IDENTIFIKATION VON ALTERUNGSRELEVANTEN EINFLUSSFAKTOREN VON DIFFUSIONSOFFENEN UNTERDECK- UND UNTERSPANNBAHNEN

Anne Baumbach, Runa T. Hellwig, Frank U. Vogdt
Technische Universität Berlin, 10623 Berlin, E-Mail: bauphysik@tu-berlin.de

Kurzfassung

Unterdeck- und Unterspannbahnen (UDB/USB) erfüllen im Steildach eine wesentliche Schutzfunktion gegen Feuchteeintrag in tropfbar flüssiger Form und müssen gleichzeitig diffusionsoffen und dauerhaft beständig sein. Trotz normativ geforderter und eingehaltener Dauerhaftigkeitsnachweise treten in der Praxis immer wieder Schadensfälle nach vergleichsweise kurzer Nutzungsdauer auf. Dieser Beitrag untersucht welche Einflussfaktoren und Alterungsmechanismen bei verschiedenen Bahntypen, verwendeten Materialen und Schichten zur Weiterentwicklung der künstlichen Laborprüfverfahren berücksichtigt werden sollten. Auf Basis einer systematischen, datenbasierten Erhebung marktverfügbarer, diffusionsoffener UDB/USB wurden die Produkteigenschaften von insgesamt 235 Bahnen zusammengestellt und ausgewertet. Eine darauf aufbauende Einteilung der Bahnen sowie die Analyse relevanter Einwirkungen ermöglicht die Ableitung zentraler Einflussfaktoren auf Alterungsmechanismen. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für weiterführende experimentelle Untersuchungen zum realen Alterungsverhalten von UDB/USB.

Underlays for discontinuous roof covering (UDB/USB) perform an essential protective functional layer against moisture penetration in pitched roofs They must be vapor-permeable and durable at the same time. Despite the durability requirements specified in standards, and while complying to those requirements, damages repeatedly occur in several roofs after a relatively short period of use. This paper examines the influencing factors and aging mechanisms that should be taken into account for the various types of membranes, materials, and layers in the market when developing the artificial laboratory test procedure further. Based on a data-driven survey of vapor-permeable UDB/USB products available on the market, product characteristics were compiled and analysed. Based on this, a classification of the membranes as well as an analysis of relevant affecting factors, enabled the derivation of key influencing factors on aging mechanisms. The results form the basis for future experimental investigations on aging behavior of UDB/USB.

Einleitung

Unterdeck- und Unterspannbahnen (UDB/USB) sind bei üblichen Steildachkonstruktionen seit mehreren Jahrzehnten Bestandteil des Dachaufbaus und übernehmen eine zentrale Funktion für den Feuchteschutz der Konstruktion. Im Laufe ihrer Nutzungsdauer sind sie während der Bauphase (Freibewitterung) und auch im eingebauten Zustand (gedeckter Zustand) im Hinterlüftungsraum extremen Klimabedingungen ausgesetzt. Diese können den Alterungsprozess der Bahnen maßgeblich beeinflussen. Nichtsdestotrotz müssen sie über die gesamte Lebensdauer hinweg einen verlässlichen Schutz gegen eindringende Feuchtigkeit in tropfbar flüssiger Form bei gleichzeitiger Diffusionsoffenheit gewährleisten. Über die Jahre wurden von Herstellern verschiedene Bahntypen mit unterschiedlichen Aufbauten, Materialien und Herstellungsverfahren entwickelt und werden auf dem deutschen Markt angeboten. Um Bahnen in den Verkehr zu bringen, sind Materialprüfungen und der Nachweis der Dauerhaftigkeit mittels künstlicher Alterung im Labor mit dem Verfahren nach DIN EN 13859-1 (2014) zu erbringen.

In den vergangenen Jahrzehnten wurde mehrfach die Dauerhaftigkeit der diffusionsoffenen Bahnen z.B. in der Fachzeitschrift des Dachdeckerhandwerks (vgl. Messer, 2007) bemängelt. Zahlreiche Schadensfälle an UDB und USB wurden durch die Untersuchungen von Langner (2005) und im Rahmen von Forschungsprojekten (Sous et al., 2014; Bachinger et al., 2022) zusammengetragen und auf eine Systematik hin untersucht. Es konnten keine eindeutigen Ergebnisse bezüglich eines vorherrschenden Schadensmechanismus festgestellt werden. Obwohl Bahnen, die Anforderungen an die Eigenschaften nach DIN EN 13859-1 (2014) erfüllen, zeigte sich in der Praxis, dass nicht alle eine ausreichende Dauerhaftigkeit aufweisen. Insbesondere ein unzureichender Widerstand gegen Wasserdurchgang und damit ein möglicher Wasserdurchtritt aufgrund nicht mehr funktionsfähiger Funktionsschicht bis hin zu sich komplett auflösenden Bahnen wurden als Schäden ermittelt (Sous et al., 2014). Unzureichende Alterungsbeständigkeit der verwendeten Produkte als Ursache konnte bisher nicht ausgeschlossen werden.

Bevor weiterführende experimentelle Untersuchungen zum tatsächlichen Alterungsverhalten von UDB/USB durchgeführt werden, bedurfte es eines systematischen Überblickes über die vorhandenen Bahntypen. Grundlegend werden zuerst die verschiedenen Einbausituationen und Anforderungen an UDB/USB erläutert und die alterungsrelevanten Einwirkungen auf die Bahnen im Einbauzustand zusammenfassend analysiert. Des Weiteren wird das Ergebnis einer umfangreichen Marktrecherche, der in Deutschland angebotenen diffusionsoffenen UDB/USB dargestellt, in der die Eigenschaften, technischen Spezifikationen und verwendeten, angegebenen Materialien und Schichten dokumentiert und ausgewertet wurden. Darauf aufbauend wurden charakteristische Materialgruppen definiert und in einem ersten Schritt für die Funktionsschichten mögliche zu untersuchende Alterungsmechanismen abgeleitet.

Unterdeck- und Unterspannbahnen

Einbausituation und Funktion

Über die gesamte Lebensdauer hinweg müssen Unterdeck- und Unterspannbahnen in einem Steildach einen verlässlichen Schutz gegen eindringende Feuchtigkeit für die darunterliegende Konstruktion (Wärmedämmung, Sparren) sicherstellen. Während der Bauzeit bilden sie als Behelfsdeckung die äußerste Schicht und gewährleisten die Schlagregensicherheit des Daches bis die Dachdeckung verlegt ist. Anschließend im fertigen Bauzustand (gedeckter Zustand) wird der Witterungsschutz des Daches vorrangig von der Dacheindeckung übernommen. Die Dachbahnen bilden nun die zweite wasserführende Ebene unterhalb der Dachdeckung und werden durch ihre Funktion mit dem Begriff der Zusatzmaßnahme im Regelwerk des Deutschen Dachdeckerhandwerks des ZVDH (Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks e.V.) definiert. Allerdings können schuppenförmige Dachdeckungen nicht vollständig verhindern, dass dennoch regelmäßig Feuchtigkeit z.B. in Form von windinduzierten Schlagregen, Flugschnee oder abtropfendes Tauwasser (in der Praxis auch mit Kondenswasser bezeichnet) unter die Eindeckung in den sogenannten Hinterlüftungsraum dringen.

Auch im Falle eines eventuellen Schadens (wie z.B. Sturmschäden) kann es zu einem unplanmäßigen Wassereintritt kommen. Ein ausreichender Wasserdurchgangswiderstand der Bahnen ist daher notwendig, um die darunter befindliche Konstruktion zu schützen. Es wird dabei je nach Einbausituation zwischen einer Unterdeckbahn (UDB), die auf Sparren, Zwischensparrendämmung, Schalung oder Dämmung flächig aufliegt, und einer Unterspannbahn (USB), die zwischen den Sparren frei gespannt ist, unterschieden (ZVDH, 2024a). Unterspannbahnen sind konstruktionsbedingt auf ihrer Unterseite belüftet. Die beiden prinzipiell verschiedenen Einbausituationen sind in Abbildung 1 und 2 dargestellt.

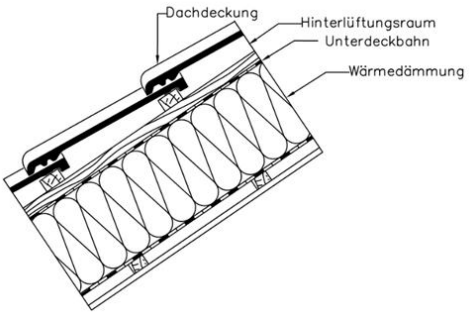

Abbildung 1: Unbelüftete Dachkonstruktion mit Unterdeckbahn (UDB)

Für Neubaukonstruktionen stellt die unbelüftete Dachkonstruktion (Abb. 1) den heutigen Stand der Technik dar. Die seit den 1990er Jahren gestiegenen Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz und die daraus resultierenden erhöhten Dämmschichtdicken sowie das zusätzliche Ziel möglichst auf chemischen Holzschutz zu verzichten, führte zu Konstruktionen mit vollständig gedämmten Sparrenzwischenräumen, das heißt ohne Belüftungsebene (Thiele & Leimer, 2016). Bauphysikalisch sinnvoll funktionieren diese Konstruktionen allerdings nur durch die Entwicklung von diffusionsoffenen Unterdeckbahnen. Unterspannbahnen sind heute vor allem in unausgebauten, ungedämmten Steildächern zu finden. UDB/USB können gleichzeitig auch die Funktion einer Winddichtheitsschicht zur Verhinderung der Durchströmung der Wärmedämmung mit Außenluft nach DIN 4108-7 (2011) übernehmen.

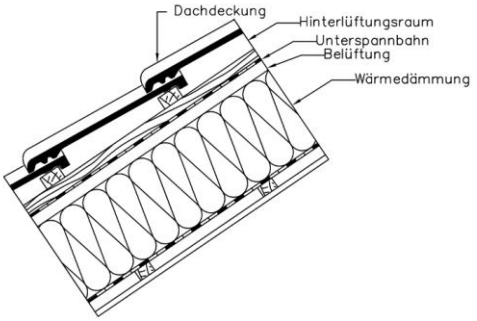

Abbildung 2: Belüftete Dachkonstruktion mit Unterspannbahn (USB)

Anforderungen

Aus den Einbausituationen ergeben sich die verschiedenen Funktionen und daraus auch die wichtigsten Anforderungen an UDB/USB:

- Widerstand gegen Wasserdurchgang
- Schlagregensicherheit
- Diffusionsoffenheit (Wasserdampfdurchlässigkeit)
- Winddichtheit (Widerstand gegen Luftdurchgang)
- mechanische Festigkeit
- Dauerhaftigkeit

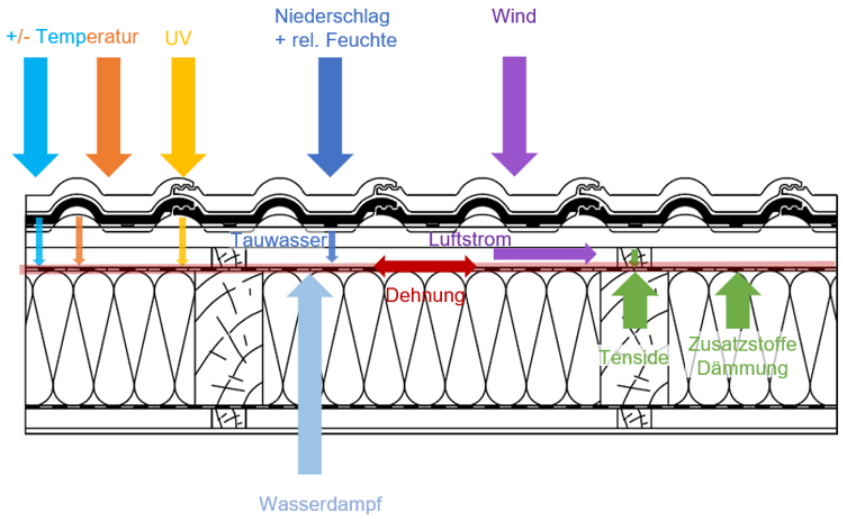

Abbildung 3: Einwirkungen auf diffusionsoffene Unterdeckbahnen im gedeckten Zustand

Die Eigenschaften von UDB/USB werden in DIN EN 13859-1 (2014) geregelt. Diese definiert auch die Prüfbedingungen inklusive des Nachweises der Dauerhaftigkeit der Bahnen mittels künstlicher Alterung im Labor. Darüber hinaus werden vom ZVDH (2024b) im „Produktdatenblatt für Unterdeckbahnen und Unterspannbahnen“ die Mindestanforderungswerte festgelegt und zusätzlich die Schlagregenprüfung sowie erhöhte Temperaturrandbedingungen gegenüber DIN EN 13859-1 gefordert. Diese Alterungsverfahren, welche erhöhte Temperatureinwirkungen und UV-Strahlungseinwirkung beinhalten, scheinen allerdings derzeit noch nicht die realen Einflussgrößen auf die tatsächlichen Alterungsprozesse der verschiedenen Bahnen im Einbauzustand hinreichend genau abzubilden.

Bedingt durch die Einbausituation unterhalb der Dachdeckung kommt hinzu, dass Schäden an UDB/USB nicht einsehbar sind und daher meist nur zufällig oder bei einem bereits vorangeschrittenen Feuchteschaden erkannt werden.

Einwirkungen

Durch die verschiedenen Nutzungsphasen der Dachbahnen ergeben sich auch unterschiedliche Einwirkungen auf die Bahnen. So kann grundlegend die Bauphase (Freibewitterung) und die Hauptnutzungsphase (gedeckter Zustand) unterschieden werden. Die Intensität der verschiedenen Einwirkungen ist abhängig von der Dauer der Freibewitterung aber auch von der Einbausituation, wie Standort, Orientierung, Dachaufbau, Art der Dachdeckung oder eventuell vorhandener PV-Anlagen. In Abbildung 3 sind die grundlegenden Einwirkungen auf diffusionsoffene Unterdeckbahnen während der Hauptnutzungsphase im gedeckten Zustand aufgeführt. Die Bahnen sind in dieser Phase vor direkter Bewitterung geschützt und die meisten Einwirkungen wirken nun weniger intensiv dafür aber längerfristig. Bedingt durch das maßgebende Außenklima ergeben sich wechselnde Temperaturen und relative Luftfeuchten im Hinterlüftungsraum. Flüssigwasser, in Form von eindringenden Schlagregen/Flugschnee oder abtropfendes Tauwasser von der Unterseite der Dachdeckung kann auf die Dachbahn einwirken. Durch die wind- und thermisch induzierte Belüftung in der Hinterlüftungsebene kommt es zu einem an der Bahn kontinuierlich vorbeistreichenden Luftstrom. Die auftreffende Solarstrahlung (UV-Strahlung) kann bei bestimmten Dachdeckungen auch durch die Stöße bis zur Dachbahn vordringen, wenn auch in geringem Umfang. Außerdem können Wasserdampf aus dem Nutzungsraum, Zusatzstoffe aus Wärmedämmung, Stoffe aus dem Konstruktionsholz (Harz, Holzschutzmittel) sowie Betriebsmittel (Kettensägenöl) auf die Bahn einwirken. Mechanische Beanspruchungen und Dehnungen können aus Spannungen (z.B. infolge thermischer Verformungen) oder durch mechanische Belastungen beim Einbau oder der Nutzung (Winddruck/Windsog) resultieren.

Technologien

Über die Jahre wurden verschiedene Bahntypen aus unterschiedlichen Materialien und Schichten mit verschiedenen Herstellverfahren entwickelt, die heutzutage insbesondere die beiden Anforderungen hoher Wasserdurchgangswiderstand bei gleichzeitiger Diffusionsoffenheit mit einer Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke (s_d-Wert) von weniger als 0,5m vereinen. Langner (2005) beschreibt, dass die Bahnen aus Trägerschichten, die verantwortlich für die Stabilität sind, und aus sogenannten Funktionsschichten, die den ausreichenden Widerstand gegen Wasserdurchgang sicherstellen, bestehen. Hinsichtlich des grundsätzlichen Aufbaus können verschiede Typen unterschieden werden. Die Bahnen können als mehrschichtiges Produkt ausgeführt sein und bestehen dann aus mindestens zwei

Vliesschichten mit einem eingebetteten Funktionsfilm (Vlies-Film-Kombination). Es wird technologisch in mikroporöse und monolithische Funktionsfilme unterschieden. Zusätzlich können ggf. Gittereinlagen zur Verstärkung eingebracht werden. Des Weiteren gibt es Bahnen, die aus einem Trägervlies bestehen, das ober- oder beidseitig mit einer Beschichtung als Funktionsschicht versehen wird. Als eine Sonderform gelten Bahnen aus Spinnvlieskombinationen die gleichzeitig Funktionsschicht und Trägerschicht bilden (ebd.).

Datenerhebung

Um einen grundlegenden Überblick über die auf dem deutschen Markt verfügbaren diffusionsoffenen UDB/USB zu gewinnen, erfolgte eine systematische zweistufige Datenerhebung. Im Jahr 2020 erfolgte eine erste Recherche und Zusammenstellung von möglichen Produkten im Rahmen der Abschlussarbeit (Nest, 2021) unter anderem durch gezielte Experteninterviews. Im Jahr 2023 wurde die Datenerfassung erweitert und gezielt Informationsbroschüren, Produktdatenblätter, DoPs, ETAs und weitere veröffentlichte technische Dokumente zusammengetragen und ausgewertet. Dabei wurde sowohl auf frei verfügbare Unterlagen im Internet zugegriffen als auch gezielt Hersteller angefragt. Bei der Datenerhebung wurden, sofern verfügbar, die folgenden Daten zusammengetragen:

- Materialkennwerte (z.B. s_d-Wert, Dicke, Flächengewicht, Zug-Dehn-Festigkeit, Wasserdurchgangswiderstand, Brandverhalten, Dehnung, Kaltbiegeverhalten, Alterungskennwerte etc.)
- Angaben zur Anzahl der Schichten
- Angaben zum Material bzw. Aufbau der Funktions- bzw. Trägerschichten
- Angaben zur Technologie

Während die Deklaration der Materialkennwerte in den Produktdatenblättern durch den ZVDH gefordert wird und diese daher größtenteils vorliegen, war die Erfassung des Schichtenaufbaus, der Technologie und der vorhandenen Materialien für viele Produkte nur lückenhaft möglich. In vielen Fällen wurde auf die explizite Nennung der verwendeten Materialien verzichtet und es wurden eher Materialgruppen oder Technologien beschrieben. Außerdem entsprachen die verwendeten Kurzbezeichnungen der Materialien, zum Teil vermutlich aus Marketinggründen der Hersteller, keiner einheitlichen korrekten Grundlage, sondern mussten im Rahmen der Auswertung nachträglich vereinheitlicht werden. Eine Erfassung der Herstellverfahren war auf Grund der geringen Datenverfügbarkeit nicht möglich. Insgesamt umfasst die Produktdatensammlung 235 Bahnen von 36 verschiedenen Vertriebsfirmen. Die Vielzahl an Bahnen resultiert aus den auf die verschiedenen Anwendungsbereiche ausgerichteten Produktpalette. Allerdings ist bekannt, dass Produkte auch als sogenannte Private-Label-Produkte (gleicher Hersteller mit verschiedenen Markennamen) vertrieben werden, so dass auch Produktdoppelungen nicht ausgeschlossen werden können.

Ergebnisse

Die Produktdatensammlung wurde einmalig systematisch ausgewertet und soll als Datengrundlage für die geplanten weiteren Untersuchungen dienen.

Bahntypen

Die meisten Bahnen konnten auf Grund ihres Aufbaus eine der fünf Bahntypen (Technologien) zugeordnet werden:

(1) Spinnvlieskombination
(2) mikroporöse Funktionsschicht (Film) zwischen Trägervliesen
(3) monolithische Funktionsschicht (Film) zwischen Trägervliesen
(4) beschichtetes Vlies mit monolithischer Oberschicht
(5) beschichtetes Vlies mit monolithischer Ober- und Unterschicht

Lediglich 6% der Bahnen konnten entweder nichteindeutig oder keinem Bahntyp zugeordnet werden. Die Verteilung der Bahntypen über die erhobenen Gesamtprodukte ist in Abbildung 4 dargestellt.

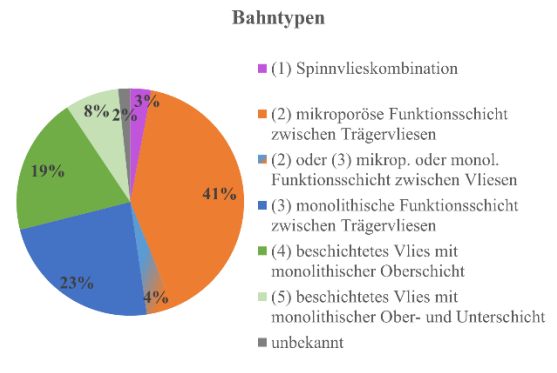

Abbildung 4: Verteilung der erhobenen Bahntypen

Die Auswertung der Bahntypen hinsichtlich der angegebenen Materialien von Funktionsschicht(en) und Trägerschicht ergab viele mögliche Variationen. Bahnen als Spinnvlieskombination konnten eindeutig einem Hersteller zugeschrieben werden und bestehen stets aus PE-HD (Polyethylen mit hoher Dichte). Überdies ergaben sich für die restlichen Bahnen zwei verschiedene Arten von Trägervliesen: PP (Polypropylen) und PET (Polyethylenterephthalat, Polyester). Die Vielfalt der möglichen Materialien der Funktionsschicht ist hingegen eher groß. Die mikroporöse Funktionsschichten zwischen Vliesen, für die das Material angeben wurde, bestehen immer aus einem Polyolefin, also PP (Polypropylen) und/oder PE (Polyethylen). Wogegen monolithische Funktionsschichten zwischen Vliesen aus thermoplastischen Elastomeren (TPEs) entweder aus

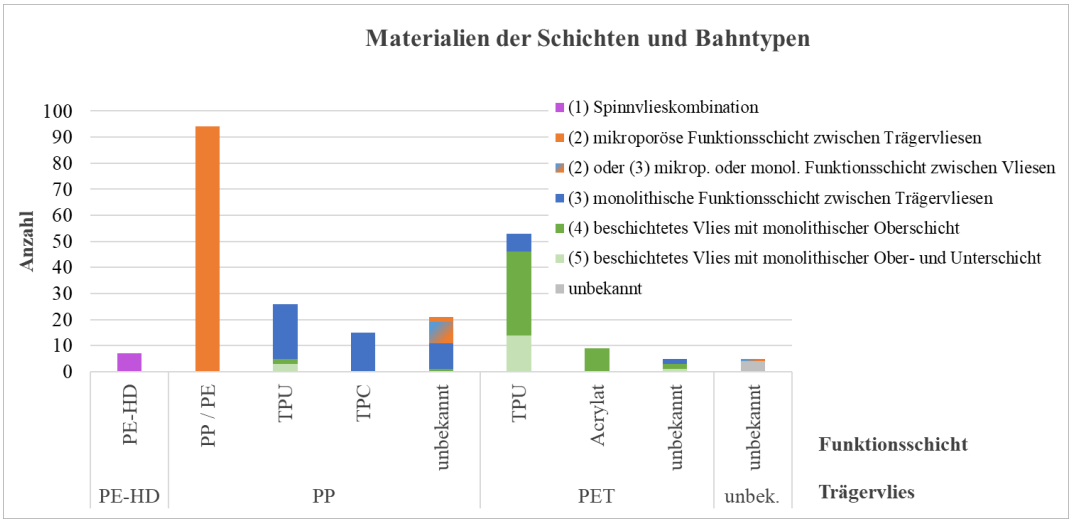

Abbildung 5: Verteilung der angegeben Materialien der Schichten hinsichtlich Bahntyp

einem TPU (thermoplastischen Elastomer auf Basis von Polyurethan, früher TPE-U) oder einem TPC (thermoplastisches Copolyesterelastomer, früher TPE-E) bestehen. Die überwiegende Anzahl an beschichteten Vliesen, also mit monolithischer Obersicht oder mit monolithischer Ober- und Unterschicht bestehen aus einem PET-Vlies (Polyester) mit einer Beschichtung, i.d.R. aus TPU, selten aus Acrylat. Ein eher wenig eingesetztes Trägervlies für diese Bahntypen ist PP. Die Auswertung der Materialien der Funktions- und Trägerschichten in Bezug zum vorliegenden Bahntyp ist in Abbildung 5 dargestellt.

Zuordnung der Alterungseinflüsse

Aus den erfassten Daten lassen sich Schlussfolgerungen hinsichtlich der zu untersuchenden Alterungseinflüsse auf die verschiedenen Materialien ziehen. Hierbei sind sowohl die Materialien der Funktions- als auch die der Trägerschicht relevant. Beide leisten einen wichtigen Beitrag (Wasserdurchgangswiderstand, Festigkeit) zur ausreichenden Dauerhaftigkeit der Bahnen. Für die weitere Auswertung wurde nur das Material der Funktionsschichten betrachtet. Die vorhandenen Materialien der Funktionsschichten von UDB/USB lassen sich in drei verschiedene Materialgruppen: Polyolefine, Thermoplastische Elastomere (TPE) und Polyacrylate zusammenfassen. Gleichzeitig zeigte sich, dass die vorher festgelegten Bahntypen hinsichtlich ihrer Funktionsschicht einer Materialgruppe zugeordnet werden können. Die Zusammenstellung ist der Tabelle 1 zu entnehmen.

Für die verschiedenen identifizierten Materialgruppen können aus Dahlmann et al. (2019) unter Einbeziehung der Auswertung von Treml (2023) dominierende Alterungsmechanismen, neben der bekannten UV-Strahlungsinduzierten Alterung identifiziert werden.

Bei allen Materialgruppen handelt es sich um Polymerwerkstoffe, daher hat die UV-strahlungsinduzierte Alterung stets einen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit. Für die Gruppe der Polyolefine lässt sich insbesondere der (thermo-)oxidative Abbau als dominierender Alterungsmechanismus nennen, der durch eine erhöhte Temperatur aber auch durch eine stetige Sauerstoffzufuhr durch einen vorbeistreichenden Luftstrom beschleunigt werden kann. Für die Materialiengruppen der thermoplastischen Elastomere (TPE) in der Funktionsschicht gilt eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber dem Alterungsmechanismus der Hydrolyse (Treml, 2023), der durch eine erhöhte relative Feuchte bzw. Wasser beschleunigt wird.

Tabelle 1: Übersicht der kritischen Alterungsmechanismen der Materialgruppen von Funktionsschichten (FS)

	Funktionsschicht		**kritischer Alterungs-mechanismus (neben UV)**	**abgebildete Einwirkung**
Bahntypen	**Material**	**Materialgruppe**		
(1) Spinnvlieskombination	PE-HD	Polyolefine	(thermo-) oxidativer Abbau	Temperatur, Luftstrom
(2) mikroporöse FS zwischen Trägervliesen	PP /PE			
(3) monolitische FS zwischen Trägervliesen	TPC (TPE-E) TPU (TPE-U)	Thermoplastische Elastomere (TPE)	Hydrolyse	rel. Feuchte, Niederschlag, Wasserdampf, Tauwasser
(4) bzw. (5) beschichtetes Vlies mit monolithischer Ober- bzw. Ober- und Unterschicht				
	Acrylat	Polyacrylate		

Die oben zusammengestellten Einwirkungen können jeweils dem kritischen Alterungsmechanismus zugeordnet werden. In anzustellenden Materialuntersuchungen sind daher insbesondere die aufgeführten kritischen Alterungsmechanismen zu untersuchen.

Weitere genannte Einwirkungen auf die Bahn, wie Verschmutzung durch Betriebsmittel, Wirkung von Zusatzstoffen in Dämmung und Holz werden als singuläre Einflussfaktoren eingestuft und sind in gesonderten Alterungsprüfungen zu betrachten.

Zusammenfassung und Ausblick

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass die auf dem deutschen Markt verfügbaren UDB/USB trotz zahlreicher vorhandener Produktvarianten verschiedenen Bahntypen hinsichtlich des Schichtenaufbaus und der angegebenen Materialien zugeordnet werden können. Des Weiteren konnten in einem ersten Schritt für die Funktionsschichten Materialgruppen identifiziert werden, denen neben der bekannten UV-Alterung noch der kritische Alterungsmechanismus des (Thermo-)oxidativen Abbaus bzw. der Hydrolyse zugeordnet werden kann. Diese decken die grundlegend festgestellten Einwirkungen auf UDB/USB ab.

Bei zukünftigen Untersuchungen hinsichtlich der Alterungsbeständigkeit der Funktionsschichten von UDB/USB sind diese drei grundlegenden Alterungsmechanismen hinreichend genau mit ihrer Wirkung zu untersuchen. Die Intensität der Einwirkungen während der Nutzungsphasen ist abzuschätzen und auf die künstlichen Alterungsverfahren im Labor zu übertragen.
Ergänzend zu den Untersuchungen der Funktionsschicht sind in einem nächsten Schritt auch die Trägerschichten zu betrachten. Hinzuzufügen ist auch, dass durch die ständige Weiterentwicklung der Bahntechnologien auch weitere Materialgruppen zukünftig hinzukommen können.

Literatur

Bachinger, J., Tieben, J., Wolffhardt, R. & Nusser, B. (2022). *PuPURA. Planungssicherheit und Prognostizierbarkeit von Unterdecksystemen bzgl. Regendichtheit und Alterungseinflüssen. Endbericht*. HFA-Nr. 49410. Wien: Holzforschung Austria.

Dahlmann, R., Haberstroh, E. & Menges, G. (2019). *Menges Werkstoffkunde Kunststoffe*. Hanser eLibrary. 7. Auflage. München: Hanser.

DIN 4108-7 (2011). *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele*.

DIN EN 13859-1 (2014). *Abdichtungsbahnen - Definitionen und Eigenschaften von Unterdeck- und Unterspannbahnen - Teil 1: Unterdeck- und Unterspannbahnen für Dachdeckungen*.

Langner, N. (2005). *Kurzzeitversuche zur baupraktischen Einstufung des Langzeitverhaltens diffusionsoffener Polymerfolien für Dachkonstruktionen*. Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Stadtplanung, Brandenburgische Technische Universität Cottbus.

Messer, J. (2007). Unterdeckung in der Auflösung. *Das Dachdecker-Handwerk: DDH; Zeitschrift für Dach-, Wand- und Abdichtungstechnik*. 13/2007. p.pp. 6–10.

Nest, Y.A. (2021). *Marktrecherche und Vergleich vorhandener Produkttypen von Unterspann- und Unterdeckbahnen*. Bachelorarbeit. Technische Universität Berlin, Fachgebiet Bauphysik und Baukonstruktionen.

Sous, S., Zöller, M. & Oswald, R. (2014). *Dauerhaftigkeit von diffusionsoffenen Unterspann- und Unterdeckbahnen unter Eindeckungen: Abschlussbericht*. Forschungsinitiative ZukunftBau F 2886. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl.

Thiele, R. & Leimer, H.-P. (2016). Rückblick auf 25 Jahre diffusionsoffene Dachbahn für das Steildach. In: *Bauinstandsetzen und Bauphysik: 32. Internationales WTA-Kolloquium. gestern - heute - morgen*. 2016, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

Treml, S. (2023). (Fehlende?) Alterungsbeständigkeit von Unterdeck- und Unterspannbahnen. In: *49. Aachener Bausachverständigentage 2023. Gebäudehülle und Innenräume. Abdichtungen, Brandschutz, Begrünungen*. 2023, Aachen: Selbstverlag 2023, p. 17.1-17.6.

ZVDH (2024a). *Merkblatt für Unterdächer, Unterdeckungen und Unterspannungen*. Ausgabe April 2024. Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks - Fachverband Dach-, Wand- und Abdichtungstechnik - e. V.

ZVDH (2024b). *Produktdatenblatt für Unterdeckbahnen und Unterspannbahnen*. Ausgabe April 2024. Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks - Fachverband Dach-, Wand- und Abdichtungstechnik e.V.