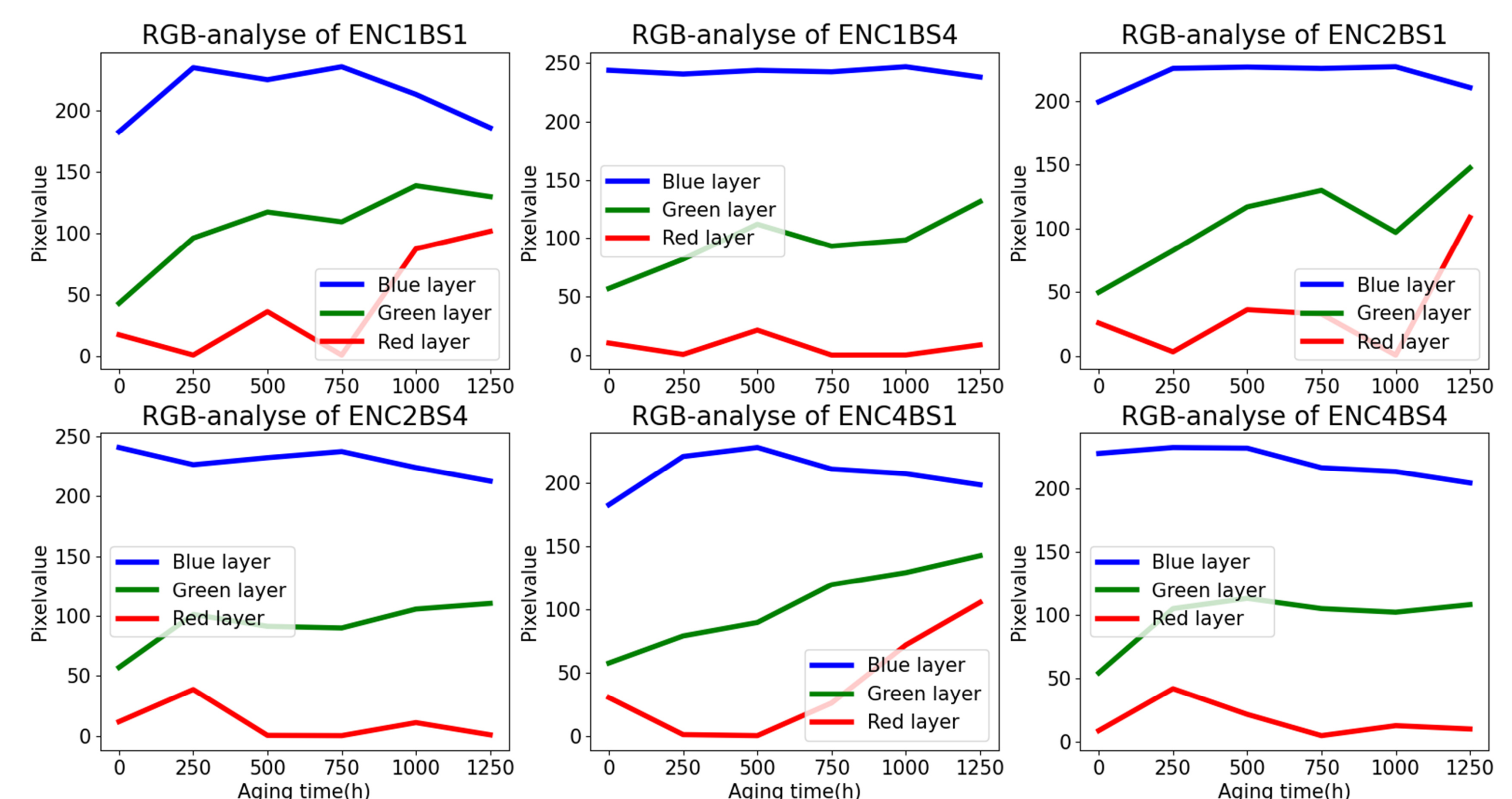
**Fig. 3:** Die Fluoreszenz einiger Proben (TPO, EVA) zeigte Farbveränderungen während des Alterungsprozesses.

## RGB-basierte Spektralanalyse



**Fig. 4:** Veränderungen der durchschnittlichen Pixelwerte der Fluoreszenz für ENC1, ENC2 und ENC4 in den verschiedenen Farbschichten (Rot, Grün und Blau)

- Jeder RGB-Farbschicht stellen die verschiedenen Spektralbereiche der Fluoreszenz dar.
- Bei allen Proben nahm die Anzahl der Pixel in der grünen Schicht entsprechend der Alterungszeit zu. (die Grundlage für die Bestimmung des Alterungsgrades) (siehe Abb. 4 und Abb.5)
- Spektrale Veränderungen in der Fluoreszenz verschiedener Proben erklären die Farbveränderungen in Abb. 3
- Die Pixelveränderung in der grünen Schicht der ENC4-Probe ist deutlich schneller als bei den anderen Proben, was der vollständigen Schädigung der ENC4-Probe nach 1000 Stunden Experimentierzeit entspricht.
- Die Pixelvariation in der roten Schicht der Probe bleibt unklar.



**Fig. 5:** Veränderungen der durchschnittlichen Pixelwerte der Fluoreszenz für Proben aus Materialkombination in den verschiedenen Farbschichten (Rot, Grün und Blau)

- Die grüne Schicht der Probe mit BS1 wuchs schneller als die der Probe mit BS4. (Die Art der Backsheet beeinflusst die Geschwindigkeit der Fluoreszenzänderung) (siehe Abb. 5)
- Die Pixelvariationen in der roten Schicht der Proben aus Materialkombination lassen sich je nach Art der Backsheet in zwei Kategorien einteilen. Dieses Phänomen muss weiter untersucht werden. (siehe Abb. 5)

## Schlussfolgerung

1. Die Ultraviolett-Fluoreszenz (UVF) ist theoretisch geeignet, den Alterungsgrad von modernen Verkapselungsmaterialien anhand der Fluoreszenzintensität zu bestimmen.
2. Die Analyse der spektralen Veränderungen der Fluoreszenz zeigte das große Potenzial von UVF bei der Bestimmung des Alterungsgrades der Verkapselung.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work is supported by the German Federal Ministry of Economics and Climate Protection (BMWK) under the project "EVAplus".  
Funding code: 03EE1112E

