

Zerstörungsfreie Charakterisierung thermisch und/oder radioaktiv gealterter Polyethylenkabel durch THz-Zeitbereichsspektroskopie unter Zuhilfenahme maschineller Lernprozesse

Andreas KELLER¹, Christopher STUMM¹

¹ Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren, Saarbrücken

Kontakt E-Mail: christopher.stumm@izfp.fraunhofer.de

Kurzfassung

In Anbetracht des weltweit stetig ansteigenden Energiebedarfs und des Wunsches nach möglichst CO₂-neutraler Energieerzeugung planen heutzutage viele Länder eine Laufzeitverlängerung ihrer Kernkraftwerke (KKW). Zwar werden bis Ende 2022 alle KKW in Deutschland heruntergefahren, dennoch bleibt es wichtig, den Zustand internationaler Anlagen bewerten zu können. In einem typischen KKW sind durchschnittlich 25000 Kabel mit einer Gesamtlänge von 1500 km verlegt, die teils rauen Umgebungsbedingungen wie erhöhter Temperatur und radioaktiver Strahlung ausgesetzt sind. Diese Bedingungen können zur Alterung der Kabelisolierungen führen, wodurch es zu Versprödung und auch Rissen des Materials kommen kann, was wiederum Kurzschlüsse bedingen kann.

Im Rahmen des Europäischen Forschungsprogramms Horizon2020 wurde vor diesem Hintergrund das Projekt TeaM Cables ins Leben gerufen. Themenbereiche des Projekts sind unter anderem die Charakterisierung und Modellierung diverser Temperatur- und Strahlungseinflüsse und die möglichst frühzeitige zerstörungsfreie Detektion von Alterungseffekten. Da Alterungseffekte zu Änderungen im dielektrischen Verhalten von Polymeren führen können, trägt das Fraunhofer IZFP mit seiner Kompetenz in der Terahertz-Spektroskopie zum Forschungsvorhaben bei, indem Proben aus vernetztem Polyethylen mittels THz-Zeitbereichsspektroskopie untersucht werden. Die dadurch erhaltenen Daten werden am Fraunhofer IZFP mit den Daten der zerstörenden Prüfverfahren, die in den Einrichtungen anderer Partner durchgeführt werden, wie bspw. Bruchdehnung oder Oxidationsinduktionszeit, fusioniert. Anschließend wird auf dieser Datengrundlage mithilfe von Methoden des maschinellen Lernens ein Modell zur Vorhersage des Alterungsverhaltens entwickelt, mit dem es möglich ist, die verschieden gealterten Proben voneinander zu unterscheiden und unterschiedlichen Alterungsdauern zuzuordnen. Im vorliegenden Beitrag werden einige ausgewählte Ergebnisse dieser Untersuchungen vorgestellt.



Zerstörungsfreie Charakterisierung thermisch und/oder radioaktiv gealterter Polyethylenkabel durch THz-Zeitbereichsspektroskopie unter Zuhilfenahme maschineller Lernprozesse

Andreas Keller, Christopher Stumm

Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP

PROBLEMSTELLUNG

Das EU-Projekt "TeaM Cables" befasst sich mit der frühzeitigen zerstörungsfreien Detektion von Alterungseffekten in Kernkraftwerkskabeln. Da ein Komplettaustausch der auf eine spezifische Laufzeit ausgelegten Kabel sowie die zerstörende Prüfung dieser Kabel unpraktikabel und unwirtschaftlich sind, müssen Methoden zur Alterungsbestimmung im laufenden Betrieb entwickelt werden.

Im Projekt wurden Polyethylenproben mit verschiedenen Anteilen an Additiven wie Antioxidantien und Flammschutzmitteln mehrstufig thermisch und/oder radioaktiv gealtert. Mit der für alterungsbedingte Änderungen dielektrischer Eigenschaften empfindlichen THz-Zeitbereichsspektroskopie wurden die Proben im Anschluss untersucht.

ZIEL

Ein Vorteil der THz-Zeitbereichsspektroskopie ist die berührungslose und instantane Messung, was eine Anwendung in der Praxis deutlich vereinfacht.

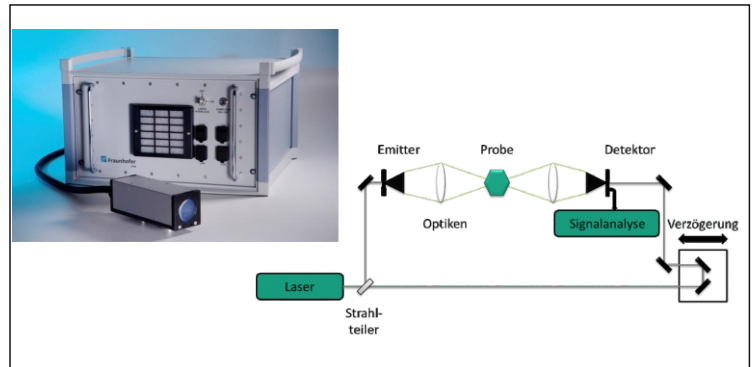
Es war zu zeigen, dass mittels Terahertz-Messungen und maschinellen Lernalgorithmen sowohl der Alterungszustand, repräsentiert durch die Bruchdehnung, als auch die Materialzusammensetzung bestimmt werden kann.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Anwendung maschineller Lernalgorithmen ermöglicht eine gute Unterscheidung der untersuchten Proben hinsichtlich ihrer Bruchdehnung und des Isolationsmaterials der einzelnen Kabellitzen.

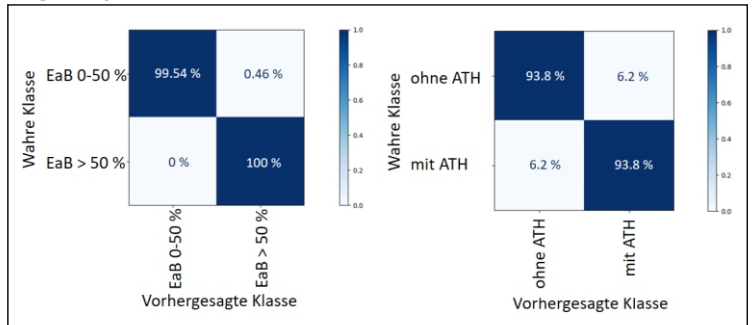
Mit der gleichen Methodik sind auch noch weitere Materialcharakteristika wie der Carbonylindex oder die erfahrene radioaktive Dosis bestimmbar. Zusätzlich ist es möglich durch die Kaskadierung der zuvor einzeln trainierten Modelle und des dabei jeweils erlangten Vorwissens insgesamt eine höhere Genauigkeit der Unterscheidung zu erzielen.

MESSPRINZIP



links: THz-Zeitbereichsspektroskop mit Prüfkopf
rechts: Strahlengang im THz-Spektroskop

ERGEBNIS



links: Vorhersage der Bruchdehnung (EaB) eines Koaxialkabels anhand der gemessenen Terahertz-Daten. Gewählte Klassifizierungsgrenze: 50 % EaB. Genauigkeit: 99,8 %
rechts: Vorhersage des Isolationsmaterials der Kabellitzen eines Kabels mit verdillten Aderpaaren. Gewählte Klassifizierung: radioaktiv gealtertes XLPE ohne ATH und mit ATH. Genauigkeit: 95 %

