

Alterung Epsilon

**Untersuchung des Einflusses von
Alterung und Verschmutzung auf
das wärmetechnische Verhalten
von Baustoffen mit vermindertem
Emissionsgrad**

T 3247

T 3247

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2010

ISBN 978-3-8167-8431-9

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Bitte beachten:

Fehlende Seiten sind **Leerseiten**,
die bei Erstellung
der PDF-Datei für den Download nicht
berücksichtigt wurden

Fraunhofer IRB Verlag

Forschungsbericht: Alterung Epsilon

Abschlussbericht

Untersuchung des Einflusses von Alterung und Verschmutzung auf das wärmetechnische Verhalten von Baustoffen mit vermindertem Emissionsgrad

Alterung Epsilon – Abschlussbericht

Thema	Untersuchung des Einflusses von Alterung und Verschmutzung auf das wärmetechnische Verhalten von Baustoffen mit vermindertem Emissionsgrad
Kurztitel	Alterung Epsilon
Auftraggeber	Deutsches Institut für Bautechnik Kolonnenstr. 30 L 10829 Berlin
Forschungsstellen	Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München Lochhamer Schlag 4 82166 Gräfelfing ift gemeinnützige Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH Theodor-Gietl-Straße 7-9 83026 Rosenheim
Projektleitung	Dr.-Ing. Martin H. Spitzner (FIW München) Dipl.-Phys. Norbert Sack (ift Rosenheim)
Bearbeitung	Dipl.-Phys. Johannes Cammerer (FIW München) Dipl.-Ing. (FH) Holger Simon (FIW München) Dipl.-Phys. Christine Lux (ift Rosenheim)

Gräfelfing, Juli 2009

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	13
2 Ausgangslage	14
2.1 Analyse der Foliendämmungen	14
2.2 Mögliche Belastungen im Labor zur Alterung von Folien	17
3 Im Rahmen des Vorhabens verwendete Alterungen	29
3.1 CUAP	30
3.2 Wechselklima nach EN 1279-2	31
3.3 Beschleunigte Alterung nach EN 13859-1	32
3.4 Freibewitterung	32
3.5 Staub	34
4 Messverfahren	36
4.1 TIR 100	36
4.2 Vergleich Messverfahren TIR 100 und spektralen Messung	38
5 Ermittlung des Emissionsgrades	40
5.1 Probenbeschreibung	40
5.2 Emissionsgrad vor der Alterung	42
5.3 Emissionsgrad nach Alterung	47
5.4 Vergleich der Resultate aus den verschiedenen Alterungsmethoden	61
6 Schlussfolgerung und Ausblick	68
7 Literaturverzeichnis	73

Kurzfassung

Durch einen niedrigen Emissionsgrad wird die mögliche Strahlungswärmeabgabe bzw. -aufnahme einer Oberfläche stark reduziert; damit reduziert sich der Gesamt-Wärmedurchgang durch das ganze Bauteil. Vor diesem Hintergrund drängen in letzter Zeit zahlreiche Bauprodukte auf den Markt, die zur Verbesserung der wärmeschutztechnischen Eigenschaften niedrigemittierende Folien oder Beschichtungen einsetzen.

Die Dauerhaftigkeit der niedrigemittierenden Eigenschaft (Alterung durch Staub, Fett, Schmutz, Korrosion, UV-Belastung, thermisch-hygrische Belastung, Stoffe aus anderen Baustoffen, etc.), die „Abdeckung“ z. B. durch Stäube, Schmutz, etc. und der Einfluss dieser Effekte auf den Emissionsgrad sind noch nicht ausreichend bekannt. Auch die geeigneten Prüfverfahren sind nur teilweise klar.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurden die Einflussparameter auf den Emissionsgrad niedrigemittierender Folien während der Gebrauchsdauer anhand verschiedener Alterungsverfahren untersucht. Im Einzelnen wurden die Proben nach CUAP, durch Wechselklima, UV-Strahlung, Wärmelagerung, Freibewitterung und Beaufschlagung mit Staub gealtert. Nach jeder Alterung wurde der Emissionsgrad der Prüfkörper bestimmt und dem Ausgangswert im Neuzustand gegenüber gestellt.

Im Folgenden werden die wesentlichen Erkenntnisse für die untersuchten Produkte stichpunktartig zusammengefasst:

- Die Änderung des Emissionsgrades mit den untersuchten Alterungsverfahren beträgt in den meisten Fällen $\Delta\varepsilon_n \leq 0,05$. Fünf Probekörper zeigen nach Wechselklima-Beanspruchung eine größere Änderung. Eine Probe wird durch UV-Bestrahlung zerstört.
- Eine Korrelation zwischen der Alterung durch Wechselklima und der ungeschützten Freibewitterung deutet sich an. Hier wäre die Empfindlichkeit der niedrigemittierenden Folien hinsichtlich Frost bzw. Frost-Tauwechsel näher zu untersuchen. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass die ungeschützte Freibewitterung eine sehr extreme Belastung darstellt.
- Die Alterung nach CUAP bewirkt im Rahmen der Messgenauigkeit keine Änderung des Emissionsgrades
- Eine minimale Verschmutzung mit dem verwendeten Probestaub bewirkt keine Veränderung des Emissionsgrades. Dickere Staubschichten und andere Arten von Verschmutzung sollten noch untersucht werden.



- Eine Überlagerung der Alterungseinflüsse wäre möglich, wird hier aber nicht weiter untersucht.
- Allein aus visuell feststellbaren Veränderungen im sichtbaren Bereich lassen sich keine zweifelsfreien Aussagen über Änderungen des Emissionsgrades treffen.
- Geringfügige Änderungen des gemessenen Emissionsgrades können aufgrund der Messunsicherheit nicht zweifelsfrei einer Änderung des tatsächlichen Emissionsgrades zugeordnet werden. Insbesondere bei niedrigen Emissionsgraden ($\epsilon_n < 0,1$) kann die relative Änderung groß sein.

Die Alterungseffekte fallen bei den untersuchten reflektierenden Folien zunächst geringer aus als erwartet. Signifikante Änderungen des Emissionsgrades sind im speziellen bei extremen Belastungen wie z.B. ungeschützte Freibewitterung, Klimawechselbelastung zu beobachten; aber auch hier nicht bei allen Proben. Zur weitergehenden Klärung sind Einflüsse wie der Frost-Tauwechsel und hier nicht untersuchte Verschmutzungen (Fette, Ruß, Salz, etc.), sowie größere Staubschichtdicken (für andere Einbausituationen), zu untersuchen.

Abstract

Through a low emissions level, possible radiated heat dissipation and/or absorption of a surface is heavily reduced so that the entire heat passage through the whole structure is reduced. Against this background, in recent times, countless construction products have been pushed onto the market that have introduced improvements to the heat insulation technological characteristics of low emitting plastics or coatings.

The durability of low emitting characteristics (ageing through dust, grease, dirt, corrosion, UV radiation, thermal-hygric stress, materials from other construction materials, etc.), the "covering", for example, as a result of dusts, dirt, etc. and the influence of this effect on the emissions level are not yet sufficiently known. Also the appropriate test methods are only partly clear.

Within the parameters of this research work the influence parameters on the emissions level of low emitting plastics during their period of use was studied by means of various ageing processes. In particular the samples were aged by CUAP, through climate change, UV radiation, heat exposure, natural weathering and impact with dust. After each ageing the emissions level of the test specimen was determined and a comparison was made to the initial value in new condition.

In the following the essential findings for the researched products are summarised in note form:

- The changes to the emissions level with the researched ageing methods in most cases amounts to $\Delta\epsilon_n \leq 0,05$. Five test specimens show a large variation after climate change exposure. One specimen was destroyed by UV radiation.
- A correlation between the ageing through climate change and the unprotected natural weathering was indicated. Here the sensitivity of the low emitting foils in regard to frost and/or variable frost-dew could be examined closer. However, it is worth noting that the unprotected natural weathering demonstrated very extreme exposure.
- Ageing by CUAP within the parameters of the measurement accuracy caused no changes to the emissions level.
- A minimal soiling with the applied sample dust caused no changes to the emissions level. Thicker dust layers and other types of soiling are yet to be examined.
- An overlapping of the ageing influence would be possible however, was not examined further here.



- From visual identifiable changes in the visible scope alone no doubt free testimony regarding changes to the emissions level was encountered.
- Insignificant changes to the measured emissions level cannot be attributed to a doubt free changing of the actual emissions level due to the uncertainty of the measurement. The relative changes can be large particularly with low emission levels ($\epsilon_n < 0,1$).

The ageing effect with the examined reflective foils at first turned out to be less than expected. Significant changes to the emissions level are observed, in particular, with extreme pollution, for example, unprotected natural weathering and climate change exposure; but also here, not with all samples. To further clarify, influences such as freeze-thaw and the soiling not examined here (grease, soot, salt, etc.), as well as larger thick dust layers (for other installation situations) are to be examined.

Abrégé

Un faible degré d'émission réduit fortement la dissipation ou l'absorption possible, par une surface, de la chaleur rayonnée ; ceci réduit la transmission thermique totale à travers l'ensemble de l'élément constructif. Dans ce contexte, de nombreux produits de construction ont ces derniers temps été lancés sur le marché, qui intègrent des feuilles ou revêtements faiblement émissifs afin d'améliorer les propriétés techniques de protection thermique.

La durabilité de la propriété Émissivité faible (vieillessement par la poussière, la graisse, les souillures, la corrosion, les ultraviolets, contrainte thermique et hygrique, substances provenant d'autres matériaux de construction, etc.), le « recouvrement » par ex. par la poussière, les souillures, etc., et l'influence de ces effets sur le degré d'émission ne sont pas encore suffisamment connus. De même, les procédés d'essai appropriés ne sont clairs qu'en partie.

Dans le cadre de ce travail de recherche ont été analysés, au moyen de différents procédés de vieillissement, les paramètres influant sur le degré d'émission propre aux feuilles faiblement émettrices pendant leur durée d'utilisation. En détails, les échantillons ont été vieillies selon la procédure CUAP, sous climat alterné, par rayonnement UV, stockage en milieu chaud, exposition en plein air aux intempéries et application d'une charge de poussière. Après chaque vieillissement, le degré d'émission des échantillons a été déterminé et comparé avec la valeur de départ du produit neuf.

Nous résumons ci-après ponctuellement les éléments de connaissance essentiels acquis sur les produits étudiés :

- La modification du degré d'émission par les méthodes de vieillissement étudiées s'élève dans la plupart des cas à $\Delta\varepsilon_n \leq 0,05$. Cinq échantillons accusent une plus forte modification après avoir été soumis à des contraintes climatiques alternées. Un échantillon a été détruit par le rayonnement UV.
- Une corrélation se dessine entre le vieillissement sous climat alterné et l'exposition en plein air, sans protection, aux intempéries. Ici, il faudrait étudier plus en détails la sensibilité des feuilles faiblement émissives au gel et/ou à l'alternance gel/dégel. A noter à ce titre toutefois que l'exposition aux intempéries en plein air, sans protection, constitue une contrainte absolument extrême.
- Le vieillissement selon la CUAP ne provoque, dans les limites de la précision de mesure, aucune modification du degré d'émission.



- Une pollution minimale avec la poudre d'essai utilisée ne modifie pas le degré d'émission. Il resterait à étudier les couches de poussière plus épaisses et d'autres types de pollution.
- Une superposition des facteurs de vieillissement serait possible, mais ne sera pas étudiée plus avant ici.
- Les seules modifications visuellement constatables dans la plage visible ne permettent pas d'émettre d'affirmations exemptes de doutes quant aux modifications du degré d'émission.
- Les modifications mineures encourues par le degré d'émission mesuré ne peuvent pas, en raison de l'incertitude de mesure, être attribuées sans doute aucun à une modification du degré d'émission effectif. En particulier avec les degrés d'émission réduits ($\epsilon_n < 0,1$), la modification relative peut être élevée.

Sur les feuilles réfléchissantes étudiées, les effets du vieillissement s'avèrent dans un premier temps inférieurs à ce que l'on attendait. On observe des modifications significatives du degré d'émission spécialement sur les échantillons exposés à des contraintes extrêmes telles que par ex. l'exposition en plein air, non protégée, aux intempéries et la contrainte climatique alternée ; et encore cette observation ne vaut-elle pas pour tous les échantillons. Pour approfondir la clarification, il faut étudier des facteurs d'influence tels que l'alternance gel/dégel et des pollutions non étudiées ici (graisses, suie, sel, etc.), ainsi que les épaisseurs de couche de poussière assez fortes (reflétant d'autres situations d'incorporation).



1 Einleitung

In letzter Zeit drängen zahlreiche Bauprodukte auf den Markt, die zur Verbesserung der wärmeschutztechnischen Eigenschaften niedrigemittierende Folien oder Beschichtungen einsetzen, je nach Produkt an der Produktoberfläche und/oder im Inneren des Produkts. Auch konventionelle Dämmstoffanbieter setzen zunehmend solche Deckschichten ein.

Durch einen niedrigen Emissionsgrad wird die mögliche Strahlungswärmeabgabe bzw. -aufnahme einer Oberfläche stark reduziert; damit reduziert sich der Gesamt-Wärmedurchgang durch das ganze Bauteil [1]-[3]. Übliche Baustoffe haben Emissionsgrade von etwa 0,9; niedrigemittierende Folien und Kaschierungen von etwa 0,03 bis 0,2 im frischen, sauberen Zustand [1]-[3].

Teilweise wird mit übertriebenen oder unklaren Aussagen zur Wirkung geworben. Herstellerangaben und vorhandene Produkt-/Bauteilmessungen an solchen Baustoffen bzw. an Bauteilen mit diesen Baustoffen erfassen i.d.R. nur den sauberen, frischen Zustand der Folien. Die Arbeitsgruppe WG12 innerhalb CEN/TC 89 erarbeitet ebenso wie die Arbeitsgruppe WG14 des CEN TC 254 Beurteilungshinweise, unter Mitarbeit von Herstellern, Wissenschaft und Prüfstellen.

Die Dauerhaftigkeit der niedrigemittierenden Eigenschaft (Alterung durch Staub, Fett, Schmutz, Korrosion, UV-Belastung, thermisch-hygrische Belastung, Stoffe aus anderen Baustoffen, etc...), die „Abdeckung“ z.B. durch Stäube, Schmutz etc., und der Einfluss dieser Effekte auf den Emissionsgrad sind noch nicht ausreichend bekannt. Auch die geeigneten Prüfverfahren sind nur teilweise klar.



2 Ausgangslage

Die im Rahmen dieses Projektes untersuchten niedrig emittierenden Folien werden im Allgemeinen in die Kategorien dampfgeschlossen und dampf offen unterteilt. Der Einbau der Folien in die Dachkonstruktion ist in Abschnitt 2.1 beschrieben.

Aufgrund der verschiedenen Einbausituationen können auch unterschiedliche Faktoren zur Alterung der niedrigemittierenden Folien beitragen. Wird zum Beispiel beim Neubau eine Folie in der Verwendung als Unterspannbahn eingebaut, könnte es vorkommen, dass bis zum Eindecken des Daches mehrere Wochen vergehen – damit wird die niedrigemittierende Folie der Witterung ausgesetzt. Auch im eingedeckten Dach bieten Risse, undichte Stellen oder lose Ziegel Angriffspunkte für Wind und Wetter. In wie weit sich Feuchte, Temperatur, UV-Licht oder Verschmutzungen auf den Emissionsgrad der niedrigemittierenden Folien auswirken, wird in Abschnitt 5.3 beschrieben. Bereits existierende Laborverfahren für diese denkbaren Alterungen an anderen Bauteilen werden in Abschnitt 2.2 beschrieben. Aus diesen wurden Prüfverfahren abgeleitet, die die Alterung der niedrigemittierenden Folien im Laborverfahren möglichst gut beschreiben sollen (siehe Kapitel 0).

2.1 Analyse der Foliendämmungen

Die am Markt erhältlichen Foliendämmungen bestehen aus einer oder mehreren Lagen, wobei mindestens eine Lage die reflektierende Schicht bildet. Die reflektierende Lage kann beispielsweise aus einer dünnen Aluminiumfolie oder einer dünnen, mit Lack beschichteten Kunststoffolie bestehen.

Bei einlagigen Produkten ist die reflektierende Schicht häufig mit einem Trägermaterial aus Kunststoff, Kraftpapier oder Vlies verbunden. Bei mehrlagigen Produkten wechseln sich in der Regel reflektierende und nicht reflektierende Schichten ab, wobei mindestens eine der beiden Außenseiten eine reflektierende Schicht bildet. Die nicht reflektierenden Zwischenlagen bilden in der Regel ein Luftpolster und bestehen meist aus Luftpolsterfolie, Kunstfaser- oder Mineralwolle, geschäumten Materialien, o. ä.

Die Lagen können miteinander verklebt, verschweißt, vernäht, usw. sein. Die Oberflächen der Foliendämmungen können eben oder strukturiert sein. Teilweise sind die Foliendämmungen perforiert.

Die Anwendungsbereiche der Dämmfolien sind nach Angabe verschiedener Hersteller die Auf- und Untersparrendämmung, Verlegung auf Außenwänden



(innen- und außenseitig mit Schalung), Verlegung im Bodenbereich (z. B. unter Holz oder Estrich) oder im Bereich der obersten Geschoßdecke.

Aus den genannten Anwendungen ergeben sich unterschiedliche Belastungen für die Dämmfolien, die zur Alterung dieser Folien führen können. Mechanische Belastungen, beispielsweise Windangriff oder Druckbelastung werden hier nicht weiter untersucht. Gegenstand dieser Untersuchung ist die Alterung der Dämmfolien hinsichtlich ihres Reflexionsvermögens bzw. Emissionsgrades.

Allen Folien gemeinsam wäre eine zeitliche Alterung, d. h. eine Veränderung gegenüber dem Ausgangszustand durch Abbau- und Zerfallsprozesse oder Oxidation. Zusätzlich können Folien, die im Außenbereich eingesetzt werden, Belastungen durch UV-Strahlung, Frost bzw. Frosttauwechsel oder Verschmutzung (Staub, Fett, Ruß, Salz, etc.) erfahren. Für bestimmte Einbausituationen im Gebäudeinneren, beispielsweise bei horizontal verlegten Dämmfolien im Bereich der obersten Geschosdecke, wäre auch eine Erhöhung des Emissionsgrades durch Schmutzablagerungen denkbar. Infolge ergäbe sich eine Erhöhung des Wärmeübergangskoeffizienten zur angrenzenden Luftschicht. Ebenso wäre es denkbar, dass die Folien in Verbindung mit anderen Baustoffen oder Bauteilen lokale Änderungen erfahren.

Teilweise sollen die Dämmfolien als Unterspannbahn die winddichte Ebene oder als innenseitige Dämmung gleichzeitig die luftdichte Ebene bilden. Die Folien sind daher fachgerecht und dicht zu verlegen. Grundsätzlich ist nach Angabe verschiedener Hersteller auf beiden Seiten der Dämmfolie eine Luftschicht von mindestens 20 mm zu berücksichtigen und ein Anliegen der Folie möglichst zu vermeiden, um eine günstige Dämmwirkung zu erzielen. Eine Ausnahme hierzu wird für die Verlegung unter Nass-Estrich angegeben.

Je nach Einsatzzweck lassen sich die Folien in verschiedene Klassen einteilen. Zweckmäßig erscheint zunächst die Einteilung in Innen- und Außenbereich. Im Folgenden sollen für diese beiden Anwendungsklassen zu erwartende Belastungen angegeben werden.

2.1.1 Kategorie I: Außenbereich

Eine Anwendung im Außenbereich ist die Einbausituation als Unterspannbahn. Durch Fugen, defekte Ziegel oder bei einem nicht eingedeckten Dach ist die Folie dem Außenklima ausgesetzt. Hierdurch können UV-Strahlung, hohe Temperatur, Frost bzw. Frosttauwechsel oder Verschmutzung (Staub, Fett, Ruß, Salz, etc.) auf die Folie einwirken und zu Alterungserscheinungen mit einer Erhöhung des Emissionsgrades führen. Das gleiche gilt für die Ein-

bausituation in einer Fassade (Außendämmung). Auch hierbei können durch Fugen, Beschädigungen oder nicht geschlossene Fassaden die genannten Belastungen auftreten. Im Folgenden ist die Einbausituation als Unterspannbahn schematisch dargestellt.

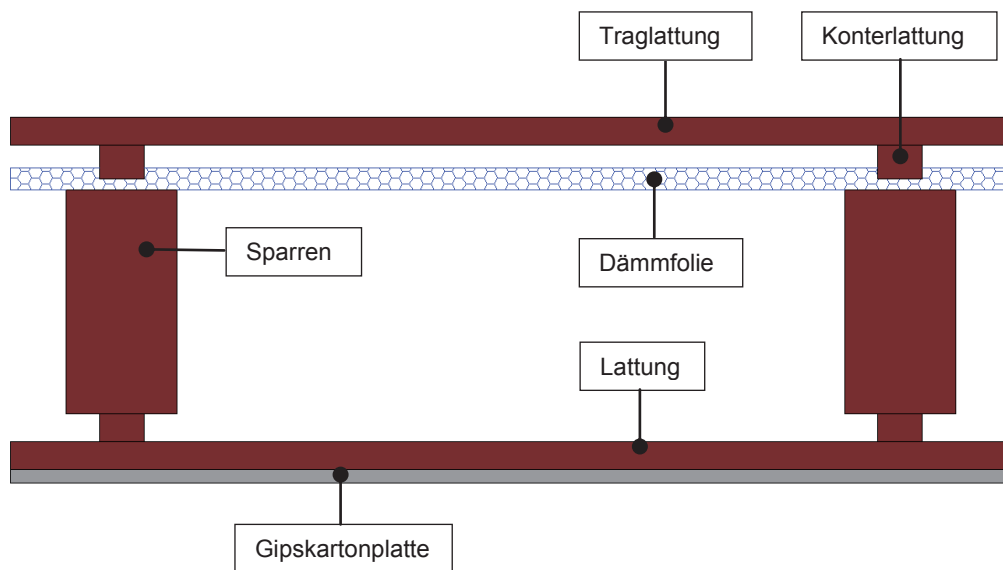


Abbildung 1 Schematische Darstellung der Einbausituation einer niedrig emittierenden Folie als Unterspannbahn

2.1.2 Kategorie II: Innenbereich

Im Innenbereich werden die Folien als Untersparrendämmung, zur Dämmung der obersten Geschossdecke, der Außenwände oder des Fußbodens verwendet. Eine Belastung durch UV-Strahlung oder hohe Temperaturen ist hier nicht zu erwarten. Eine Belastung durch Frost wäre unter extremen Bedingungen für die die Einbausituation in der obersten Geschossdecke denkbar. Eine Änderung des Emissionsgrades der Folien durch Ablagerungen (Staub, etc.) wäre möglich.

2.1.3 Übersicht: Einbausituation – Belastung

In Tabelle 1 sind häufig anzutreffende Einbausituationen für niedrigemittierende Folien und daraus resultierende Belastungen dargestellt. Diese Belastun-

gen könnten zur Alterung der Folien und einer Änderung des Emissionsgrades beitragen. Mechanische Belastungen werden hier nicht betrachtet.

Tabelle 1 Darstellung der Einbausituation und daraus resultierende mögliche Belastungen für die Folien (mechanische Belastungen werden nicht berücksichtigt). Die Aufstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Einbausituation	UV-Strahlung	Hohe Temperatur	Frost bzw. Frost-Tauwechsel	Verschmutzung (Ablagerungen)
Unterspannbahn	X	X	X	X
Wand außen (unter Fassade)	X	X	X	X
Untersparrendämmung (unter Holzdachschalung)		X	X	X
Oberste Geschossdecke zum unbeheizten Dachraum			X	X
Wand innen (unter Innenverkleidung)				X
Fußboden (Holzbalkenlage, kein Kriechkeller)				X

2.2 Mögliche Belastungen im Labor zur Alterung von Folien

Im Rahmen des Projektes erfolgte eine Recherche, welche Laborverfahren zu Alterungen von Oberflächen oder Produkten im Allgemeinen existieren und für eine künstliche Alterung von reflektierenden Folienoberflächen denkbar wären. Die folgende Aufstellung erfüllt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit.

2.2.1 Temperatur und Feuchte

Am Dach bieten vor allem undichte Stellen, Risse, lose Ziegel oder Dachpfannen Angriffspunkte für die darunterliegende Dämmung. Dringt Regenwasser ein, kann das Zusammenspiel von Temperatur und Feuchte zur Korrosion der eingesetzten Bauteile führen.

Inwieweit eine Alterung durch Temperatur und Feuchte bei niedrigemittierenden Folien stattfindet, soll im Rahmen dieses Forschungsprojekts untersucht werden. In nachfolgender Tabelle 2 sind mehrere Regelwerke aufgelistet, die



bereits existierende Prüfverfahren für die Einwirkung von Temperatur und Feuchte auf Bauteile in der Gebäudehülle beschreiben.

Tabelle 2 Regelwerke bzw. Verfahren zur Prüfung der Degradation von Bauteilen aufgrund von Temperatur und Feuchte

Regelwerk	Produkt	T in °C	relative Feuchte in %	Dauer	Prüfung zur	Ab-schnitt
CUAP	niedrig-emittierende Folie	+70	90	28 d	Alterung Emissionsgrad Produkt	2.2.1.1
EN 1096-2	Glas im Bauwesen – beschichtetes Glas	+40	„mit Wasserdampf gesättigte Atmosphäre“	≤ 21 d	Dauerhaftigkeit der Beschichtung	2.2.1.2
EN 1279-2	Glas im Bauwesen – Mehrscheiben Isolierglas	[-18, +53]	variiert	28 Zyklen und 4 Wochen	Feuchtigkeitsaufnahme beim Mehrscheiben-Isolierglas	2.2.1.3
EN 12543-4	Glas im Bauwesen - Verbundglas und Verbund-Sicherheitsglas	98,5 51	- 100 (80)	2 h 2 Wochen	Beständigkeit	2.2.1.4
Kurztest Hersteller	niedrig emittierende Folie	-	-	-	Alterung Emissionsgrad Produkt	2.2.1.5

2.2.1.1 CUAP

Für Produkte, die IR-reflektierende Komponenten besitzen und zur Wärmedämmung in der Gebäudehülle eingesetzt werden, existiert der Entwurf einer CUAP [4], in der eine künstliche Alterung beschrieben ist.

Für die Alterung wird eine Versuchsreihe von Probekörpern für 28 Tage einer Temperatur von 70 °C und einer Raumlufffeuchte von 90 % ausgesetzt. Bei Produkten mit mehreren reflektierenden Lagen sollte jede Lage einzeln gealtert und vermessen werden (außer bei identischen Lagen). Der Nennwert des



Emissionsgrads wird aus den Messungen vor ($\varepsilon_{initial}$) und nach (ε_{final}) der Alterung bestimmt: $\varepsilon_a = \max \{ \varepsilon_{initial}, \varepsilon_{final} \}$.

2.2.1.2 EN 1096-2

Diese europäische Norm [5] beschreibt ein Prüfverfahren für die Dauerhaftigkeit von beschichtetem Glas.

Vor der Prüfung muss eine Konstantklimalagerung der Prüfmuster bei einer Temperatur von $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ und einer relativen Luftfeuchte von weniger als 80 % erfolgen. Diese darf nicht länger als drei Monate andauern, die Probekörper müssen vor Staub, Chemikalien oder Kondensatbildung geschützt werden. Nach der Reinigung der Prüfmuster sollte die Prüfung unmittelbar beginnen. Die Dauer der Prüfung beträgt für die Produkte unterschiedlicher Klassen 4, 14 oder 21 Tage. Die Prüfmuster werden entsprechend der Norm in einer Prüfkammer angeordnet. Für die Prüfung in einer warmen und feuchten Atmosphäre ist eine weitgehend dampfdichte Klimakammer wichtig. Dabei müssen die verwendeten Werkstoffe korrosionsbeständig sein und dürfen nicht mit den Prüfmustern reagieren.

Für die Prüfung der Kondenswasserbeständigkeit werden die Probekörper bei konstanter Temperatur einer mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre ausgesetzt. Dadurch bildet sich auf den Proben eine durchgehende Kondensatschicht. Die Innentemperatur der Prüfkammer wird mit dem Referenz-Thermoelement auf eine Lufttemperatur von $(40 \pm 1,5)^\circ\text{C}$ geregelt. Die Referenztemperatur muss nach der EN 1096-2 innerhalb von zwei Stunden nach Beginn des Aufheizens erreicht werden. Dabei muss die Bildung von Kondensat auf den Probekörpern zu erkennen sein.

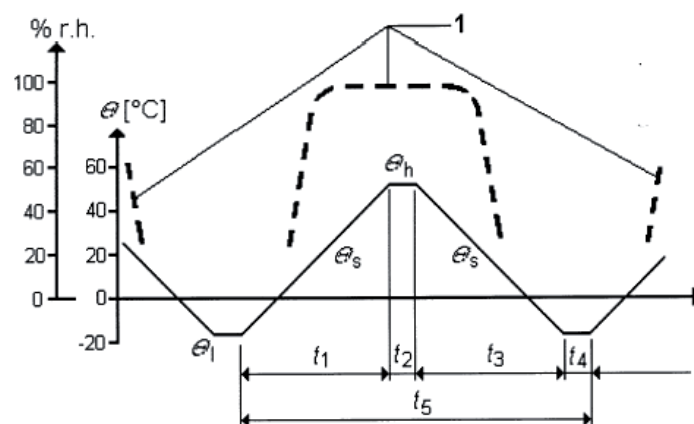
Zur Dokumentation der Prüfung sollte neben der Gesamtfläche der gleichzeitig geprüften Probekörper auch täglich die Temperatur des Referenz-Thermoelements und des Raumes, wöchentlich der pH-Wert notiert und täglich die Wasserkondensation auf den Prüfmustern überprüft werden.

2.2.1.3 EN 1279-2

Der Teil 2 der EN 1279 [6] beschreibt ein Langzeitprüfverfahren und die Anforderungen bezüglich der Feuchtigkeitsaufnahme von Mehrscheiben-Isolierglas.

Die Klimaprüfung besteht aus zwei Teilen: Im ersten Teil werden 28 je 12-stündige Temperaturzyklen zwischen -18°C und $+53^\circ\text{C}$ mit Änderungen von 14°C/h gefahren und im zweiten Teil wird die Temperatur 4 Wochen lang

konstant bei +58 °C gehalten. Auch hier wird ein Referenzthermoelement in der Mitte der Prüfkammer angebracht. Dessen Temperatur wird kontinuierlich gemessen. Ebenso wird die relative Luftfeuchte an einer geeigneten Stelle in der Prüfkammer gemessen. In Abbildung 2 sind die Werte für die Referenzmessungen angegeben. Während der Temperaturzyklen darf ab und zu Kondensation auftreten, während der gleich bleibenden Temperatur von $(58 \pm 0,5) \text{ °C}$ darf nach der EN 1279-2 ständig Kondensation auf der Oberfläche der Prüfkörper auftreten. Für ein gleichmäßiges Klima in der Prüfkammer darf der Abstand zwischen den senkrecht angeordneten Probekörper nicht weniger als 15 mm betragen.



Legende

- 1 Relative Luftfeuchte während des Temperaturzyklus. Höchstwert von $RH \geq 95 \%$. Während der Kaltphase des Zyklus wird die hohe Feuchte unterbrochen. Zeitweilige Kondensation an den Prüfscheiben ist zulässig.

Zeitintervalle: $t_1 = 5 \text{ h}$, $t_2 = 1 \text{ h}$, $t_3 = 5 \text{ h}$, $t_4 = 1 \text{ h}$, $t_5 = \text{Gesamtzykluszeit } 12 \text{ h}$

Toleranzen bei den Zeitintervallen: weniger als 1 min.

Temperaturen der mittleren Prüfscheibe während des Zyklus:

- $\Theta_h = (53,0 \pm 1,0) \text{ °C}$ (hohe Temperatur)
- $\Theta_l = (-18,0 \pm 1,0) \text{ °C}$ (niedrige Temperatur)
- $\Theta_s = (14 \pm 2) \text{ °C/h}$ (Steigungen)

Abbildung 2 Temperatur/Zeit und Feuchte/Zeit Beziehung während des Wechselzyklus [6]

2.2.1.4 EN 12543-4

Die EN 12543 Teil 4 [7] beschreibt ein Verfahren zur Prüfung der Beständigkeit von Verbundglas und Verbund-Sicherheitsglas gegenüber hohen Temperaturen und Feuchte.

Zur Prüfung bei hoher Temperatur werden drei Probekörper zwei Stunden lang auf eine Temperatur von $(98,5 \pm 1,5) \text{ °C}$ erwärmt und danach auf Raumtemperatur abgekühlt.

Bei den Prüfungen in der Feuchte werden ebenfalls drei Probekörper geprüft. Die Lufttemperatur beträgt während der zwei Wochen dauernden Prüfung (51 ± 1) °C. Es kann zwischen einer Prüfung mit oder ohne Kondensation gewählt werden. Bei der Prüfung ohne Kondensation beträgt die relative Luftfeuchte (80 ± 5) %.

2.2.1.5 Kurztest von Herstellern von „Foliendämmstoffen“

Der folgende Vorschlag für die Prüfung wird von einigen Herstellern von „Foliendämmstoffen“ angewandt. Die Probekörper werden 15 Minuten lang über einen Topf mit kochendem Wasser gehalten. Dabei zeigt die zu prüfende Seite zur Wasseroberfläche und ist dem Wasserdampf ausgesetzt. Danach werden die Proben getrocknet und vermessen.

2.2.2 Säurebeständigkeit und Neutralsalz-Sprühversuch

Falls, wie in Abschnitt 2.2.1 beschrieben, Regenwasser über undichte Stellen in das Dach eindringen kann, könnte dies zu einer Korrosion der Bauteile durch sauren Regen führen. Zusätzlich könnte ebenfalls der Salzgehalt in der Luft (vor allem in Meeresnähe) Korrosion verursachen. Im Folgenden werden Prüfungen der Säurebeständigkeit und Neutralsalz-Sprühversuche vorgestellt (siehe auch Tabelle 3).

Tabelle 3 Regelwerke zur Prüfung der Korrosionsbeständigkeit bei Neutralsalz-Sprühversuchen

Regelwerk	Produkt	T in °C	Atmosphäre	Dauer	Prüfung zur	Abschnitt
EN 1096-2	Glas im Bauwesen – beschichtetes Glas	40	SO ₂	≤ 5×24 h-Zyklen	Säurebeständigkeit	2.2.2.1
		40	neutrale Salzwasser-	≤ 21 d	Korrosionsbeständigkeit	
EN ISO 9227	metallische Werkstoffe	35	neutrale	≤ 1000 h	Korrosionsbeständigkeit von metallischen Werkstoffen mit oder ohne ständigem / temporärem Korrosionsschutz	2.2.2.2
		35	Essigsäure-			
		50	kupferbeschleunigte Essigsäure-			
			Salzsprühnebel			

2.2.2.1 EN 1096-2

Dieses Regelwerk enthält neben Prüfungen für Temperatur und Feuchte (siehe 2.2.1.2) auch eine Beschreibung zur Prüfung der Säurebeständigkeit und einen Neutralsalz-Sprühversuch [5].

Bei der Prüfung der Säurebeständigkeit nach EN 1096-2 werden die Probekörper bei konstanter Temperatur einer mit Schwefeldioxid gesättigten Atmosphäre ausgesetzt. Sowohl das Schwefeldioxid als auch das sich bildende durchgehende Kondensat kann zu einer Beschädigung der Oberfläche führen. Die Prüfung wird an vier Prüfmustern durchgeführt. Diese durchlaufen in Abhängigkeit von der Klasse einen oder fünf 24 h-Zyklen. Ein Zyklus besteht aus einer Hochtemperaturphase mit Kondensation und einer Raumtemperaturphase ohne Kondensation (siehe Abbildung 3).

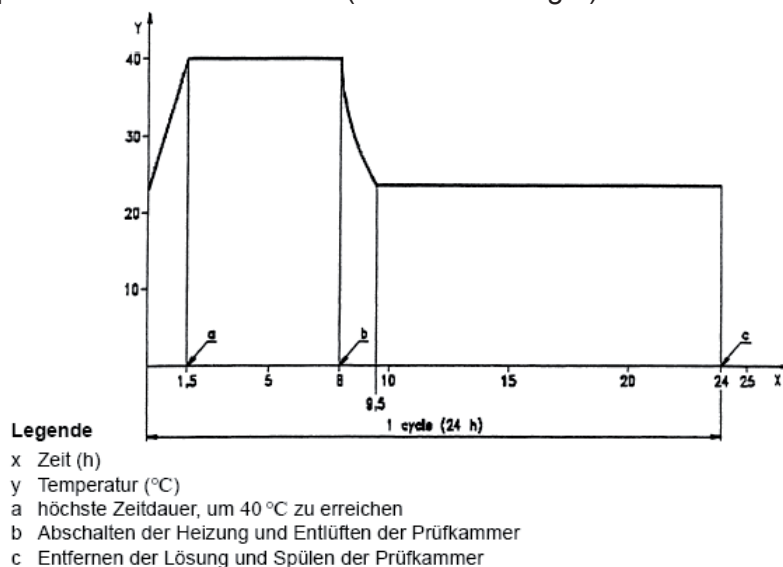


Abbildung 3 Temperaturzyklus für Säurebeständigkeitstest nach EN 1096-2 [5]

Beim Neutralsalz Sprühversuch nach EN 1096-2 werden die Prüfmuster bei konstanter Temperatur einer neutralen Salzwasser - Atmosphäre ausgesetzt, wobei dieser Salzwasser-Sprühnebel die Beschädigung der Oberflächenbeschichtung bewirken kann. Die Dauer des Tests beträgt für die unterschiedlichen Klassen 10 oder 21 Tage.

Vor Beginn der Prüfung muss die Prüfkammer 24 Stunden leer betrieben werden. Die Sprühdüse muss mit einem Prallblech ausgestattet sein, damit der Strahl nicht direkt auf die Prüfmuster trifft.



2.2.2.2 EN ISO 9227

Dieses Regelwerk beschreibt die Durchführung der neutralen Salzsprühnebelprüfung (NSS, *neutral salt spray*), Essigsäure-Salzsprühnebelprüfung (AASS, *acetic acid salt spray*) und der kupferbeschleunigten Essigsäure-Salzsprühnebelprüfung (CASS, *copper-accelerated acetic acid salt spray*) [8]. Anhand der EN ISO 9227 kann die Korrosionsbeständigkeit von metallischen Werkstoffen mit oder ohne ständigem Korrosionsschutz oder mit temporärem Korrosionsschutz bestimmt werden.

Die Maße der Proben, die für ein bestimmtes Produkt anzuwendende Dauer der Beanspruchung oder die Interpretation der Ergebnisse werden nach der EN ISO 9227 nicht festgelegt. Alle Salzsprühnebelverfahren sind geeignet zum vergleichenden Prüfen, ob die Qualität eines metallischen Werkstoffes beibehalten wird. Sie ist nicht dazu gedacht, unterschiedliche Werkstoffe hinsichtlich ihrer Korrosionsbeständigkeit einzustufen. Besonders Schwachstellen wie Poren und anderen Schäden in bestimmten metallischen Überzügen und organischen Beschichtungen sowie anodischen Oxidschichten und Umwandlungsschichten können mit der Salzsprühnebelprüfung bewertet werden.

Nach der EN ISO 9227 sind die Anzahl und die Art der Proben, ihre Formen und ihre Maße entsprechend der Spezifikationen für den zu prüfenden Werkstoff oder das zu prüfende Produkt zu wählen. Die Proben sind vor dem Prüfen gründlich zu reinigen, falls nicht anders festgelegt. Auch hier gilt analog zur EN 1096-2 [5], dass die Proben so anzuordnen sind, dass sie nicht direkt vom Sprühstrahl der Düse getroffen werden. Die zu prüfende Oberfläche soll vollständig dem Sprühnebel ausgesetzt werden. Die Betriebsbedingungen und Dauer der Tests sind in nachfolgender Tabelle beschrieben.

Die Empfehlung für die Dauer der Beanspruchung lauten (in h): 2, 6, 24, 48, 96, 168, 240, 480, 720, 1000. Während der Prüfung darf das Sprühen nicht unterbrochen werden.



Tabelle 4 Betriebsbedingungen und Dauer der Tests [8]

Prüfverfahren Einzelheit	Neutrale Salzsprühnebelprüfung (NSS-Prüfung)	Essigsäure-Salzsprühnebelprüfung (AASS-Prüfung)	Kupferbeschleunigte Essigsäure-Salzsprühnebelprüfung (CASS-Prüfung)
Temperatur	$(35 \pm 2) ^\circ\text{C}$	$(35 \pm 2) ^\circ\text{C}$	$(50 \pm 2) ^\circ\text{C}$
Durchschnittliche Auffangmenge bei einer horizontalen Auffangfläche von 80 cm ²	$(1,5 \pm 0,5) \text{ ml/h}$		
Natriumchlorid-Konzentration (aufgefangene Lösung)	$(50 \pm 5) \text{ g/l}$		
pH-Wert (aufgefangene Lösung)	6,5 bis 7,2	3,1 bis 3,3	3,1 bis 3,3

2.2.3 Bestrahlungstests

Obwohl in einem Dach wenig bis gar keine UV-Belastung zu erwarten ist, scheint es dennoch sinnvoll, eine mögliche Alterung durch Strahlung im UV Bereich in Betracht zu ziehen. Denn durch unsachgemäße Lagerung der Folien bzw. bei einer langen Zeitspanne zwischen Einbau der Folien und Eindeckung kann durchaus eine hohe UV-Belastung auf die niedrig emittierenden Folien einwirken. Tabelle 5 gibt eine kurze Übersicht über mögliche Prüfverfahren.

Tabelle 5 Regelwerke zur Prüfung der Bestrahlung mit simulierter Solarstrahlung

Regelwerk	Produkt	T in °C	Leistung in W/m ²	Dauer	Prüfung zur	Ab-schnitt
EN 1096-3	Glas im Bauwesen – beschichtetes Glas	56	900	1000 (2000) h	Beständigkeit bei Bestrahlung	2.2.3.1
EN 12543-4	Glas im Bauwesen - Verbundglas und Verbund-Sicherheitsglas	45	900	2000 h	Beständigkeit bei Bestrahlung	2.2.3.2
EN ISO 4892-2	Kunststoffe	optional	500	optional	Künstliches Bestrahlen oder Bewittern in Geräten	2.2.3.3

2.2.3.1 EN 1096-3

In der EN 1096-3 [9] werden Bestrahlungstests für beschichtetes Glas definiert. Die spektrale Verteilung der Globalstrahlung und die prozentualen Anteile von UVB- und UVA-Strahlung ist in Tabelle 6 angegeben.

Die gemessene Gesamtstrahlungsdichte auf der Oberfläche der Prüfmuster muss $(900 \pm 100) \text{ W/m}^2$ betragen. Die Prüfmuster müssen nach der EN 1096 – 3 so angeordnet werden, dass die zu prüfende Seite der Strahlungsquelle zugewandt ist. Auf einer Referenzprobe wird ein Thermoelement angebracht, dessen Temperatur stets $(56 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ betragen muss. Während ein Prüfmuster bestrahlt wird, muss ein Referenzmuster im Dunkeln bei $(23 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ aufbewahrt werden. Es existieren 2 mögliche Prüfaufbauten, die Prüfung dauert $(2000 \pm 24) \text{ h}$.

Tabelle 6 spektrale Verteilung der Globalstrahlung nach [9]

Strahlung	Wellenlängenbereich in nm	Prozentualer Anteil der Gesamtenergie in %
UVB	280 – 315	1 – 4
UVA	315 – 380	3 – 9
VIS, IR	> 380	Ausgleich der Differenz zu 100

2.2.3.2 EN 12543-4

Ein Verfahren zur Prüfung der Beständigkeit von Verbundglas und Verbund-Sicherheitsglas wird im Teil 4 der EN 12543 [7] beschrieben.

Drei Probekörper werden der Bestrahlung mit simulierter Sonnenstrahlung ausgesetzt. Für reproduzierbare und vergleichbare Prüfergebnisse sollten die Strahlungsquelle(n) nach der EN ISO 12543-4 eine spektrale Verteilung wie in **Tabelle 7** aufweisen. Die Bestrahlung sollte 2000 Stunden dauern. Dabei muss die Temperatur der Probekörper etwa $(45 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ und die Strahlungsintensität in der Probekörperebene $(900 \pm 100) \text{ W/m}^2$ betragen.



Tabelle 7 spektrale Verteilung der Strahlungsquelle(n) nach EN ISO 12543-4 [7]

Strahlung	Wellenlängenbereich in nm	Prozentualer Anteil der Gesamtenergie in %
UVB	280-315	3 ± 1
UVA	315 – 380	8 ± 1
Sichtbarer Bereich	380 – 780	18 ± 1
IRA	780 – 1400	24 ± 2
IRB	1400 – 2600	27 ± 4
IRC	> 2600	20 ± 3

2.2.3.3 EN ISO 4892 – 2

Die EN ISO 4892-2 [10] ist ein Regelwerk für Kunststoffe und beschreibt deren künstliche Bewitterung oder Bestrahlung in Geräten. Sie bietet zwei Verfahren zur Simulation von Bestrahlung im Freien an. Für die Simulation der Sonnenstrahlung sollte eine Strahlungsquelle mit gleicher spektraler Verteilung wie das Tageslicht verwendet werden. Zur Simulation von Bestrahlung des Tageslichts durch ein Fensterglas wird eine Strahlungsquelle mit einem Filter verwendet, der dafür sorgt, dass der Anteil an Licht bei Wellenlängen unterhalb von 320 nm gegen Null geht.

In der Prüfkammer sollte die an einem Schwarzstandard gemessene Temperatur über eine Lüftung kontrolliert werden. Die relative Feuchte muss gemessen und konstant gehalten werden. Darüber hinaus ist es möglich, die Probekörper mit destilliertem oder demineralisiertem Wasser zu besprühen. Falls ein Sprühzyklus oder eine Flutung gewünscht wird, kann dieser von den Vertragspartnern festgelegt werden, er sollte jedoch mindestens (18 ± 0,5) min dauern. Die Trockenphase sollte mindestens (102 ± 0,5) min andauern. Die Temperatur des Schwarzstandards kann ebenso durch die Vertragspartner festgelegt werden, empfohlen werden jedoch (65 ± 3) °C oder (100 ± 3) °C. Falls es einen Sprühzyklus gibt, gelten diese Temperaturen am Ende der Trockenphase. Die relative Luftfeuchte kann ebenso von den Vertragspartnern festgelegt werden, empfohlen sind jedoch (50 ± 5) % oder (65 ± 5) %.

Nach der EN ISO 4892-2 ist es auch möglich, Dunkelphasen einzuführen. In diesen Phasen wird durch das Abschalten der Strahlungsquelle die Bildung von Kondensat aufgrund der hohen Luftfeuchte und Temperatur ermöglicht.

2.2.4 Freibewitterung

Wie in Abschnitt 2.1 beschrieben, gibt es für Folien mit niedrigemittierenden Oberflächen verschiedene Einbausituationen. Zwischen dem Einbau der Folien und der vollständigen Eindeckung des Daches können mehrere Wochen vergehen, in denen die Folien dann vollständig der Witterung ausgesetzt sind. In Tabelle 8 sind zwei Regelwerke zur Freibewitterung von Produkten aufgeführt.

Tabelle 8 Regelwerke zur Freibewitterung von Produkten

Regelwerk	Produkt	Dauer	Prüfung zur	Abchnitt
DIN EN 927-3	Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für Holz im Außenbereich	1 Jahr	Freibewitterung	2.2.4.1
DIN EN ISO 2810	Beschichtungsstoffe	≥ 1 Jahr	Freibewitterung von Beschichtungen	2.2.4.2

2.2.4.1 DIN EN 927-3

Die DIN EN 927-3 [11] beschreibt die Freibewitterung von Beschichtungsstoffen und Beschichtungssystemen für Holz im Außenbereich. Durch Freibewitterung wird die Beständigkeit eines Beschichtungssystems geprüft. Die Dauer der Freibewitterung beträgt 12 Monate. Nach der DIN EN ISO 2810 [12] werden die Bewitterungsgestelle um einen Winkel von 45 ° zur Horizontalen geneigt, die Proben sind in Richtung des Äquators zu richten.

Es werden drei Probekörper freibewittert und ein Referenzmuster im Innenraum bei einer Temperatur von $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ und einer relativen Luftfeuchte von $(65 \pm 5) \%$ gelagert. Das Datum von Beginn und Ende der Prüfung sind festzuhalten. Die Probekörper werden nach der Freibewitterung zuerst im ungewaschenen Zustand untersucht und beurteilt, danach werden die Probekörper gewaschen und erneut beurteilt.

2.2.4.2 DIN EN ISO 2810

Die Freibewitterung direkt oder hinter Fensterglas wird in der DIN EN ISO 2810 [12] beschrieben. Dabei werden die Bedingungen festgelegt, die bei der Prüfung der Beständigkeit von Beschichtungen berücksichtigt werden müs-



sen. So müssen der Ort des Bewitterungsstandes, Höhe, Neigungswinkel und Ausrichtung des Bewitterungsgestells, die Beschaffenheit des Bodens, der Abstand der Probekörper zum Boden und der Verwendungszweck der Beschichtung beachtet werden.

Die Dauer der Freibewitterung soll mindestens ein Jahr betragen. Durch eine lange Freibewitterung werden Unterschiede in den Ergebnissen durch die Jahreszeit verringert. Die Freibewitterung kann auch nach dem Erreichen eines gewissen Grades an Schädigung oder nach dem Erreichen einer bestimmten Bestrahlungsdauer beendet werden. Werden die Probekörper während der Freibewitterung abgewaschen oder poliert, muss dies vermerkt werden, da die Beständigkeit dadurch beeinflusst werden kann.

Die Freibewitterungsgestelle werden so aufgestellt, dass die Probekörper zum Äquator ausgerichtet sind. Sämtliche Halterungen müssen aus korrosionsbeständigen Werkstoffen sein. Die Anbringung der Proben muss so erfolgen, dass kein Wasser von einer Probe auf einen anderen Probekörper tropft und dass die Atmosphäre ungehindert auf die Probekörper einwirken kann. Die Probekörper sollen mindestens 0,45 m über dem Geländeniveau angebracht werden bzw. sollte sichergestellt werden, dass zwischen Vegetation und Probekörpern kein Kontakt besteht. Der Boden unterhalb der Probekörper darf Strahlung nur wenig reflektieren und muss eine klimatypische Beschaffenheit aufweisen. Die Neigung der Probekörper beträgt 45 ° zur Horizontalen.

Für Prüfungen hinter Fensterglas werden die Gestelle mit Fensterglas abgedeckt.

Die Anzahl der Probekörper soll entsprechend der Art der zu prüfenden Eigenschaft ausgewählt werden. Wie oft ein Prüfverfahren vor, während und nach der Freibewitterung durchzuführen ist, spielt ebenfalls eine Rolle bei der Wahl der Anzahl der Probekörper. Wenn nichts festgelegt wurde, müssen mindestens drei Probekörper verwendet werden.

2.2.5 DIN EN 13859-1

Falls bei einem Schrägdach die Eindeckung für längere Zeit fehlt oder diese beschädigt ist, kann auf die offen liegende Unterspannbahn UV-Strahlung einwirken. Die Unterspannbahn kann bei ausreichend langer Einwirkung der UV-Strahlung geschädigt werden. Die künstliche Alterung von Unterspannbahnen wird in DIN EN 13859-1:2009-01 Anhang C [13] beschrieben. Nach der Norm werden die Proben in zwei Schritten gealtert. Zunächst werden die

Prüfkörper bei erhöhter Temperatur und ohne Befeuchtung einer kontinuierlichen UV-Strahlung mit UV-Leuchtstofflampen des Typs I (340 nm) ausgesetzt. Die Bestrahlungsdauer beträgt 336 Stunden, bei einer Schwarzstandard-Temperatur von (50 ± 2) °C. Anschließend werden die Proben einer Langzeitbeanspruchung durch Wärme ausgesetzt. Die Dauer beträgt 90 Tage, bei einer Temperatur von (70 ± 2) °C. Die Luftströmung soll stetig und laminar sein. Die Geschwindigkeit sollte 0,05 m/s nicht überschreiten.

Die Norm gibt weitere Prüfverfahren an, beispielsweise die Ermittlung des Widerstandes gegen Wasserdurchgang, des Zug-Dehnungsverhaltens und des Widerstandes gegen Weiterreißen. Diese Prüfungen sind jedoch nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

2.2.6 Weitere Regelwerke

Mögliche weitere Regelwerke, auf die im Rahmen dieses Vorhabens nicht näher eingegangen wird, sind in Tabelle 9 aufgeführt. Diese Regelwerke bieten zusätzliche Möglichkeiten, Oberflächen oder Produkte im Allgemeinen im Laborverfahren zu altern.

Tabelle 9 weitere Regelwerke zur künstlichen Alterung von verschiedenen Produkten

Regelwerk	Kurzbeschreibung
EN 1096-2	Abriebfestigkeit von Oberflächenbeschichtungen bei Glas im Bauwesen
ISO 3537	Abriebfestigkeit von Oberflächenbeschichtungen
ASTM C724-91	Säurebeständigkeit
ASTM D1044-08	Standardprüfung für die Beständigkeit transparenter Kunststoffe bei Abrieb
ASTM D903-98	Beständigkeit bei Klebeband
ASTM B571-97(2008)e1	Standardprüfung für Haftung auf metallischen Beschichtungen
DIN 52347	Abriebtest für Glas und Kunststoffe
DIN ISO 4599, 4600, 6225	Kunststoffe Spannrissbildung (ESC)
DIN EN ISO 11403-3	Kunststoffe - Ermittlung und Darstellung vergleichbarer Vielpunkt-Kennwerte –Umgebungseinflüsse auf Eigenschaften
DIN EN ISO 877	natürlichen Bewitterung von Kunststoffen



3 Im Rahmen des Vorhabens verwendete Alterungen

Aus den vielen, in Kapitel 2.2 aufgeführten Prüfungen zur Alterung von Bauteilen wurden im Rahmen dieses Forschungsprojekts verschiedene Verfahren ausgewählt, um eine mögliche Alterung an niedrig emittierenden Folien im Laborversuch zu untersuchen (siehe Tabelle 10). Auswahlkriterien waren hierbei die Anwendbarkeit / Übertragung der Prüfung auf die Folien, das Nutzen bereits vorhandener Prüfeinrichtungen und vor allem die Durchführung einer realistischen Alterung im Labor, die die realen Einflüsse von Wind, Wetter und Verschmutzung auf die Folien im Dach beschreiben können.

Tabelle 10 Im Rahmen des Vorhabens angewandte Belastungen

Regelwerk	Belastung	detaillierte Beschreibung des Versuchs in
CUAP	Temperatur, Feuchte	3.1
EN 1279-2	Temperatur, Feuchte	3.2
EN 13859-1	UV-Strahlung, Temperatur	Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.
EN 927-2	Freibewitterung geschützt und ungeschützt	3.4
	Staub	3.5

Eine Prüfung der Alterung durch Säure und Neutralsalz-Sprühversuche wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt. Eine Alterung in Anlehnung an diesen Prüfungen könnte sich in Einzelfällen durchaus als sinnvoll erweisen, da Belastungen durch eine Säure- oder Salzatmosphäre abhängig vom Einsatzgebiet der Folie auftreten kann.

3.1 CUAP

Für die künstliche Alterung nach CUAP (siehe Abschnitt 2.2.1.1) wurden die Probekörper senkrecht, frei hängend an einem Gestell aus Edelstahl mit Klammern befestigt. Die Proben waren in einem Abstand von ca. 5 cm aufgehängt, um eine ausreichende Luftzirkulation sicherzustellen.

Zur Durchführung der künstlichen Alterung wurde das Gestell mit den daran befestigten Probekörpern für 28 Tage in einen Klimaschrank gestellt. Die Belastung durch Temperatur und Feuchte wurde in diesem Zeitraum konstant bei 70 °C bzw. 90 % relativer Feuchte gehalten.

3.2 Wechselklima nach EN 1279-2

Diese Prüfung wurde in Anlehnung an die EN 1279-2 durchgeführt (Beschreibung siehe Abschnitt 2.2.1.3).

Probekörper im Format DIN A4 wurden 5 Wochen lang im Wechselklimaschrank belastet. Es wurden 70 je 12-stündige Temperaturzyklen zwischen -18 °C und +53 °C mit Änderungen von 14 °C/h gefahren. Während eines Zyklus' schwankte die relative Luftfeuchte in der Kammer immer zwischen 60 % und 100 %. Nach Beendigung der Wechselklimaprüfung wurden die Proben anschließend eine Woche im Konstantklimaschrank bei +58 °C und 100 % relativer Luftfeuchte gelagert.

Die Proben wurden in einen geeigneten Ständer eingehängt, so dass diese weder untereinander noch mit anderen Probekörpern oder deren Kondensat in Berührung kommen konnten (siehe Abbildung 4). Der Abstand zwischen den Probekörpern betrug etwa 5 cm, hierdurch wurde eine ausreichende Luftzirkulation gewährleistet.



Abbildung 4 Eingebaute Probekörper im Wechselklimaschrank



3.3 Beschleunigte Alterung in Anlehnung an EN 13859-1

Um den Einfluss von UV-Strahlung auf den normalen Emissionsgrad der hier vorliegenden Proben zu untersuchen, wurden die Probekörper in Anlehnung an DIN EN 13859-1:2009-01 Anhang C gealtert (vgl. Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Hierzu wurden die Proben mittels eines Halterahmens in ein Schnellbewitterungsgerät eingebaut. Die Probekörper wurden in fast senkrechter Position 336 Stunden kontinuierlich mit UV-Licht, bei einer Schwarzstandard-Temperatur von 50 °C, bestrahlt. Dies entspricht einer Gesamtbestrahlung von 55 MJ/m². Eine Wassersprühvorrichtung war nicht in Betrieb. Anschließend wurden die Probekörper für die Dauer von 90 Tagen bei einer Temperatur von 80 °C, (d. h. 10 °C mehr als nach DIN EN 13859-1), in einen belüfteten Wärmeschrank eingebaut. Die Einbauposition war vertikal. Die Luftströmung war stetig und laminar mit einer Geschwindigkeit von 0,05 m/s.

3.4 Freibewitterung

Die Prüfung der Beständigkeit eines Beschichtungssystems durch Freibewitterung wird in der EN 927-3 beschrieben. Für die Umsetzung dieser Prüfung auf die niedrigemittierenden Folien wurden zwei Einbausituationen bedacht.

Ein Teil der Probekörper wurde am 23. September 2008 geschützt vor Niederschlag und UV-Strahlung eingebaut. Dazu wurden Kästen verwendet, die bis auf jeweils sechs Löcher mit einem Durchmesser von 3,5 cm komplett verschlossen sind (siehe Abbildung 5). Da sich diese Löcher nur auf der dem Boden zugewandten Seite befinden, können Luftfeuchte, Luftdruck, Luftverschmutzung und Temperatur auf die Proben einwirken. Diese Proben (siehe Abbildung 6) sollen zeigen, ob bei „im Dach geschützt eingebauten“ Folien innerhalb kurzer Zeit eine Änderung des Emissionsgrades auftritt.

Ebenso wurden Proben am 13. Oktober 2008 auf dem Labordach des ift Rosenheims in einer ungeschützten Freibewitterung installiert (siehe Abbildung 7). Somit wirken zusätzlich zu den Lasten im geschützten Einbau die Belastungen aus Solarstrahlung und Niederschlag auf die Probekörper ein.

Alterung Epsilon

3 Im Rahmen des Vorhabens verwendete Alterung

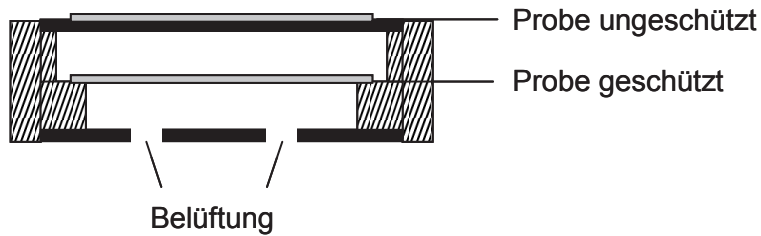


Abbildung 5 Querschnitt eines Kastens (schematische Darstellung)



Abbildung 6 Geschützt eingebaute Proben für den Freilandversuch

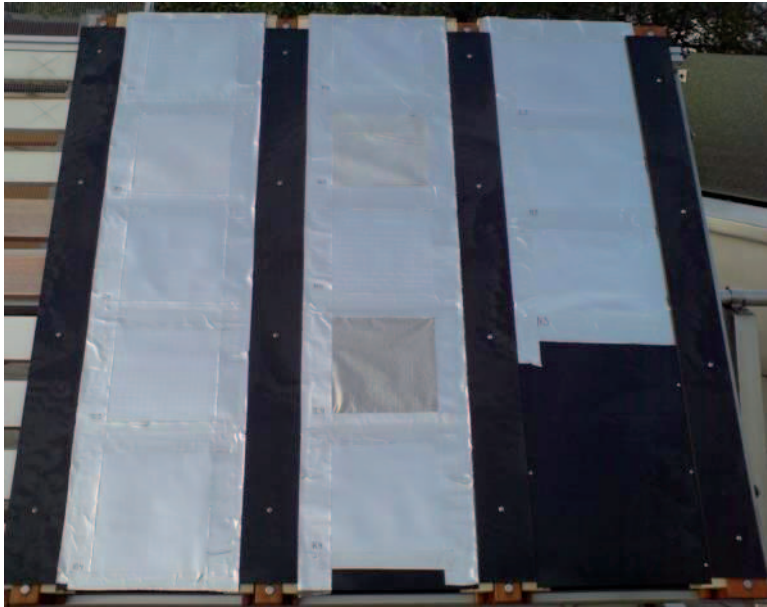


Abbildung 7 Der Witterung ausgesetzte Proben für den Freilandversuch

3.5 Staub

Bei der Alterung durch Staub wurde insbesondere die Einbausituation einer Unterspannbahn betrachtet. Der Staub bestand daher aus Materialien, die im Ziegeldach vorkommen können. Zur Herstellung des Probestaubes wurden jeweils ca. 33 Vol.-% Ziegelmehl, Holzmehl und abgebundener Mörtel verwendet. Andere Verschmutzungen wie Fette, Salze, Ruß oder dicke Staubschichten im Bereich oberer Geschosdecken könnten Gegenstand weiterer Forschungsvorhaben sein.

Zur Durchführung der Untersuchung wurden die Probekörper vollflächig mit einer dünnen Staubschicht benetzt. Um festzustellen, ob die Oberflächen der Folien bei andauernder Staubablagerung chemisch angegriffen oder anderweitig gealtert werden, wurden die Proben nach CUAP (vgl. Abschnitt 3.1) 28 Tage bei 70 °C und 90 % rel. F. im Klimaschrank gelagert. Damit der Staub während dieser Zeit auf den Proben liegen bleibt, wurden die Probekörper horizontal in flachen Wannen eingebaut. Um sicherzustellen, dass der Staub nicht durch Luftbewegungen verblasen wird, waren die Wannen mit einem feinmaschigen Gewebe abgedeckt.

Durch diese Vorgehensweise wurden die Probekörper zweifach gealtert, zum einen durch die Klimaalterung nach CUAP und zum anderen durch den Staub selbst. Der Einfluss der reinen Klimaalterung nach CUAP wurde, wie in Abschnitt 3.1 beschrieben, separat untersucht. Daher sollte es möglich sein, eine

darüber hinausgehende Änderung des normalen Emissionsgrades dem Einfluss des Staubes zuzuordnen. Abbildung 8 zeigt einen vollflächig mit Staub bedeckten Probekörper.

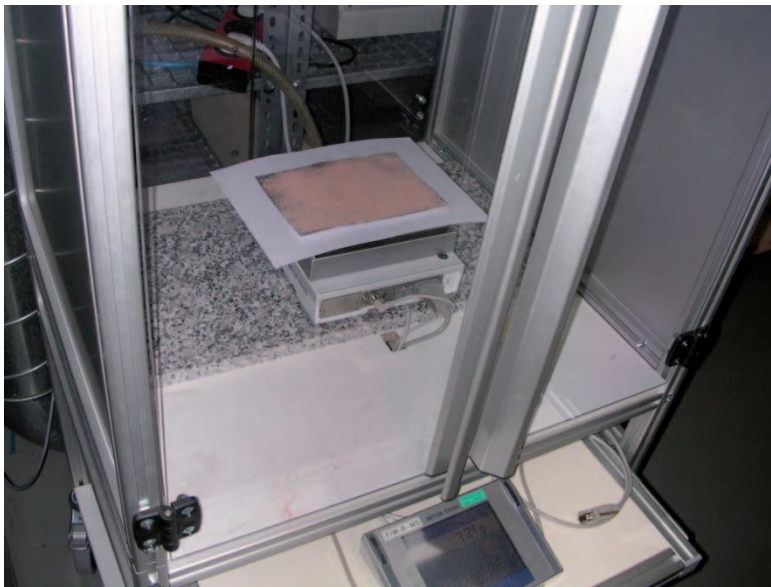


Abbildung 8 Mit dem Versuchsstaub bedeckte Probe, hier auf einer Waage



4 Messverfahren

Der Emissionsgrad eines realen Körpers wird definiert durch das Verhältnis der abgegebenen Strahlungsleistung des realen Körpers zur abgegebenen Strahlungsleistung eines schwarzen Körpers gleicher Fläche und Temperatur [1]-[3]. Da die abgegebene Wärmestrahlung eines realen Körpers meist wellenlängen- und richtungsabhängig ist, existieren verschiedene messtechnische Verfahren zur Ermittlung des Emissionsgrades eines realen Körpers [4]. Nach [1] werden im Allgemeinen im Bauwesen Temperaturen nicht höher als 100°C erwartet. Im Rahmen des Vorhabens wurde als Messmethode eine integrale Messung des normalen Emissionsgrades ε_n mit einem 100°-Strahler (TIR 100) ausgewählt (siehe 4.1).

4.1 TIR 100

4.1.1 Messprinzip

Die zu messende Oberfläche wird für wenige Sekunden der 100 °C - Wärmestrahlung eines schwarzen Körpers ausgesetzt. Um eine vollständige, homogene Ausleuchtung der Messfläche zu erhalten, ist der Strahler in Form eines sphärischen Halbraumes gestaltet. Dadurch werden auch raue und strukturierte Oberflächen messbar. Ein Teil der reflektierten Strahlung trifft durch eine Öffnung im Strahler auf den Strahlungssensor [14].

Die Bestimmung des Emissionsgrades ergibt sich aus dem Vergleich der Reflexionswerte der Probe mit den gespeicherten Referenzwerten zweier kalibrierter Standards.

Der spektrale Messbereich des TIR 100 erstreckt sich laut Hersteller von 2,5 bis 40 μm . Mit einer Genauigkeit von $\pm 0,005$ bzw. $\pm 0,002$ beim TIR 100-2 können Emissionsgrade im Bereich von 0,020 bis 0,980 gemessen werden (Herstellerangaben). Die im Handbuch angegebene, geringe Messgenauigkeit ($\pm 0,002$), konnte in den Messreihen und Wiederholungsmessungen des FIW München nicht bestätigt werden und erscheint uns zu niedrig angesetzt. Hier sehen wir noch Bedarf, diesen Punkt durch spezifische Untersuchungen zur Messgenauigkeit und zur Wiederholungsgenauigkeit zu klären.

Aufgrund der Anordnung des Sensors unter einem Winkel von ca. 12° zur Flächennormalen wird bei der Messung der normale Emissionsgrad ε_n ermittelt.

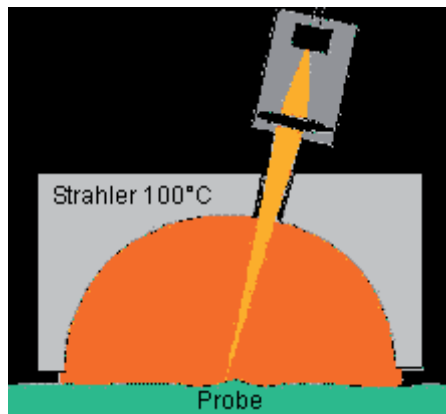


Abbildung 9 Darstellung des Messprinzips [13]

4.1.2 Durchführung der Messung

Während der Durchführung der Messungen hat sich gezeigt, dass sich einige Probekörper aufgrund ihrer Dämmeigenschaften und der durch ihren Aufbau verminderten Wärmekapazität stark erwärmen. Der folgende Aufbau und die Messdurchführung haben sich als gut geeignet erwiesen.

Während des Aufwärmens des Strahlers, der Kalibrierung und der Messung bleibt der Hohlraumstrahler stets in einer waagerechten Position. Dadurch wird gewährleistet, dass der Sensor stets in der gleichen Position bleibt. Bei den Messungen sollte darauf geachtet werden, dass während der Durchführung das Messergebnis nicht durch Absorption der Wärmestrahlung verfälscht wird. Proben mit hohem Emissionsgrad können während der Messzeit so viel Wärmestrahlung absorbieren, dass sich ihre Temperatur verändert. Im Detektor wird dann nicht nur die reflektierte Wärmestrahlung des Hohlraumstrahlers, sondern auch die emittierte Wärmestrahlung der Probe selbst detektiert.

Die Erwärmung der Probe kann vermieden werden, wenn zum Einen der Probekörper an einen Festkörper mit hoher Wärmekapazität, z.B. einer Aluminiumplatte, angekoppelt wird, um absorbierte Energie sofort wieder abzuführen. Und zum Anderen, wenn der Hohlraumstrahler während der Integrationszeit in einer angemessenen Geschwindigkeit über die Probenoberfläche geführt wird und hiermit die zu messende Probenoberfläche immer Raumtemperatur besitzt.



4.2 Vergleich Messverfahren TIR 100 und spektralen Messung

Die Validierung der integralen Messung mittels TIR 100 erfolgte durch Vergleich dieser Messergebnisse mit Ergebnissen von spektralen Messungen. Diese Untersuchungen erfolgten im Rahmen eines Rundversuches durch CEN/TC 254/WG 14.

Zeitgleich zum diesem Forschungsvorhaben beschäftigte sich die Arbeitsgruppe CEN/TC 254/WG 14 mit der Analyse verschiedener Messverfahren zur Bestimmung des Emissionsgrades an niedrigemittierenden Folien. Hierzu wurden unterschiedliche Messverfahren angewandt und verglichen. Neben der integralen Messung des Emissionsgrades mit dem TIR 100 erfolgte eine spektrale Messung des Emissionsgrades von ausgewählten Proben.

Abbildung 10 zeigt die integral und spektral gemessenen Emissionsgrade. Die schwarzen, geschlossenen Kreise stellen die mittels integraler Messung mit dem TIR 100 ermittelten Mittelwerte der Emissionsgrade dar. Die roten, offenen Kreise zeigen Mittelwerte des Emissionsgrades an den gleichen Proben, ermittelt mittels spektraler Messung. Die integralen und spektralen Messungen wurden an mehreren Instituten durchgeführt. Die Fehlerbalken zeigen die jeweilige Standardabweichung aus den Messungen. Aus dem Vergleich der Ergebnisse wird deutlich, dass die mit dem TIR 100 gewonnenen Messergebnisse im Rahmen der Messgenauigkeit in der Regel eine gute Übereinstimmung mit den spektralen Messergebnissen liefert.

Abbildung 11 vergleicht die TIR 100 Messergebnisse des ift Rosenheim (schwarze, geschlossene Kreise) mit den entsprechenden Mittelwerten der TIR 100 Messung der Arbeitsgruppe CEN/TC 254/WG 14 (rote, offene Kreise). Eine gute Übereinstimmung der Messergebnisse kann festgestellt werden.

Aufgrund dieser vergleichenden Messungen kann der Fehler bei Messungen mit dem TIR 100 mit drei Prozentpunkten angenommen werden.

Im Rahmen dieses Vorhabens sind vor allen Dingen relative Aussagen von vorrangiger Bedeutung. Die durch den Rundversuch gewonnenen Erkenntnisse bestärken die Wahl des TIR 100 als geeignetes Messverfahren. Darüber hinaus ist die Messung mit dem TIR 100 kostengünstig und schnell durchzuführen.

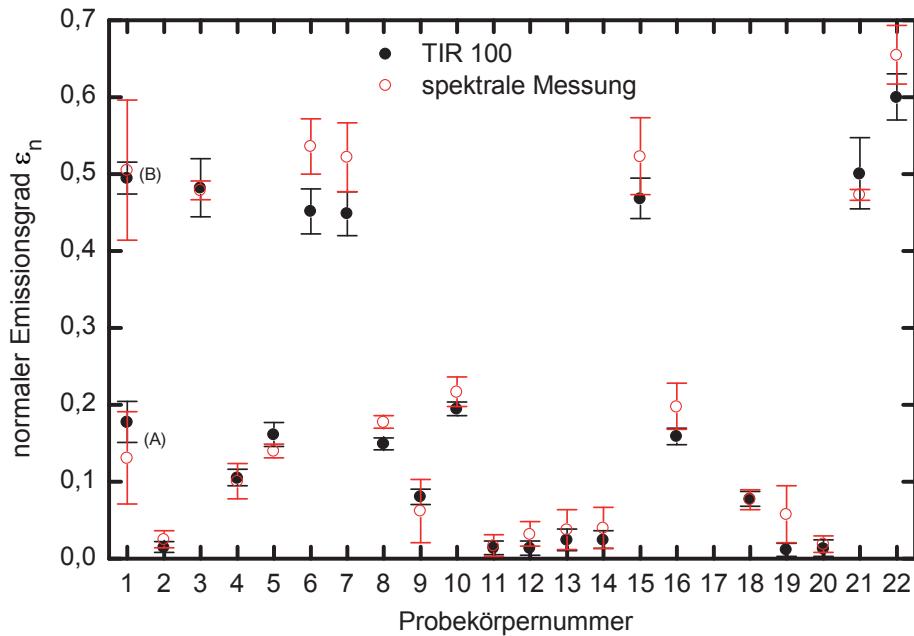


Abbildung 10 Proben wurden sowohl integral mit dem TIR 100 (schwarze, geschlossene Kreise) als auch spektral (rote, offene Kreise) vermessen. Die Fehlerbalken geben die ermittelte Standardabweichung an.

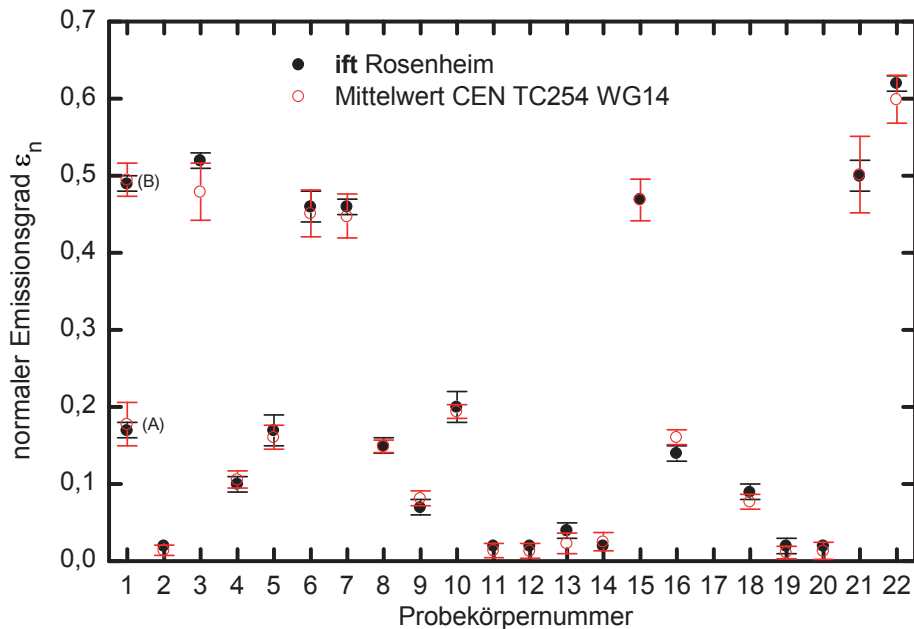


Abbildung 11 Mit dem TIR 100 vermessene normale Emissionsgrade ϵ_n von Probekörpern. Messergebnisse des ift Rosenheim (schwarze, geschlossene Kreise) und die Mittelwerte aller Messergebnisse aus der Gruppe CEN/TC 254/WG 14 (rote, offene Kreise) mit Standardabweichungen.



5 Ermittlung des Emissionsgrades

Zur Ermittlung des integralen Emissionsgrades vor und nach der Alterung wurden die Proben mit dem TIR 100 vermessen. In Abschnitt 5.1 werden die verwendeten Probensätze beschrieben. Im Rahmen des Projektes war es nicht möglich, den detaillierten Aufbau der Proben zu ermitteln. Ebenso wurde diese Information nicht im Detail von den Herstellern übermittelt. Die gemessenen normalen Emissionsgrade an den Probekörpern im Neuzustand sind in Abschnitt 5.2 aufgelistet. Die Auswirkungen der ausgewählten und angewandten Alterungen (siehe Abschnitt 0) auf den Emissionsgrad der Probekörper werden im nachfolgenden Abschnitt 5.3 beschrieben und interpretiert. Abschließend (siehe Abschnitt 5.4) werden die Alterungsmethoden untereinander verglichen und diskutiert.

5.1 Probenbeschreibung

Im Rahmen des Projektes wurden zwei unterschiedliche Probensätze, Probekörpersatz 1 und Probekörpersatz 2, untersucht.

Der Probekörpersatz 1 entstammt den Untersuchungen der Arbeitsgruppe CEN TC254 WG14. Diese Arbeitsgruppe hat einen Rundversuch durchgeführt, um eine geeignete Messmethode zur Bestimmung des Emissionsgrades von Unterspannbahnen und Foliendämmungen zu finden (siehe auch 4.2). Die Beschreibung des Aufbaus der Proben des Probekörpersatzes 1 erfolgte durch die Teilnehmer dieser Gruppe und ist in Tabelle 11 aufgeführt. Eine Überprüfung des konkreten Aufbaus konnte im Rahmen des Projektes nicht durchgeführt werden.

Die Probekörper des Probekörpersatzes 2 wurden im Rahmen des Projektes durch das FIW München als auch durch das ift Rosenheim von entsprechenden Herstellern bezogen. In Tabelle 12 finden sich die Probekörperbeschreibungen des Probekörpersatzes 2, wobei folgende Abkürzungen verwendet werden:

- PE (Polyethylen),
- SBPP (*spunbonded Polypropylen*, Spinnvlies Polypropylen),
- PES (Polyethersulfon),
- PU (Polyurethan),
- PET (Polyethylenterephthalat).

Tabelle 11 Probensatz 1: Proben der Gruppe CEN TC254 WG14

	Produktbeschreibung
1	(A) Mehrlagiger Verbund, außen metallisiertes und lackiertes mit Spinnvlies verschweißtes PE
1	(B) Mehrlagiger Verbund, mit einem innen metallisierten PE-Film
2	Mehrlagiges Produkt aus SBPP / Gitternetz und Aluminiumfolie
3	Versponnener PES mit einer metallisierten PU-Beschichtung
4	metallisiertes und lackiertes PE, verschweißt mit einem Spinnvlies
5	Unterlage aus Verbund, SBPP mit metallisierten und lackierten PE, verschweißt mit einem Spinnvlies
6	SBPP mit einem metallisierten PE-Film
7	SBPP mit einem Gitter und einem metallisierten PE-Film
8	SBPP mit einem metallisierten PE-Film
9	SBPP mit einem metallisierten PE-Film
10	metallisierte und lackierte PE mit einem Spinnvlies als Unterlage verschweißt
11	SBPP mit einem PE-Film und Aluminiumfolie
12	SBPP mit Aluminiumfolie
13	metallisierter Verbund (metallisierte PET mit Gitter)
14	metallisierter Verbund
15	metallisierter Verbund
16	lackierter metallisierter Verbund
18	PE-Film mit Aluminiumfolie
19	Mehrlagiges Luftpolsterfolienprodukt mit Aluminiumfolie
20	PET-Film mit Aluminiumfolie (glänzende Seite)
21	PET-Film mit Aluminiumfolie (matte Seite)
22	dicker PE-Film mit Aluminiumfolie



Tabelle 12 Probensatz 2: Proben von Marktteilnehmern

	Produktbeschreibung
A	metallisierte Folie mit Lack, SBPP
B	teilweise metallisierte PP-Folie, Spinnvlies
C	SBPP mit einem metallisierten PE-Film
D	metallisierte Folie, Gitternetz, dicke Folie, Rückseite L
E	metallisierter PE-Film, Pappe, Rückseite M
F	metallisierte Folie, Folie, Gitternetz, Rückseite N
G	SBPP mit Alufolie
H	metallisierte Folie, Gitternetz, dicke Folie
I	diffusionsoffene Polyurethanbeschichtung, Polyestervlies (Nadelfilzvlies)
K	SBPP, Gewebe, mit einem metallisierten PE-Film
L	metallisierte Folie (Rückseite von D)
M	metallisierte PP Folie, (Rückseite von E)
N	metallisierte Folie, (Rückseite von F)
O	Mehrlagiges Produkt: Vorderseite (a) und Rückseite (d) bestehend aus metallisierter Folie, Gitternetz, und weiterer Folie; nach der Außenlage innen je eine Lage Polyesterfaservlies, dann dreimal je zwei Lagen Polyethylen-Weichschaumstoff, dazwischen insgesamt zwei beidseitig metallisierte Folien ((c) und (d))
P	Mehrlagiges Produkt, Vorder- (a) und Rückseite (d) bestehend aus metallisierter Folie, Gewebe, Folie; innen vier mal je zwei Lagen Luftpolsterfolie, dazwischen insgesamt drei beidseitig metallisierte Folien ((b), (c))

5.2 Emissionsgrad vor der Alterung

Zur Bestimmung des normalen Emissionsgrades wurden alle Proben aus dem Probekörpersatz 1 und dem Probekörpersatz 2 mit dem TIR 100 vermessen. In Tabelle 13 und Tabelle 14 sind die normalen Emissionsgrade der vermessenen Probekörper im Neuzustand eingetragen. Jeder Probekörper aus dem Probekörpersatz 1 wurde je dreimal mit dem TIR 100 vermessen, der eingetragene Wert ist der Mittelwert über alle Messungen. Jeder Probekörper aus dem Probekörpersatz 2 wurde jeweils fünfmal vermessen. Auch hier ist der eingetragene Wert der Mittelwert über alle Messungen. Die Anzahl der vermessenen, etwa DIN A4 großen Probekörper variiert und ist in beiden Tabel-

len in geschweiften Klammern hinter der Probekörperbeschreibung eingetragen. In den Tabellen finden sich ebenfalls die Standardabweichungen. Die Messungen haben gezeigt (siehe auch Abschnitt 4.2), dass die gemessene Standardabweichung jedes vorliegenden Produkts mit maximal zwei Prozentpunkten innerhalb des geschätzten Fehlers von drei Prozentpunkten liegt. In den folgenden Abschnitten wird daher wie in Abschnitt 4.2 festgelegt, der Messfehler mit drei Prozentpunkten angegeben.

Tabelle 13 Normaler Emissionsgrad ϵ_n im Neuzustand: Probekörpersatz 1

	Aufbau	Emissionsgrad ϵ_n	Standard- abweichung σ_s
1	(A) Mehrlagiger Verbund, außen metallisiertes und lackiertes mit Spinnvlies verschweißtes PE {4}	0,17	0,01
1	(B) Mehrlagiger Verbund, mit einem innen metallisierten PE-Film {4}	0,49	0,01
2	Mehrlagiges Produkt aus SBPP / Gitternetz und Aluminiumfolie {4}	0,02	0,00
3	Versponnener PES mit einer metallisierten PU-Beschichtung {3}	0,52	0,01
4	metallisiertes und lackiertes PE, verschweißst mit einem Spinnvlies {4}	0,10	0,01
5	Unterlage aus Verbund, SBPP mit metallisierten und lackierten PE, verschweißst mit einem Spinnvlies {5}	0,17	0,02
6	SBPP mit einem metallisierten PE-Film {3}	0,46	0,02
7	SBPP mit einem Gitter und einem metallisierten PE-Film {2}	0,46	0,01
8	SBPP mit einem metallisierten PE-Film {2}	0,15	0,01
9	SBPP mit einem metallisierten PE-Film {3}	0,07	0,01
10	metallisierte und lackierte PE mit einem Spinnvlies als Unterlage verschweißst {4}	0,20	0,02



	Aufbau	Emissionsgrad ϵ_n	Standard- abweichung σ_S
11	SBPP mit einem PE-Film und Aluminiumfolie {4}	0,02	0,00
12	SBPP mit Aluminiumfolie {3}	0,02	0,00
13	metallisierter Verbund (metallisierte PET mit Gitter) {3}	0,04	0,01
14	metallisierter Verbund {3}	0,02	0,00
15	metallisierter Verbund {3}	0,47	0,00
16	lackierter metallisierter Verbund {4}	0,14	0,01
18	PE-Film mit Aluminiumfolie {2}	0,09	0,01
19	Mehrlagiges Luftpolsterfolienprodukt mit Aluminiumfolie {2}	0,02	0,01
20	PET-Film mit Aluminiumfolie (glänzende Seite) {4}	0,02	0,00
21	PET-Film mit Aluminiumfolie (matte Seite) {4}	0,50	0,02
22	dicker PE-Film mit Aluminiumfolie {3}	0,62	0,01

Tabelle 14 Normaler Emissionsgrad ϵ_n im Neuzustand: Probekörpersatz 2

	Aufbau	Emissionsgrad ϵ_n	Standard- abweichung σ_S
A	metallisierte Folie mit Lack, SBPP{6}	0,16	0,01
B	teilweise metallisierte PP-Folie, Spinnvlies {6}	0,08	0,01

	Aufbau	Emissionsgrad ε_n	Standard- abweichung σ_S
C	SBPP mit einem metallisierten PE-Film {6}	0,49	0,01
D	metallisierte Folie, Gitternetz, dicke Folie, Rückseite L {6}	0,03	0,00
E	metallisierter PE-Film, Pappe, Rückseite M {6}	0,48	0,01
F	metallisierte Folie, Folie, Gitternetz, Rückseite N {6}	0,03	0,00
G	SBPP mit Alufolie {6}	0,17	0,01
H	metallisierte Folie, Gitternetz, dicke Folie {6}	0,02	0,00
I	diffusionsoffene Polyurethanbeschichtung, Polyestervlies (Nadelfilzvlies) {6}	0,47	0,01
K	SBPP, Gewebe, mit einem metallisierten PE-Film {6}	0,47	0,01
L	metallisierte Folie (Rückseite von D) {6}	0,03	0,00
M	metallisierte PP Folie, (Rückseite von E) {6}	0,03	0,00
N	metallisierte Folie, (Rückseite von F) {6}	0,03	0,00
O	(a) metallisierte Folie, Gewebe, Folie {3}	0,13	0,01
	(b) metallisierte Folie {3}	0,03	0,01
	(c) metallisierte Folie {3}	0,02	0,00
	(d) metallisierte Folie, Gewebe, Folie {3}	0,13	0,01
P	(a) metallisierte Folie, Gewebe, Folie {3}	0,13	0,01
	(b) metallisierte Folie {3}	0,13	0,01
	(c) metallisierte Folie {3}	0,02	0,01
	(d) metallisierte Folie, Gewebe, Folie {3}	0,13	0,01

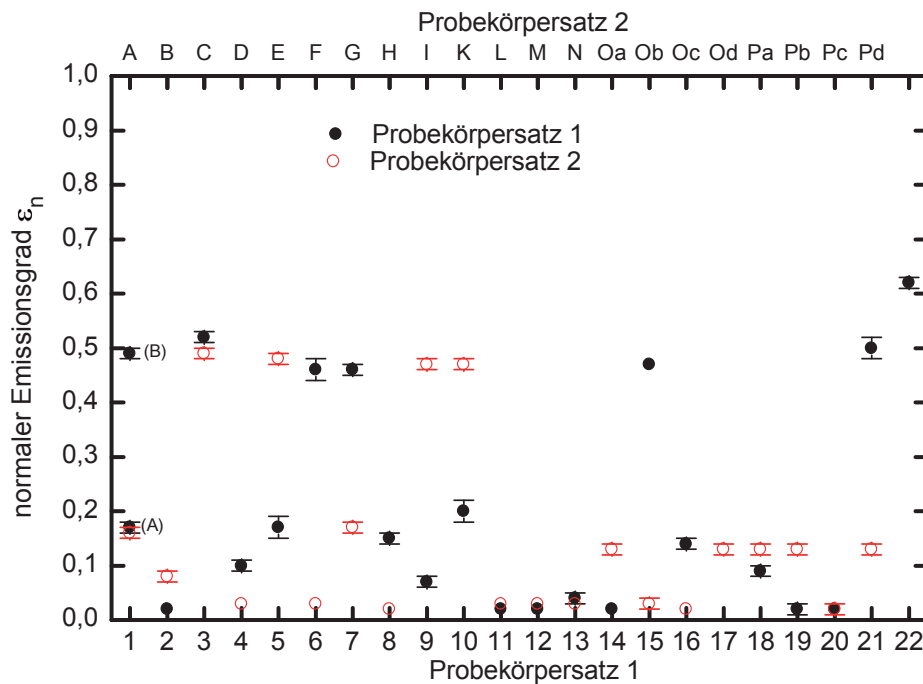


Abbildung 12 Die gemessenen Emissionsgrade ϵ_n im Neuzustand von den beiden Probekörpersätzen 1 und 2 mit den Standardabweichungen.

In Abbildung 12 sind die gemessenen Werte aus Tabelle 13 und Tabelle 14 graphisch dargestellt. Es zeigen sich zwei Tendenzen bei den Probekörpern: Ein Teil der Probekörper (1B, 3, 6, 7, 15, 21, 22, C, E, I und K) besitzt einen normalen Emissionsgrad von etwa 0,5, die restlichen Probekörper haben einen normalen Emissionsgrad unter 0,2. Eine eindeutige Erklärung kann hierzu bislang nicht gegeben werden. Es wird vermutet, dass dies in erster Linie durch das Material und / oder durch die Dicke der Schutzschicht verursacht wird. Hierzu wären aber umfangreichere Untersuchungen notwendig, die im Rahmen des Projektes nicht durchgeführt werden konnten.

5.3 Emissionsgrad nach Alterung

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Emissionsgradmessungen nach der Alterung der Folien dargestellt. Im Rahmen dieses Vorhabens wurden die in Kapitel 0 beschriebenen Verfahren ausgewählt um die Folien zu altern. Die Emissionsgrade nach der Alterung durch CUAP (Abschnitt 5.3.1), Wechselklima (Abschnitt 5.3.2), Unterspannbahn (Abschnitt 5.3.3) und Freibewitterung (Abschnitt 5.3.4) werden in Abschnitt 5.4 nochmals untereinander verglichen.

5.3.1 Alterung nach CUAP

Die Alterung nach CUAP (vgl. Abschnitte 2.2.1.1, 3.1) wurde am Probekörperersatz 2 durchgeführt. Nach 28 Tagen Lagerung im Klimaschrank bei 70 °C und 90 % rel. F. waren auf den Probenoberflächen keine großen optischen Veränderungen sichtbar. Allerdings wirkten die Folien D, H, L und N nicht mehr so straff wie zu Beginn der Untersuchung, d. h. ihre Oberflächen waren gegenüber den Rückstellmustern gewellt (siehe Abbildung 13). Der Probekörper F wirkte nach der Alterung etwas dunkler.

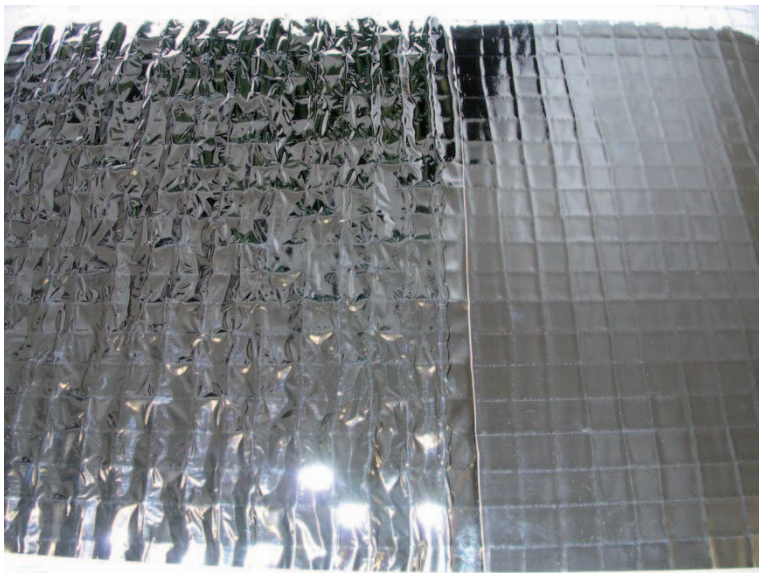


Abbildung 13 Fotografie des Probekörpers L, links ist die nach CUAP gealterte Probe zu sehen, rechts im Vergleich dazu das Rückstellmuster



In Tabelle 15 sind die Ergebnisse der Messungen aufgeführt; Abbildung 14 zeigt die graphische Darstellung der Ergebnisse.

Der normale Emissionsgrad der Probekörper A bis N ändert sich im Rahmen der Messgenauigkeit nicht.

Tabelle 15 Normaler Emissionsgrad ε_n im Neuzustand und gealtert nach CUAP: Probekörpersatz 2

	ε_n (Neuzustand)	ε_n (CUAP)
A	0,16	0,17
B	0,08	0,10
C	0,49	0,46
D	0,03	0,04
E	0,48	0,47
F	0,03	0,01 ¹⁾
G	0,17	0,17
H	0,02	0,02
I	0,47	0,49
K	0,47	0,45
L	0,03	0,04
M	0,03	0,01 ¹⁾
N	0,03	0,01 ¹⁾

1) Nicht mehr im Messbereich des TIR 100

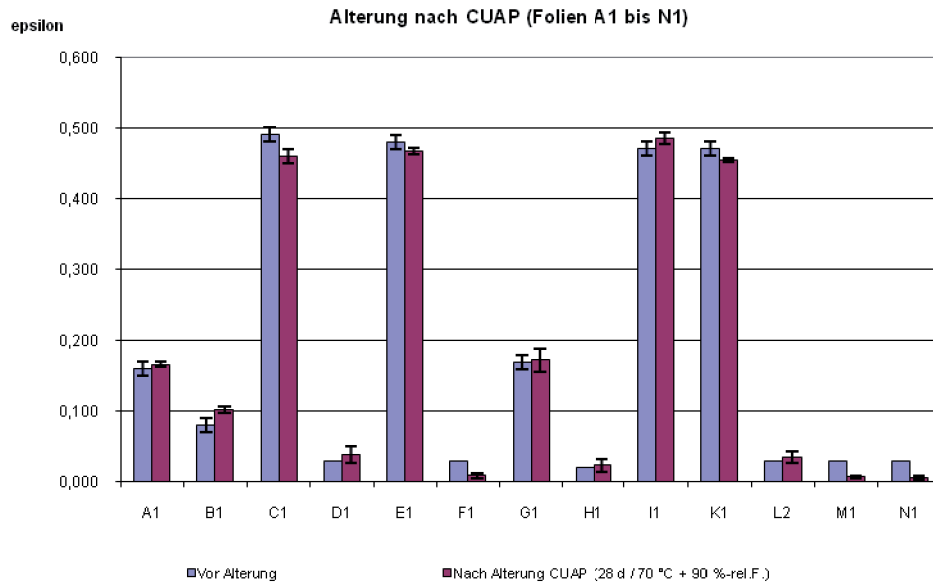


Abbildung 14 Der gemessene normale Emissionsgrad ϵ_n des Probekörpersatzes 2 im Neuzustand (blaue Balken) und gealtert nach CUAP (rote Balken).

5.3.2 Alterung durch Wechselklima

Die Alterung in Anlehnung an EN 1279-2 (Abschnitte 2.2.1.3, 0) wurde am Probekörpersatz 2 durchgeführt. Während der Klimawechselbelastung wurden die Probekörper nach vier Wochen in der Klimakammer visuell überprüft. Hierbei waren in der Regel keine großen Veränderungen erkennbar. Lediglich die Proben B und K zeigten an den Befestigungsstellen (alle Probekörper wurden mit Heftklammern befestigt) eine geringe Kontaktkorrosion (siehe Abbildung 15). Nach fünf Wochen im Wechselklima wurden die Proben für eine Woche im Konstantklima gelagert, anschließend wurde der normale Emissionsgrad bestimmt. Neben den Messungen erfolgte nochmals eine visuelle Überprüfung der Probekörper. Dabei zeigten sich die Probekörper A, C und E in ihrem optischen Eindruck unverändert gegenüber ihren unbelasteten Rückstellmustern. Bis auf die bereits oben genannte Kontaktkorrosion bei den Proben B und K hat sich die Probe K optisch nicht gegenüber ihrem Rückstellmuster verändert. Bei der Probe B jedoch trat großflächig Korrosion auf (siehe Abbildung 16). Probe G zeigte nur stellenweise Korrosion. Bei den Probekörpern D, F, H, L, M und N waren Ablagerungen bzw. Flecken auf der Oberfläche zu erkennen. Der Probekörper I ist in Abbildung 17 zusammen mit seinem



Rückstellmuster abgebildet und zeigt nach der Alterung eine deutliche Änderung in seinem Farbeindruck.

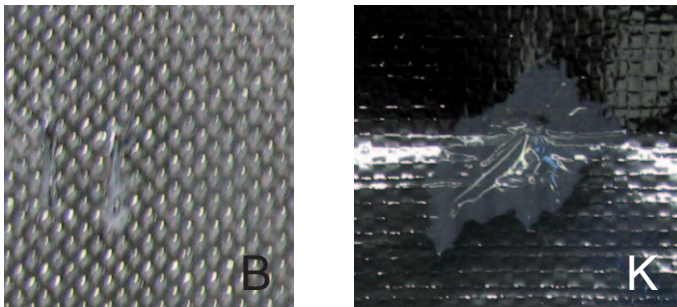


Abbildung 15 Kontaktkorrosion an Probe B nach vier Wochen im Wechselklima und an Probe K nach der gesamten Alterung

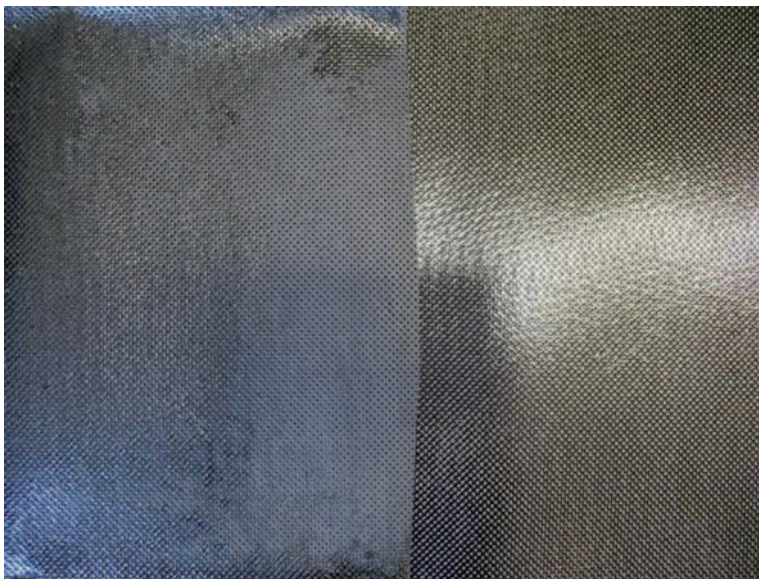


Abbildung 16 Fotografie des Probekörpers B, links ist die im Wechselklima gealterte Probe zu sehen, rechts im Vergleich dazu das Rückstellmuster

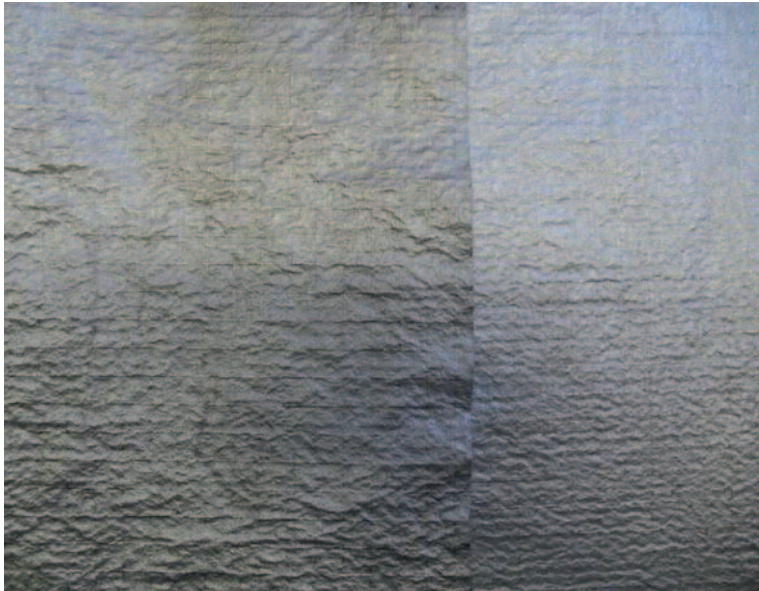


Abbildung 17 Fotografie des Probekörpers I, links ist die im Wechselklima gealterte Probe zu sehen, rechts im Vergleich dazu das Rückstellmuster

In Tabelle 16 sind die Ergebnisse der Messungen aufgeführt, Abbildung 18 zeigt die graphische Darstellung der Ergebnisse.

Der normale Emissionsgrad der Probekörper C, E, I und K zeigt nach der Alterung durch das Wechselklima keine Veränderung, er behält einen Wert von etwa 0,5. Bei den Probekörpern B, D, H, L und N ergibt sich eine Änderung im normalen Emissionsgrad durch die Alterung von +0,10 bis +0,25. Der normale Emissionsgrad der restlichen Probekörper A, F, G und M ändert sich im Rahmen der Messgenauigkeit nicht.

Tabelle 16 Normaler Emissionsgrad ϵ_n im Neuzustand und nach Alterung im Wechselklima: Probekörpersatz 2

	ϵ_n (Neuzustand)	ϵ_n (Wechselklima)
A	0,16	0,18
B	0,08	0,36
C	0,49	0,48
D	0,03	0,12

	ϵ_n (Neuzustand)	ϵ_n (Wechselklima)
E	0,48	0,48
F	0,03	0,06
G	0,17	0,21
H	0,02	0,14
I	0,47	0,46
K	0,47	0,46
L	0,03	0,14
M	0,03	0,03
N	0,03	0,13

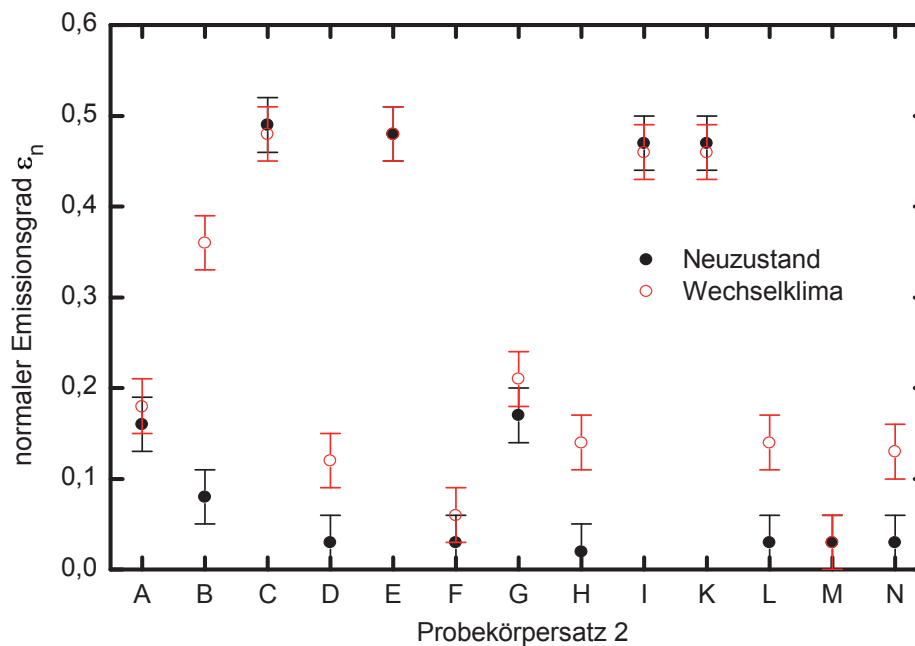


Abbildung 18 Der gemessene normale Emissionsgrad ϵ_n des Probekörpersatzes 2 im Neuzustand (schwarze, geschlossene Kreise) und nach der Alterung im Wechselklima (rote, offene Kreise).

Die Probekörper, die sich im optischen Eindruck unverändert zum Rückstellmuster zeigten, zeigen (im Rahmen der Messgenauigkeit) auch keine Änderung in ihrem Emissionsgrad. Obwohl sich der Farbeindruck des gealterten

Probekörper I verändert hat, wurde kein vom Neuzustand abweichender Emissionsgrad ermittelt. Aus diesen Beobachtungen wird deutlich, dass sich alleine durch den optischen Eindruck keine Aussage über den Emissionsgrad treffen lässt. Zum Einen zieht eine Änderung der Oberfläche im sichtbaren Wellenlängenbereich nicht zugleich eine Änderung der Oberflächeneigenschaften im IR-Bereich nach sich. Zum Anderen kann sich der Emissionsgrad durchaus lokal ändern, jedoch führt nur ein großer Flächenanteil in der Änderung auch zu einer globalen Änderung des Emissionsgrades.

5.3.3 Alterung in Anlehnung an EN 13859-1

Um den Einfluss von UV-Strahlung auf den normalen Emissionsgrad der hier vorliegenden Proben zu untersuchen, wurden die Folien A bis H aus dem Probekörpersatz 2 in Anlehnung an DIN EN 13859-1:2009-01 Anhang C gealtert (vgl. Abschnitt 3.3).

Nach der Alterung wurden die Proben zunächst visuell auf sichtbare Veränderungen untersucht. Die Oberfläche der Probe A war bereits nach der UV-Alterung trüb und brüchig (s. Abbildung 19). Die Beschichtung des Probekörpers E war nach der Alterung im Wärmeschrank spröde, wie feine Risse in der Oberfläche und deutlich hörbares „Knistern“ beim Biegen des Probekörpers zeigten.

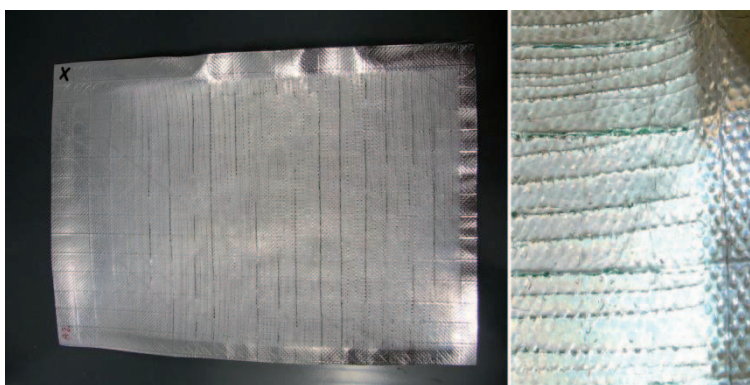


Abbildung 19 Beschädigter Probekörper A nach der UV-Alterung

Die normalen Emissionsgrade der Probekörper wurden jeweils nach der UV-Alterung und der Alterung im Wärmeschrank gemessen. Tabelle 17 und Abbildung 20 zeigen die Ergebnisse der Messungen.

Tabelle 17 Normaler Emissionsgrad ϵ_n im Neuzustand und nach Alterung der Probekörper durch UV-Strahlung und anschließender Wärmelagerung

	ϵ_n (Neuzustand)	ϵ_n (1. nach UV- Alterung)	ϵ_n (2. nach Wär- me-Alterung)
A	0,16	0,42	0,37
B	0,08	0,08	0,08
C	0,49	0,52	0,48
D	0,03	0,03	0,02
E	0,48	0,53	0,48
F	0,03	0,01	0,01
G	0,17	0,15	0,15
H	0,02	0,02	0,01

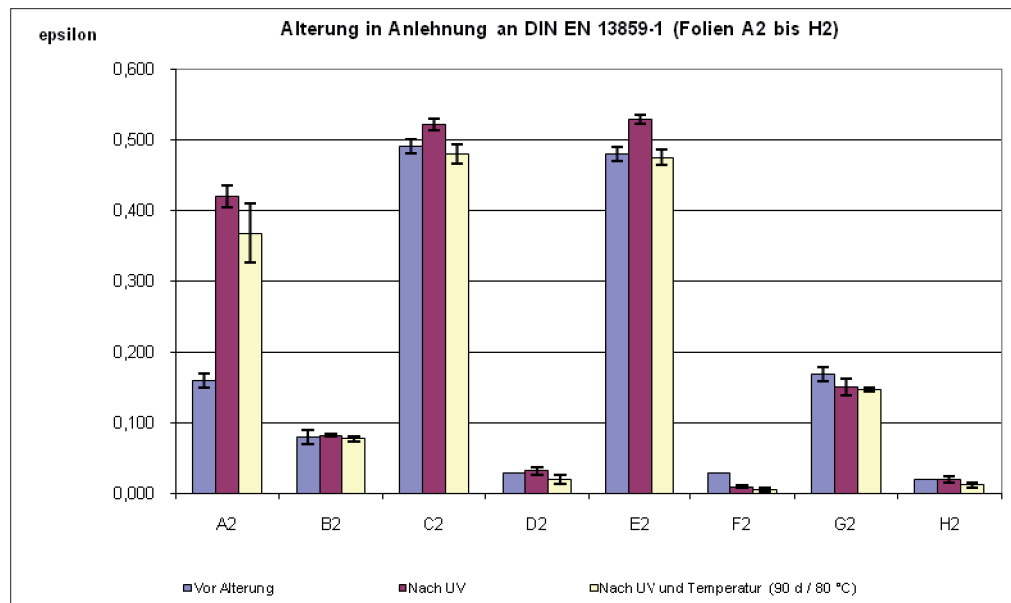


Abbildung 20 Normaler Emissionsgrad ϵ_n im Neuzustand und nach Alterung der Probekörper durch UV-Strahlung und anschließender Wärmelagerung

Der Probekörper A wurde durch die UV-Alterung zerstört und zeigt gegenüber dem Ausgangswert einen deutlich höheren normalen Emissionsgrad. Die restlichen Probekörper B bis H zeigen (im Rahmen der Messgenauigkeit) nach

der UV-Alterung und nach der Alterung im Wärmeschrank keinen erhöhten Emissionsgrad gegenüber dem Ausgangswert.

5.3.4 Alterung durch Freibewitterung

Die Alterung durch geschützte und ungeschützte Freibewitterung (siehe Abschnitt 3.4) des Probekörpersatzes 2 findet auf dem Labordach des ift Rosenheim statt. Seit Beginn der Alterung wurden alle Proben nach zwei und nach vier Monaten vermessen und wieder eingebaut.

Die Emissionsgradmessungen der geschützt und ungeschützt eingebauten Proben sind in Tabelle 18 und in Tabelle 19 aufgeführt, Abbildung 23 und Abbildung 25 zeigen die graphische Darstellung.

Tabelle 18 Normaler Emissionsgrad ϵ_n im Neuzustand und nach Alterung durch geschützte Freibewitterung nach zwei und nach vier Monaten

	ϵ_n (Neuzustand)	ϵ_n (2 Monate geschützt)	ϵ_n (4 Monate geschützt)
A	0,16	0,17	0,19
B	0,08	0,12	0,13
C	0,49	0,48	0,49
D	0,03	0,05	0,05
E	0,48	0,49	0,49
F	0,03	0,02	0,03
G	0,17	0,17	0,19
H	0,02	0,04	0,03
I	0,47	0,47	0,49
K	0,47	0,49	0,48
L	0,03	0,03	0,05
M	0,03	0,03	0,03
N	0,03	0,02	0,03
Oa	0,13	0,14	0,16
Ob	0,03	0,02	0,03
Oc	0,02	0,02	0,02



	ϵ_n (Neuzustand)	ϵ_n (2 Monate geschützt)	ϵ_n (4 Monate geschützt)
Od	0,13	0,14	0,16
Pa	0,13	0,15	0,16
Pb	0,13	0,11	0,13
Pc	0,02	0,03	0,02
Pd	0,13	0,15	0,13

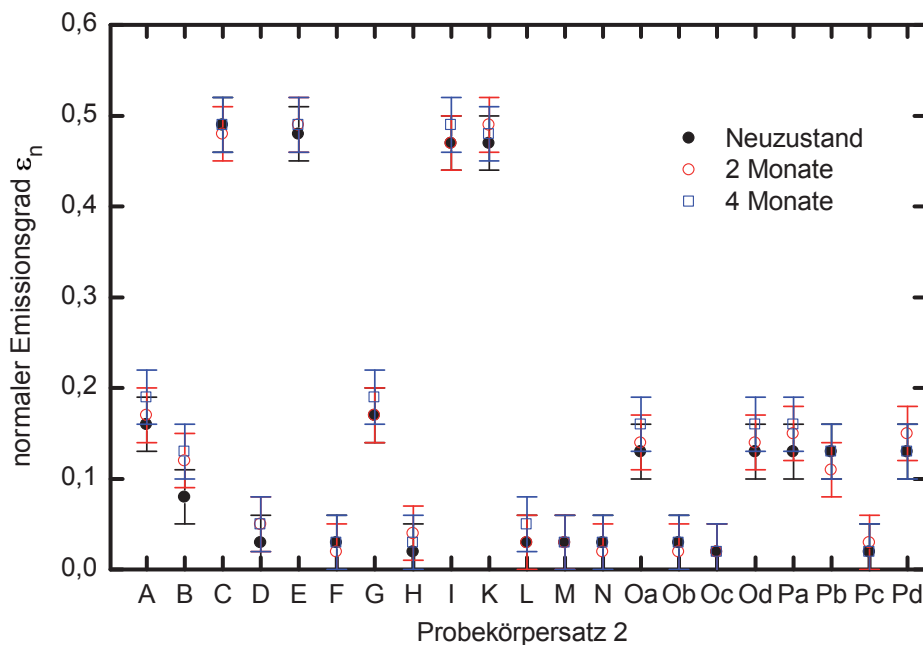


Abbildung 21 Normaler Emissionsgrad ϵ_n des Probekörpersatzes 2 im Neuzustand (schwarze, geschlossene Kreise) und nach Alterung durch geschützte Freibewitterung nach zwei (rote, offene Kreise) und nach vier (blaue, offene Quadrate) Monaten

Tabelle 18 und Abbildung 21 zeigen, dass sich die Emissionsgrade der geschützt eingebauten Proben im Rahmen der Messgenauigkeit während der viermonatigen geschützten Freibewitterung in der Regel nicht bzw. nicht signifikant verändert haben.

In Tabelle 19 sind die gemessenen normalen Emissionsgrade der Folien nach zwei und nach vier Monaten in ungeschützter Freibewitterung dargestellt. Bei den Probekörpern A, C, D, E, F, G, I, K, L, M und N hat sich im Rahmen der Messgenauigkeit der normale Emissionsgrad nicht verändert (siehe auch Ab-

bildung 22). Probekörper B und H zeigen eine deutliche Veränderung im normalen Emissionsgrad von +0,18 bzw. +0,14.

Tabelle 19 Normaler Emissionsgrad ε_n im Neuzustand und nach Alterung durch ungeschützte Freibewitterung nach zwei und nach vier Monaten

	ε_n (Neuzustand)	ε_n (2 Monate ungeschützt)	ε_n (4 Monate ungeschützt)
A	0,16	0,17	0,17
B	0,08	0,13	0,26
C	0,49	0,49	0,47
D	0,03	0,03	0,06
E	0,48	0,51	0,50
F	0,03	0,02	0,03
G	0,17	0,18	0,20
H	0,02	0,04	0,16
I	0,47	0,46	0,46
K	0,47	0,50	0,48
L	0,03	0,06	0,08
M	0,03	0,03	0,03
N	0,03	0,02	0,03

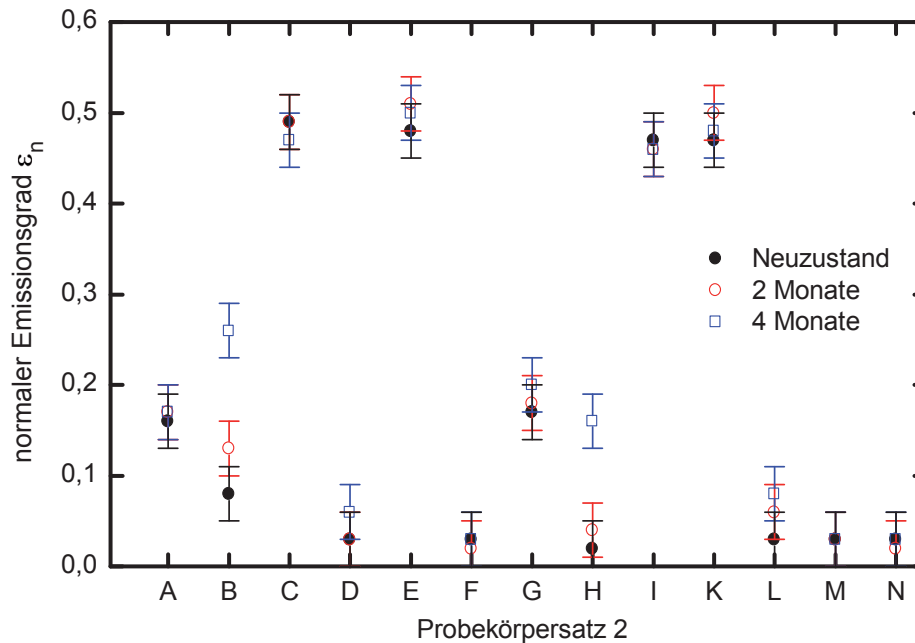


Abbildung 22 Gemessene normale Emissionsgrade ε_n des Probekörpersatzes 2 im Neuzustand (schwarze, geschlossene Kreise) und nach Alterung durch ungeschützte Freibewitterung nach zwei (rote, offene Kreise) und nach vier (blaue, offene Quadrate) Monaten

In Abbildung 23 sind zur Verdeutlichung der Ergebnisse die normalen Emissionsgrade der Probekörper B, C, D, H und L gegen die Dauer der Alterung aufgetragen. Der normale Emissionsgrad des Probekörpers C hat sich im Rahmen der Messgenauigkeit nicht verändert. Bei den Probekörpern D und L ist eine Tendenz zur Änderung des Emissionsgrades durch die Alterung zu erkennen. Eine eindeutige Änderung des normalen Emissionsgrades zeigen Probekörper B und H.

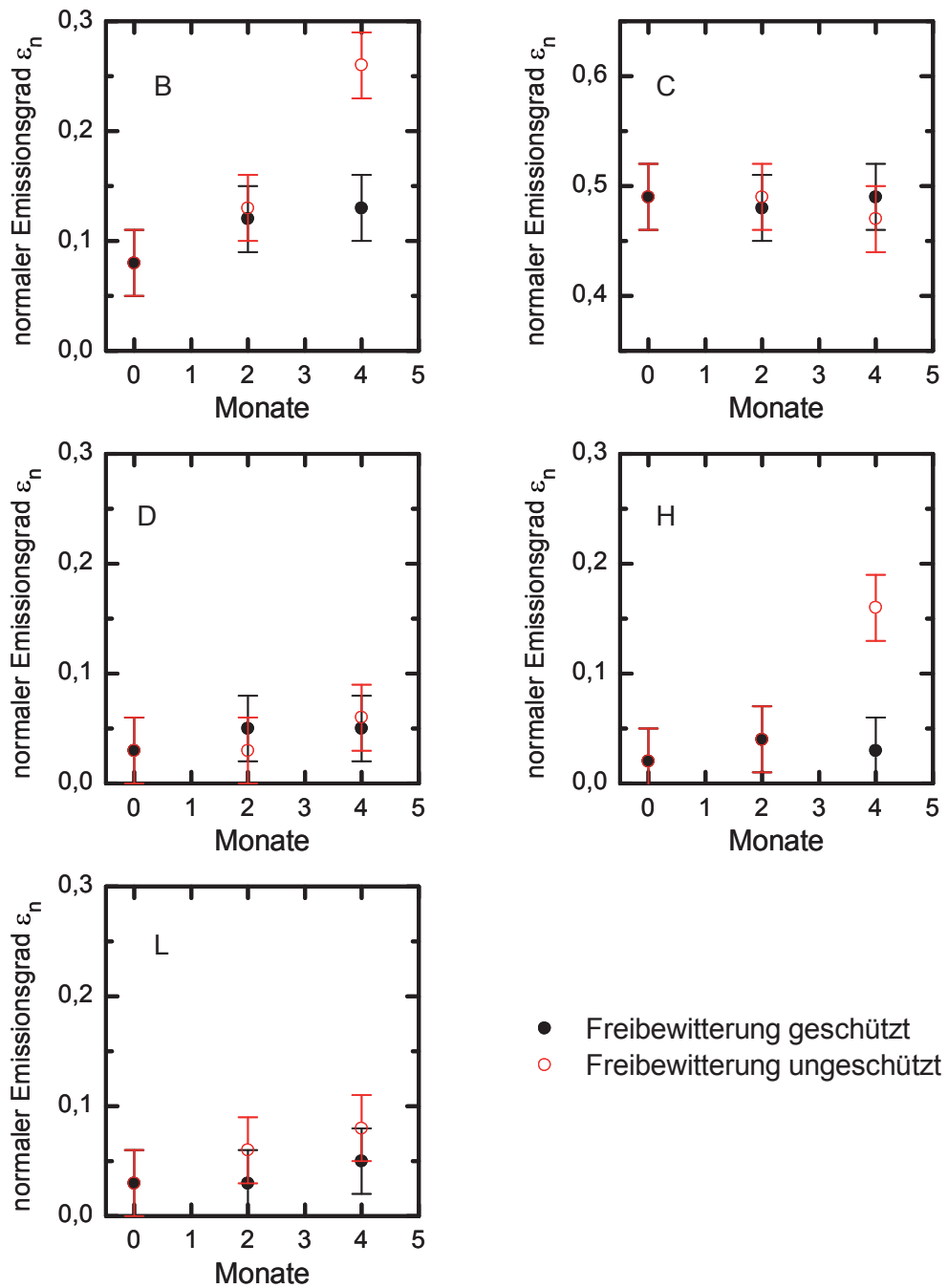


Abbildung 23 Normale Emissionsgrade ε_n der Probekörper B, C, D, H und L im Neuzustand, nach 2 und nach 4 Monaten in geschützter (schwarze, geschlossene Kreise) und ungeschützter (rote, offene Kreise) Freibewitterung



5.3.5 Alterung Staub

Die Untersuchung (siehe Abschnitt 3.5) wurde an den Probekörpern A bis F des Probekörpersatzes 2 durchgeführt.

Nach der Lagerung im Klimaschrank wurden die mit Staub bedeckten Probekörper visuell untersucht und der normale Emissionsgrad jeweils bestimmt, nachdem der Staub in drei Schritten entfernt wurde. Zunächst wurde dieser durch vertikales Aufstoßen der Folien auf einem Tisch „abgeklopft“, in einem zweiten Schritt abgeblasen und schließlich mit einem trockenen Stofftuch abgewischt. Durch diese Vorgehensweise sollte die verschieden starke natürliche „Reinigung“ der Unterspannbahn durch Wind nachgestellt werden. Dicke Staubablagerungen, wie sie in windgeschützten Bereichen und Bauteilen vorkommen können, waren nicht Gegenstand der Betrachtung.

Tabelle 20 und Abbildung 24 zeigen die Ergebnisse der Messungen des normalen Emissionsgrades. Der Probekörper A wirkte auch nach der mechanischen Reinigung mit einem Stofftuch noch deutlich verschmutzt, zeigte aber keinen erhöhten Emissionsgrad.

Tabelle 20 Normaler Emissionsgrad ε_n im Neuzustand und nach Alterung durch Staub mit CUAP, nachdem dieser in drei Schritten wieder entfernt wurde

	ε_n (Neuzustand)	ε_n (1. Staub abgeklopft)	ε_n (2. Staub abgeblasen)	ε_n (3. Staub abgewischt)
A	0,16	0,25	0,19	0,18
B	0,08	0,14	0,09	0,13
C	0,49	0,55	0,49	0,49
D	0,03	0,08	0,04	0,04
E	0,48	0,53	0,49	0,48
F	0,03	0,03	0,02	0,01

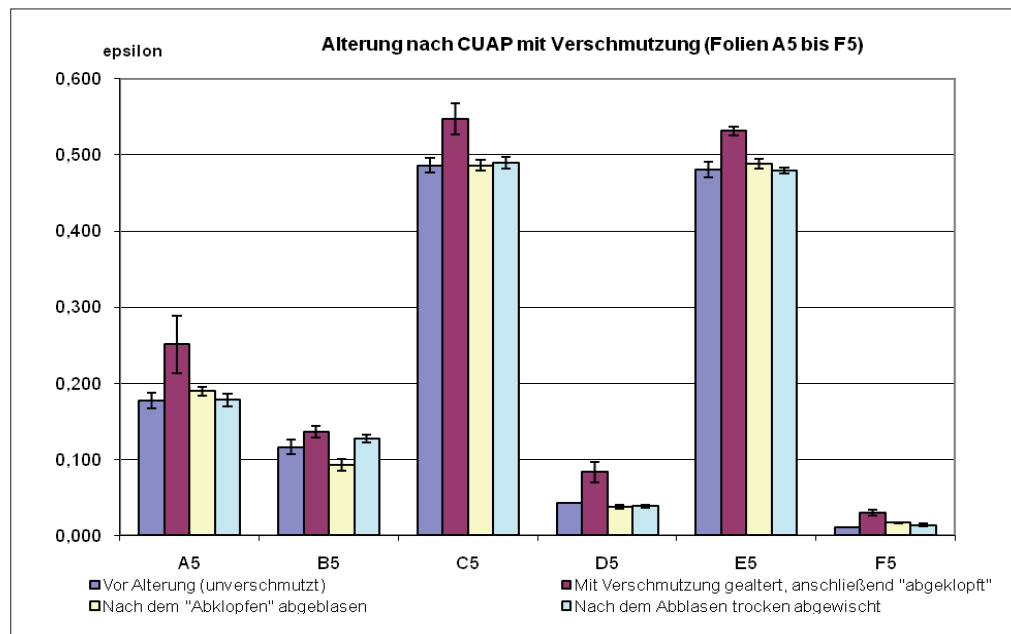


Abbildung 24 Normaler Emissionsgrad ε_n im Neuzustand und nach Alterung durch Staub, nachdem dieser in drei Schritten wieder entfernt wurde

Je nach Reinigungsgrad zeigt sich eine Erhöhung des normalen Emissionsgrades um bis zu 0,09. Bei der stärksten Reinigung durch Abwischen mit einem trockenen Stofftuch hat der Emissionsgrad der Probekörper praktisch wieder seinen Ausgangswert erreicht. Eine Alterung der Folien nach dem Entfernen des verwendeten Staubes hat sich nicht gezeigt. Ggf. sind hier, wie eingangs erwähnt, weitere Untersuchungen notwendig. Auch die Ergebnisse aus Abschnitt 5.3.1 werden nochmals bestätigt, indem bei dieser Untersuchung ebenfalls keine Erhöhung des normalen Emissionsgrades bei den nach CUAP (+ Staub) gealterten Proben festgestellt wurde.

5.4 Vergleich der Resultate aus den verschiedenen Alterungsmethoden

Die in Abschnitt 5.3 vorgestellten Ergebnisse aus den verschiedenen Alterungen der niedrigemittierenden Folien werden in diesem Abschnitt gegenübergestellt diskutiert. In Tabelle 21 sind die durchgeführten Alterungen



und die normalen Emissionsgrade des Probekörpersatzes 2 eingetragen und in Abbildung 26 und Abbildung 27 grafisch dargestellt.

Keine Änderung des normalen Emissionsgrades konnte bei den Probekörpern C, I und K beobachtet werden. Bei den Proben F und G ist im Rahmen der Messgenauigkeit ebenfalls keine Änderung des Emissionsgrades durch Alterung festzustellen.

Bei keiner der Proben hat die Alterungsmethode nach CUAP im Rahmen der Messgenauigkeit eine Änderung des normalen Emissionsgrades bewirkt.

Die Probe A wurde durch die UV-Bestrahlung stark beschädigt und der normale Emissionsgrad hat sich um +0,26 erhöht. Die Probe E zeigt nach der UV-Bestrahlung und der Lagerung im Wärmeschrank eine Versprödung der Oberfläche. Im Rahmen der Messgenauigkeit lässt sich jedoch keine Änderung des Emissionsgrades feststellen.

In Abbildung 25 sind die gemessenen normalen Emissionsgrade des Probekörpers C vor und nach der Alterung durch geschützte (schwarze, geschlossene Kreise) und durch ungeschützte (rote, offene Kreise) Freibewitterung graphisch dargestellt. Die gestrichelte Linie gibt den normalen Emissionsgrad nach Alterung im Wechselklima wieder. Beide Arten von Alterung haben keinen Einfluss auf den Emissionsgrad des Probekörpers C. Ebenfalls graphisch dargestellt in Abbildung 25 sind die normalen Emissionsgrade der Probekörper B und H, die durch die angewandten Alterungen eine Änderung im Emissionsgrad erfahren haben. Dabei hat der normale Emissionsgrad des Probekörpers B durch die Alterung im Wechselklima eine Änderung von +0,28 und nach viermonatiger Freibewitterung eine Änderung von +0,18 erfahren. Beim Probekörper H führt die Alterung durch das Wechselklima zu einer Änderung des normalen Emissionsgrades um +0,12 und um +0,14 bei der Alterung durch viermonatige Freibewitterung. Bei den Probekörpern D und L hat sich durch die Alterung im Wechselklima der normale Emissionsgrad um etwa +0,1 verändert, die Alterung durch Freibewitterung zeigt bei diesen Proben tendenziell ebenfalls eine Veränderung des normalen Emissionsgrades (siehe Abbildung 25). Der Probekörper N hingegen weist zwar durch die Alterung im Wechselklima einen veränderten normalen Emissionsgrad auf, eine Tendenz zur Änderung des normalen Emissionsgrades ist jedoch nicht bei den freibewitterten Proben zu erkennen.

Der zur Alterung verwendete Staub hat bei Probe A im ersten Schritt (Abklopfen des Staubes) zu einer Erhöhung des normalen Emissionsgrades um +0,09 geführt. Bei einer weitergehenden Reinigung der Oberfläche (Abblasen bzw. Abwischen) hat sich der Emissionsgrad auf etwa den Ausgangswert reduziert.



Der Einfluss aufliegender bzw. größerer Staubschichtdicken und anderer Arten von Verschmutzungen sollte noch untersucht werden.

Allgemein zeigen die Ergebnisse, dass der Einfluss der Alterung auf das Emissionsvermögen gering ist. Nur bei Alterungen, die extreme Belastungen darstellen, konnten an einzelnen Proben drastische Erhöhungen des normalen Emissionsgrades gemessen werden.

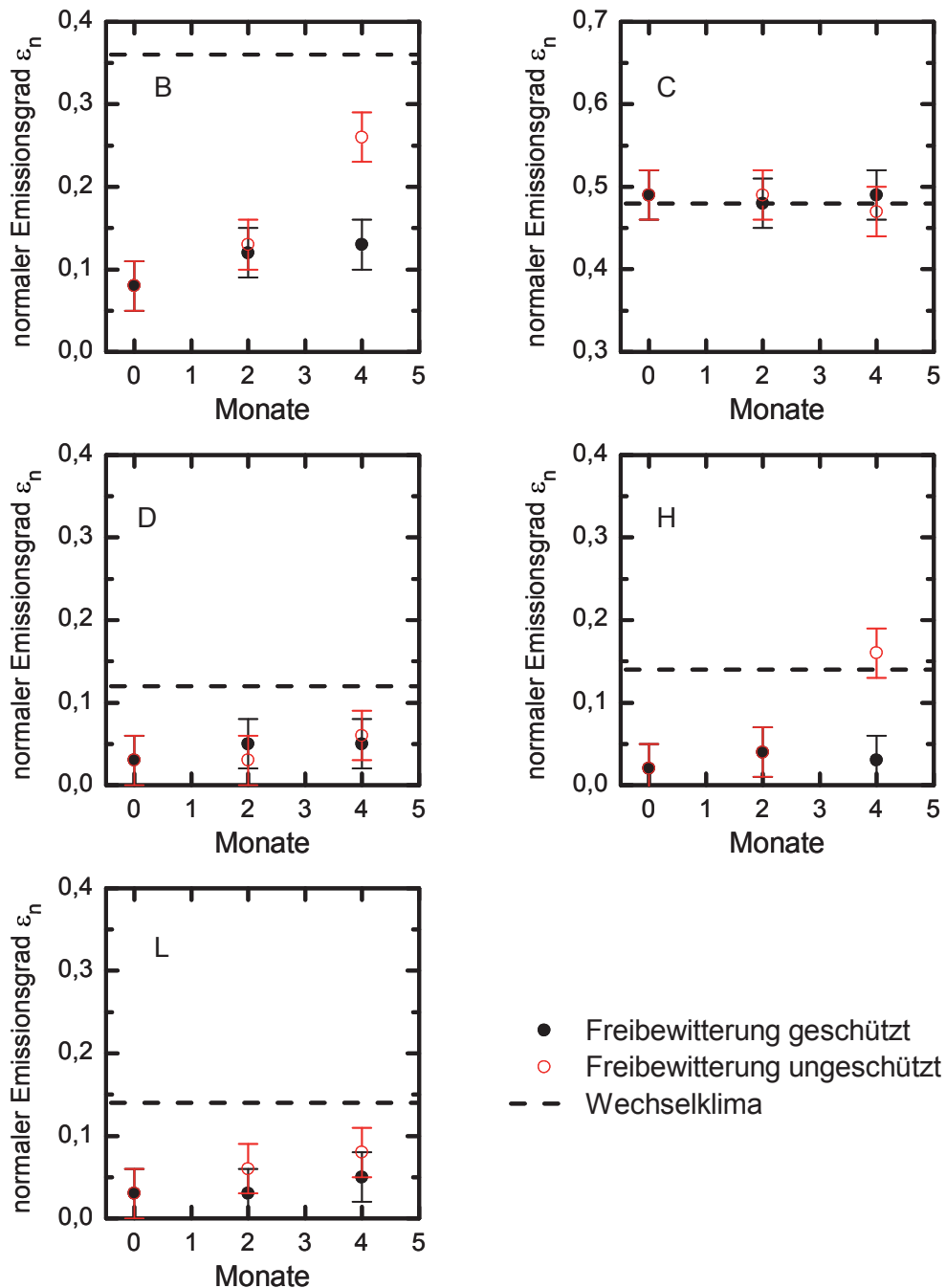


Abbildung 25 Die gemessenen normalen Emissionsgrade ε_n der Probekörper B, C, D, H und L im Neuzustand, nach 2 und nach 4 Monaten in geschützter und ungeschützter Freibewitterung. Die gestrichelte Linie gibt den gemessenen normalen Emissionsgrad nach der Alterung im Wechselklima wieder.

Tabelle 21 Zusammenfassung der Ergebnisse aus den verschiedenen Alterungsmethoden; ohne Verschmutzung (Staub) (die Änderung des Emissionsgrades, abhängig von Art und Stärke der Verschmutzung, sollte in einer zukünftigen Forschungsarbeit untersucht werden)

Probekörper	Neuzustand	CUAP	Wechselklima	UV-Bestrahlung	Wärmelagerung nach UV-Alterung	Freibewitterung 4 Monate geschützt	Freibewitterung 4 Monate ungeschützt	Signifikanter Einfluss auf ϵ durch die Alterungsmethoden ¹⁾
Emissionsgrad ϵ_n								
A	0,16	0,17	0,18	0,42	0,37	0,19	0,17	UV-Alterung: Zerstörung, $\Delta\epsilon = +0,26$
B	0,08	0,10	0,36	0,08	0,08	0,13	0,26	Wechselklima: Großflächige Korrosion, $\Delta\epsilon = +0,28$ Freibewittg. ungeschützt: Alterung, $\Delta\epsilon = +0,18$
C	0,49	0,46	0,48	0,52	0,48	0,49	0,47	
D	0,03	0,04	0,12	0,03	0,02	0,05	0,06	Oberfläche der Folie nach CUAP gewellt Wechselklima: Alterung, $\Delta\epsilon = +0,09$ Freibewittg. ungeschützt: Tendenz zur Alterung
E	0,48	0,47	0,48	0,53	0,48	0,49	0,50	UV-Alterung u. Wärmelagerung: Oberfläche spröde
F	0,03	0,01	0,06	0,01	0,01	0,03	0,03	
G	0,17	0,17	0,21	0,15	0,15	0,19	0,20	
H	0,02	0,02	0,14	0,02	0,01	0,03	0,16	Oberfläche der Folie nach CUAP gewellt Wechselklima: Alterung, $\Delta\epsilon = +0,12$ Freibewittg. ungeschützt: Alterung, $\Delta\epsilon = +0,14$

1) Sämtliche Alterungsmethoden wurden auf alle Probekörper angewendet, unabhängig von deren tatsächlichen Anwendungsgebiet und Einbausituation.



Probekörper	Neuzustand	CUAP	Wechselklima	UV-Bestrahlung	Wärmelagerung nach UV-Alterung	Freibewitterung 4 Monate geschützt	Freibewitterung 4 Monate ungeschützt	Signifikanter Einfluss auf ϵ durch die Alterungsmethoden ¹⁾
I	0,47	0,49	0,46	-	-	0,49	0,46	Wechselklima: Farbänderg.
K	0,47	0,45	0,46	-	-	0,48	0,48	Wechselklima: Kontaktkorrosion
L	0,03	0,04	0,14	-	-	0,05	0,08	Oberfläche der Folie nach CUAP gewellt Wechselklima: Alterung, $\Delta\epsilon = +0,11$ Freibewitterg. ungeschützt: Tendenz zur Alterung
M	0,03	0,01	0,03	-	-	0,03	0,03	
N	0,03	0,01	0,13	-	-	0,03	0,03	Oberfläche der Folie nach CUAP gewellt Wechselklima: Alterung, $\Delta\epsilon = +0,10$

Oa	0,13					0,16		
Ob	0,03					0,03		
Oc	0,02					0,02		
Od	0,13					0,16		
Pa	0,13					0,16		
Pb	0,13					0,13		
Pc	0,02					0,02		
Pd	0,13					0,13		

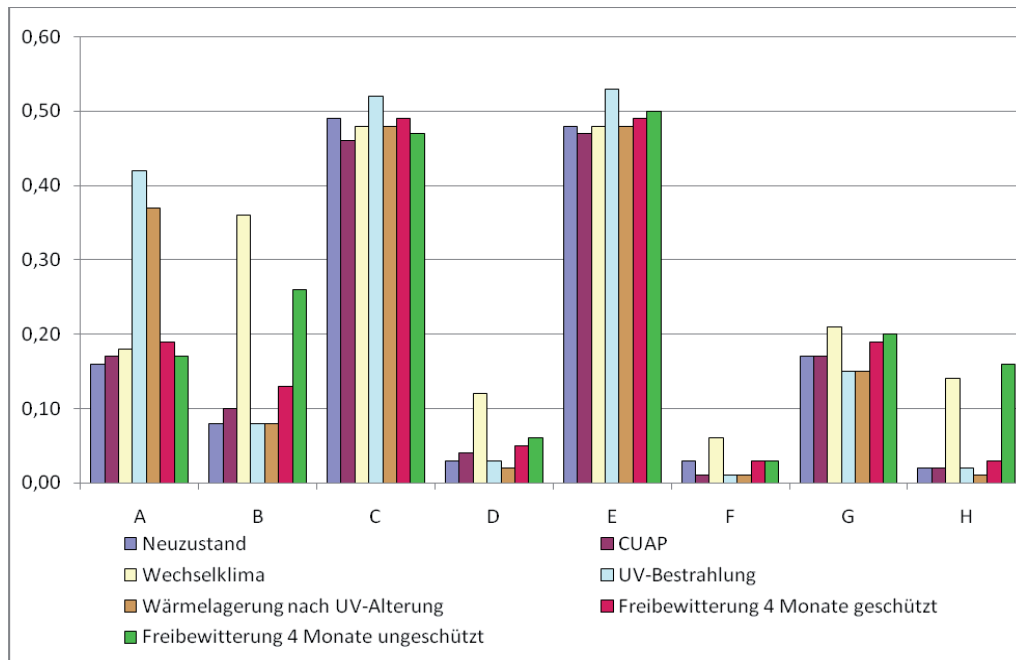


Abbildung 26 Zusammenfassung der Ergebnisse aus den verschiedenen Alterungsmethoden; ohne Verschmutzung (Staub); Probekörper A bis H

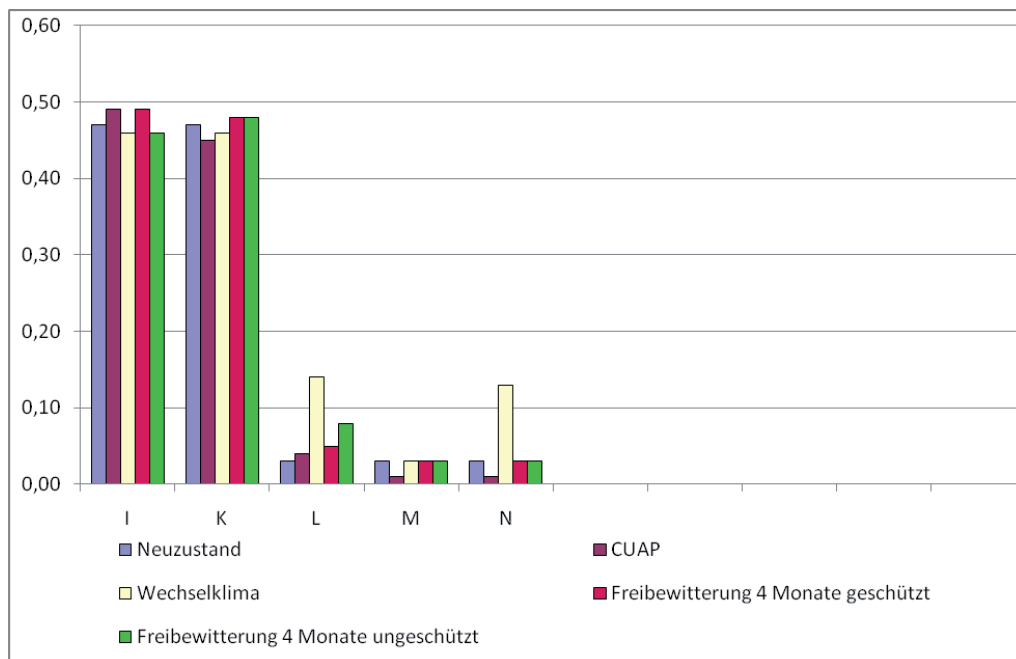


Abbildung 27 Zusammenfassung der Ergebnisse aus den verschiedenen Alterungsmethoden; ohne Verschmutzung (Staub); Probekörper I bis N



6 Schlussfolgerung und Ausblick

Die Ergebnisse aus Abschnitt 5.3 zu den beschriebenen Messungen des Emissionsgrades nach Alterung werden im Folgenden zusammengefasst.

Die Alterung nach CUAP hat an den Probekörpern zu keinen deutlich sichtbaren Veränderungen geführt. Allerdings sahen vier Folien nach der Alterung „schlaffer“ oder mehr gewellt aus als im Neuzustand. Die Messung des Emissionsgrades nach der Alterung hat im Rahmen der Messgenauigkeit keine Änderungen gegenüber den Ausgangswerten ergeben.

Bei der Alterung durch Wechselklima trat an drei von dreizehn Proben Korrosion auf. Davon waren zweimal geringe Korrosionen, z. T. durch Kontakt mit den Halteklammern und einmal großflächige Korrosion zu verzeichnen. Die großflächige Korrosion führte bei diesem Probekörper zu einer deutlichen Erhöhung des Emissionsgrades von 0,08 auf 0,36. Ein Probekörper zeigte nach der Alterung eine deutliche Änderung in seinem Farbeindruck. Allerdings wurde bei diesem Prüfkörper nach der Alterung kein vom Neuzustand abweichender Emissionsgrad gemessen. Daraus lässt sich schließen, dass sich alleine durch den visuellen Eindruck keine Aussage über den Emissionsgrad treffen lässt, zumal eine Änderung der Oberfläche im sichtbaren Wellenlängenbereich nicht zugleich eine Änderung der Oberflächeneigenschaften im IR-Bereich nach sich ziehen muss. Neben dem korrodierten Probekörper zeigten vier weitere von insgesamt dreizehn Probekörpern eine Erhöhung des Emissionsgrades nach Alterung im Wechselklima von etwa +0,10. Bei acht von dreizehn Probekörpern ändert sich im Rahmen der Messgenauigkeit der Emissionsgrad nach Alterung im Wechselklima nicht.

Die Alterung der Probekörper in Anlehnung an DIN EN 13859-1:2009-01 simuliert den Einsatz als Unterspannbahn im Schrägdach (gedeckt und ungedeckt). Einer von acht Probekörpern war nach der UV-Bestrahlung stark beschädigt. Sein Emissionsgrad erhöhte sich nach der Alterung um +0,26 bzw. +0,21. Bei einem weiteren Probekörper war die Oberfläche nach der Lagerung im Wärmeschrank spröde. Dies führte allerdings noch zu keiner Erhöhung des Emissionsgrades. Insgesamt ließen sich bei sieben von acht Probekörpern nach Alterung in Anlehnung an DIN EN 13859-1:2009-01 (UV-Bestrahlung und Lagerung im Wärmeschrank) im Rahmen der Messgenauigkeit keine Erhöhung der Emissionsgrade gegenüber den Ausgangswerten feststellen.

Die Alterung durch Freibewitterung wurde an geschützten und ungeschützten, d. h. direkt der Bewitterung ausgesetzten Probekörpern, durchgeführt. Der



Zeitraum erstreckte sich im Rahmen dieser Forschungsarbeit über jeweils vier Monate im Herbst bzw. Winter. Nach diesem relativ kurzen Zeitraum zeigten die geschützt eingebauten Probekörper keine signifikanten Änderungen des Emissionsgrades gegenüber dem Neuzustand. Bei den ungeschützt eingebauten Probekörpern zeigten zwei von dreizehn Probekörpern eine Erhöhung des Emissionsgrades von +0,18 bzw. +0,12 gegenüber dem Neuzustand. Zwei weitere Probekörper zeigten eine Tendenz zur Erhöhung des Emissionsgrades. Da die vier genannten Probekörper bereits bei der Alterung durch das Wechselklima eine Erhöhung des Emissionsgrades gezeigt haben, könnte dies auf einen Einfluss von Frost oder Frost-Tauwechsel hinweisen.

Bei der Alterung durch Staub wurde im Rahmen dieses Forschungsprojektes nur die Einbausituation einer Unterspannbahn im Schrägdach betrachtet. Als Staub wurde eine Mischung verwendet, die aus typischen, in dieser Einbausituation anzutreffenden Materialien bestand. Auch wurde keine dicke Staubschicht betrachtet, sondern eine gewisse Selbstreinigung durch die Belüftung des Schrägdaches berücksichtigt. Der Emissionsgrad der Probekörper nach Alterung durch Staub wurde für drei „Reinigungsstufen“ gemessen. Ein Probekörper zeigte bei der ersten Messung, „Reinigungsstufe 1“, eine Erhöhung des Emissionsgrades um +0,09. Bei weiterer Reduzierung des Staubes auf dem Probekörper nahm der Emissionsgrad wieder ab. Insgesamt hat der verwendete Staub, bei minimaler Schichtdicke, die Emissionsgrade nicht signifikant verändert.

Im Folgenden werden die wesentlichen Erkenntnisse für die untersuchten Produkte stichpunktartig zusammengefasst:

- Die Alterung nach CUAP bewirkt im Rahmen der Messgenauigkeit keine Änderung des Emissionsgrades
- Eine Korrelation zwischen der Alterung durch das Wechselklima und der ungeschützten Freibewitterung deutet sich an. Hier wäre die Empfindlichkeit der niedrigemittierenden Folien hinsichtlich Frost bzw. Frost-Tauwechsel näher zu untersuchen
- Eine minimale Verschmutzung mit dem verwendeten Probestaub bewirkt keine Veränderung des Emissionsgrades. Ein Probekörper zeigt nach dem Abklopfen und vor dem Abblasen des Staubs eine Erhöhung des Emissionsgrades von $\Delta\varepsilon_n = 0,09$. Dickere Staubschichten und andere Arten von Verschmutzung sollten noch untersucht werden.
- Die Änderung des Emissionsgrades mit den untersuchten Alterungsmethoden beträgt in den meisten Fällen $\Delta\varepsilon_n \leq 0,05$. Fünf Probekörper zeigen nach Wechselklima-Beanspruchung eine höhere Änderung. Eine Probe



wird durch UV-Bestrahlung zerstört.

- Eine Überlagerung der Alterungseinflüsse wäre möglich, wird hier aber nicht weiter untersucht.
- Allein aus optischen Veränderungen im sichtbaren Bereich lassen sich noch keine zweifelsfreien Aussagen über Änderungen des Emissionsgrades treffen.
- Geringfügige Änderungen des gemessenen Emissionsgrades können aufgrund der Messunsicherheit nicht zweifelsfrei einer Änderung des tatsächlichen Emissionsgrades zugeordnet werden. Insbesondere bei niedrigen Emissionsgraden ($\varepsilon_n < 0,1$) kann die relative Änderung groß sein.

Im Rahmen dieses Vorhabens wurden verschiedene Laborverfahren zur Alterung an niedrigemittierenden Baustoffen ausgewählt, um eine mögliche Änderung des normalen Emissionsgrades zu untersuchen. Aufgrund der Einbausituation der Folienprodukte wirken unterschiedliche Lasten auf deren niedrigemittierende(n) Oberfläche(n).

Da die vorhandenen Probekörper nicht eindeutig ihrer Einbausituation zugeordnet werden konnten, wurden alle Probekörper künstlich nach CUAP (Temperatur und Feuchte), in Anlehnung an die EN 1279-2 (Temperatur und Feuchte), nach DIN EN 13859-1 (UV-Belastung, Temperatur), in geschützter und ungeschützter Freibewitterung und mit Staub gealtert.

Der normale Emissionsgrad wurde jeweils vor und nach der Alterung gemessen. Dabei zeigten lediglich 6 von 21 vermessenen Oberflächen eine signifikante Änderung (maximal $\Delta\varepsilon = +0,28$) im Emissionsgrad. Aufgrund der erhaltenen Ergebnisse schließen wir, dass nur extreme Belastungen, wie z.B. das Wechselklima, die ungeschützte Freibewitterung oder die UV-Belastung zu einer Änderung des normalen Emissionsgrades führen können. Diese fallen jedoch nicht so gravierend aus wie zu Beginn des Vorhabens vermutet. Der Großteil der Produkte erfährt durch die angewandten Alterungen im Rahmen der Messgenauigkeit keine Änderung im Emissionsgrad.

Die in diesem Vorhaben gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass durchaus Alterungseffekte (abhängig von der Einbausituation) vorhanden sein können. Im weiteren Vorgehen sollte auf jeden Fall die geschützte Freibewitterung als realitätsnahe Alterung fortgeführt werden. Folgende Fragen werden durch die Ergebnisse neu aufgeworfen: Wann und in welcher Geschwindigkeit tritt die Alterung durch UV-Belastung auf? Wie dick und dicht muss eine Staubschicht auf einer niedrigemittierenden Oberfläche sein, um eine Änderung im Emissi-



onsgrad zu bewirken? Zeigen die Probekörper durch eine wiederholte Alterung mit CUAP eine Änderung im Emissionsgrad?

Aus diesem Forschungsvorhaben, den aufgeworfenen Fragen und daraus entstehenden neuen Ansätzen könnte ein kombiniertes Prüfverfahren für Hersteller erarbeitet werden, das abhängig von der Einbausituation eine realitätsnahe Alterung von niedrigemittierenden Baustoffen im Laborverfahren wiedergibt.



7 Literaturverzeichnis

- [1] P. Lutz, R. Jenisch, H. Klopfer, H. Ferymuth, L. Krampf, K. Petzold, Lehrbuch der Bauphysik, B. G. Teubner, Stuttgart (1994)
- [2] R. Siegel, J. Howell, Thermal Radiation Heat Transfer 4th Edition, Taylor & Francis, New York, London (2002)
- [3] J. A. Duffie, W. A. Beckman, Solar engineering of thermal processes 2nd edition, JOHN WILEY & SONS, INC: New York (1991)
- [4] Draft CUAP for ETA-request 12.01/12 (Edition Nr 6, February 2007), Product with radiant heat reflective component for use in thermal insulation systems of building envelopes (wall, ceiling, floor and roof)
- [5] EN 1096-2 : 2001
Glas im Bauwesen - Beschichtetes Glas, Teil 2: Anforderungen an und Prüfverfahren für Beschichtungen der Klassen A, B und S, CEN
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [6] EN 1279-2 : 2002
Glas im Bauwesen - Mehrscheiben-Isolierglas . Teil 2: Langzeitprüfverfahren und Anforderungen bezüglich Feuchtigkeitsaufnahme
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [7] EN ISO 12543-4 : 1998
Glas im Bauwesen, Verbundglas und Verbund-Sicherheitsglas, Teil 4: Verfahren zur Prüfung der Beständigkeit
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [8] EN ISO 9227 : 2006
Korrosionsprüfungen in künstlichen Atmosphären - Salzsprühnebelprüfungen
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [9] EN 1096-3 : 2001
Glas im Bauwesen - Beschichtetes Glas, Teil 3: Anforderungen an und Prüfverfahren für Beschichtungen der Klassen C und D
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [10] EN ISO 4892-2 : 2006
Kunststoffe - Künstliches Bestrahlen oder Bewittern in Geräten - Teil 2: Xenonbogenlampen
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [11] DIN EN 927-3 : 2006-12
Beschichtungsstoffe — Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für Holz im Außenbereich — Teil 3: Freibewitterung
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [12] DIN EN ISO 2810 : 2004-10
Beschichtungsstoffe — Freibewitterung von Beschichtungen — Bewitterung und Bewertung
Beuth Verlag GmbH, Berlin



- [13] DIN EN 13859-1 : 2009-01
Abdichtungsbahnen — Definitionen und Eigenschaften von Unterdeck- und Unterspannbahnen — Teil 1: Unterdeck- und Unterspannbahnen für Dachdeckungen
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [14] Informationen der Fa. Inglas
www.inglas.de (28.10.2008)



Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München

Lochhamer Schlag 4

82166 Gräfelfing

Telefon +49 (0) 89 8 58 00-0

Telefax +49 (0) 89 8 58 00-40

E-Mail: info@fiw-muenchen.de

<http://www.fiw-muenchen.de>



ift Rosenheim

Theodor-Gietl-Str. 7-9

83026 Rosenheim

Telefon +49 (0) 8031 261-0

Telefax +49 (0) 8031 261-290

E-Mail: info@ift-rosenheim.de

<http://www.ift-rosenheim.de>