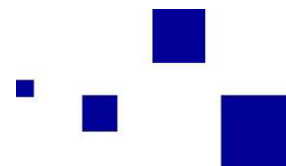


Schlagregenprüfung nach dem Verfahren der Technischen Universität Berlin



INGENIEURE FÜR
DAS BAUWESEN

Prof. Vogdt & Oster
Partnergeseellschaft mbB

Prof Dr-Ing
Frank U. Vogdt

Prüfprogramm

Büro
Gardeschützenweg 142
12203 Berlin

Fon
+49 172 301 55 68

Mail
vogdt@ifdb-berlin.de

Partnerschaftsregister
Amtsgericht Charlottenburg
PR 256

**Nachweis der Schlagregensicherheit mit dem Verfahren der
TU Berlin gemäß Produktdatenblatt für Unterspannbahnen
(USB) bzw. Unterdeckbahnen (UDB)**

Berlin, 09.06.2022

Dieses Programm umfasst 18 Textseiten.

Inhalt

1	Nachweis der Schlagregensicherheit von Unterspannbahnen (USB) und Unterdeckbahnen (UDB) gemäß Produktdatenblatt.....	3
2	Versuchsstand	4
3	Durchführung der Schlagregenversuche.....	9
4	Beurteilungskriterien	13
5	Zusammenfassung.....	18

1 Nachweis der Schlagregensicherheit von Unterspannbahnen (USB) und Unterdeckbahnen (UDB) gemäß Produktdatenblatt

Der Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks - Fachverband Dach-Wand- und Abdichtungstechnik - e.V (ZVDH) gibt das "Produktdatenblatt für Unterspannbahnen" und das „Produktdatenblatt für Unterdeckbahnen“ heraus.

In den Produktdatenblättern wird sowohl für Unterspannbahnen (der Klasse USB-A und USB-B) als auch für Unterdeckbahnen (der Klasse UDB-A und UDB-B), die als Zusatzmaßnahme für Dachdeckungen im Sinne des „Merkblatt für Unterdächer, Unterdeckungen und Unterspannungen“ Anwendung finden sollen, der Nachweis des Widerstands gegen Schlagregen gemäß dem Schlagregentest der TU Berlin gefordert.

Die Eignung einer Unterspann- bzw. Unterdeckbahn ist vom Hersteller zu deklarieren.

Das Prüfverfahren wurde im Rahmen einer umfassenden Studie an marktgängigen Bahnen für die Erstellung des DINPlus Zertifizierungsprogramms DINCERTCO¹ entwickelt.

Nachfolgend wird das Prüfverfahren der TU Berlin zum "Nachweis der Schlagregensicherheit von Unterdeck- und Unterspannbahnen" beschrieben.

¹ Zertifizierungsprogramm für Unterdeckbahnen nach DIN EN 13859-1, DINCERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH, Berlin.

2 Versuchsstand

Der Schlagregenversuchsstand der TU Berlin wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens² entwickelt. Mit dem Versuchsstand wurde die Möglichkeit geschaffen, auf einer Fläche von ca. 2,5 m² einen weitgehend naturgetreuen Schlagregen im Labor zu erzeugen, wobei eine stufenweise Differenzierung zwischen "leichtem Nieselregen" und "Orkan" erreichbar ist (vgl. Bild 1).



Bild 1: Schlagregenprüfstand der TU Berlin

Zur Erzeugung eines Luftstroms wird ein mit einem Elektromotor (50 kW) angetriebenes Gebläse mit beidseitig ansaugendem Trommelläufer verwendet. Mit dem Gebläse lässt sich eine Windgeschwindigkeit bis maximal 30 m/s erzeugen. In die beiden Ansaugöffnungen des Gebläses wird entsprechend der gewünschten Schlagregenmenge Wasser eingespritzt. Die Wasserstrahlen treffen auf die rotierenden Lüfterflügel, das Wasser wird verteilt, beschleunigt und in Tropfenform abgeschleudert. Hierbei kommt der Einbringung des Wassers, das als Strahl aus Düsen auf die konkav gekrümmte Seite der Schaufelblätter auftrifft und vom Läufer abgeschleudert wird, besondere Bedeutung zu.

² Maerker, B.: Erzeugung eines künstlichen Schlagregens für die Bauteilprüfung; Dissertation TU Berlin, 1983.

In Abhängigkeit der Düseneinstellung kann der Durchmesser der Wassertropfen, die auf die Versuchsfläche auftreffen, beeinflusst werden. In umfangreichen Kalibrierungsvorgängen wurde ein dem natürlichen Tropfenspektrum vergleichbares Tropfenbild nachgebildet. Die beschleunigten Tropfen treten zusammen mit dem Luftstrom an der Ausblasöffnung aus und werden auf den Prüfkörper gelenkt, der in der Regel im Abstand von 1,5 m vor der Ausblasöffnung aufgestellt ist (gemessen vom Strömungsmittelpunkt im Ausblastrichter).

Das im Versuchsstand erzeugte Tropfenspektrum entspricht dabei nach Größe, Verteilung und Wassergehalt dem natürlichen Schlagregenereignis. Die Vergleichsversuche mit natürlichem Schlagregen und im Versuchsstand erzeugtem Regen haben ergeben, dass ein weitestgehend natürlicher Schlagregen erzeugt wird.²

Die Bilder 2 und 3 zeigen das Tropfenspektrum eines im Schlagregenlabor erzeugten Niederschlagsereignisses und das Tropfenspektrum eines natürlichen Schlagregenereignisses (aufgenommen an einer Fassade) jeweils bei einer Messdauer von einer Sekunde. Der Vergleich macht deutlich, dass die Tropfengröße und Tropfenverteilung gut übereinstimmen.²

Es werden Tropfen bis zu einer Größe von 8mm bis 10mm erzeugt. Da die Tropfen die gleiche Geschwindigkeit wie die Luft im Ausblastrichter aufweisen, besitzen die Einzeltropfen die gleiche kinetische Energie, wie ein natürlicher Regen, der vom Wind getrieben bewegt wird und auf ein Bauwerk einwirkt. Hierdurch erfolgt eine dem natürlichen Regen entsprechende Beanspruchung, da die auftreffenden Tropfen unmittelbar auf die Oberfläche des Versuchskörpers mit realitätsnaher kinetischer Energie aufprallen und dadurch auf der Oberfläche eine höhere Beanspruchung erzeugen als Tropfen, die durch Düsen austreten oder die von einem Gebläse zu einem Sprühnebel zerstäubt werden. In diesem Zusammenhang ist besonders auf die Grundlagenuntersuchungen von Maerker, die er an der TU Berlin anlässlich seiner Dissertation² durchführte, hinzuweisen. Hier wird u.a. gezeigt, dass durch eine Windanströmung von aus Düsen austretenden Wassertropfen eine Zerstäubung der Wassertropfen stattfindet und die bei natürlichen Schlagregenereignissen vorhandene kinetische Energie der Tropfen nicht erreicht wird.

Prüfprogramm zum Nachweis der Schlagregensicherheit gemäß Produktdatenblatt für Unterspannbahnen (USB) und Produktdatenblatt für Unterdeckbahnen (UDB)

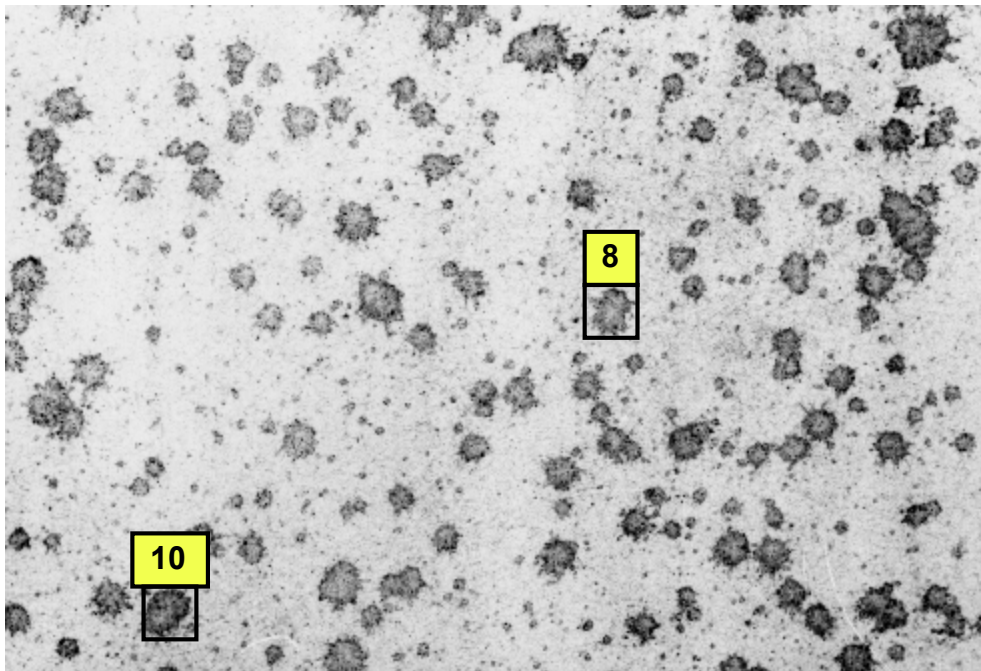


Bild 2: Im Schlagregenprüfstand der TU Berlin erzeugtes Tropfenspektrum²; Windgeschwindigkeit $v = 10 \text{ m/s}$, Wasserzugabe $W = 100 \text{ l/h}$ (hier markiert: max. Tropfengröße 8-10mm)

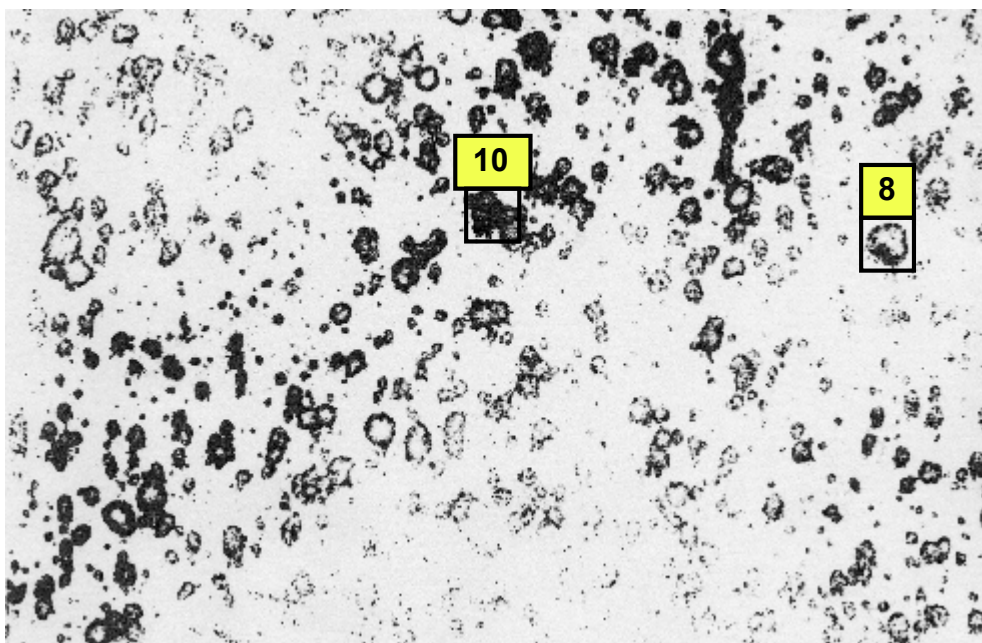


Bild 3: Tropfenspektrum eines natürlichen Schlagregens²; Windgeschwindigkeit $v = 10 \text{ m/s}$ (hier markiert: max. Tropfengröße 8-10mm)

Prüfprogramm zum Nachweis der Schlagregensicherheit gemäß Produktdatenblatt für Unterspannbahnen (USB) und Produktdatenblatt für Unterdeckbahnen (UDB)

Das Bild 4 zeigt einen Aufbau des Beregnungsfeldes für Unterdeck- und Unterspannbahnen³. Die zu untersuchende Bahn wird auf einem Prüfrahmen aufgespannt und senkrecht in 1,5 m Abstand vor der Ausblasöffnung des Schlagregenversuchsstandes montiert.

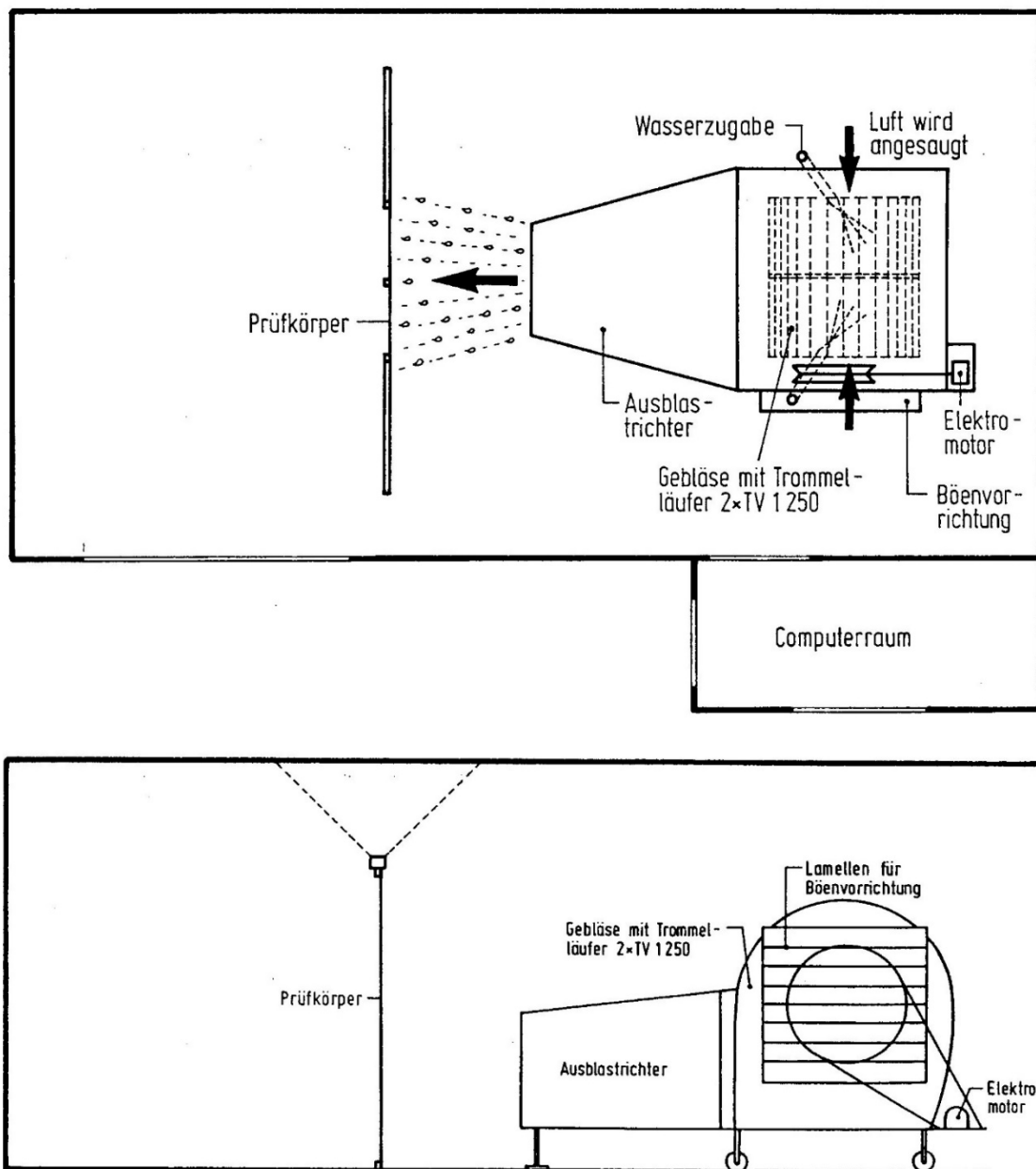


Bild 4: Skizze des Schlagregenversuchsstandes zur Untersuchung von Unterdeck- und Unterspannbahnen³

³ Fechner, Otto und Vogdt, Prof. Dr.-Ing Frank U. Bauphysik 30 (Heft 2). Berlin: Ernst & Sohn, 2008

Bild 5 zeigt die durch Windanströmung erzeugte berechnete Druckverteilung im Prüfraum. Über die gesamte Probekörperfläche der Unterspannbahn baut sich der Anströmdruck auf, der in Feldmitte ein Maximum aufweist. Der Versuchskörper wird - wie bei der Einwirkung eines natürlichen Regenereignisses - fortlaufend durch die mit hoher kinetischer Energie auftreffenden Tropfen belastet.

Aus der Strömungsberechnung wird deutlich, dass der genauen Ausbildung des Prüfraumes besondere Bedeutung zukommt. Bereits geringe Abweichungen in den Abmessungen wie Länge, Breite und Höhe sowie der Anordnung von Windleitwänden neben und oberhalb der Versuchsfläche verändern die Druckverhältnisse im Versuchsraum und somit die Vergleichbarkeit von Ergebnissen aus den Schlagregenversuchen. Es zeigt sich, dass ohne Beachtung dieser Parameter keine vergleichbaren Ergebnisse zur Erzeugung von Schlagregenereignissen gewonnen werden können, die bei der Festlegung der Klassifizierungen (bestanden / nicht bestanden) Grundlage bildete.

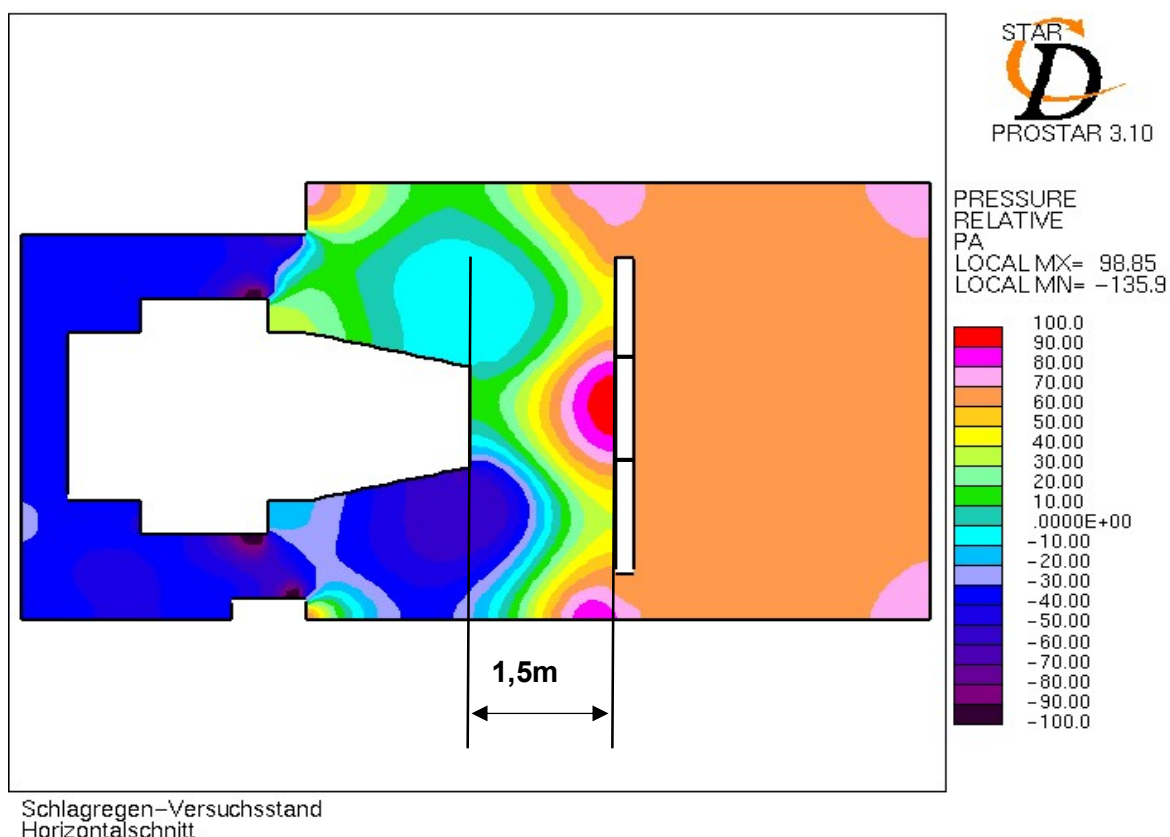


Bild 5: Relative Druckverteilung im Schlagregenversuchsstand der TU Berlin³

3 Durchführung der Schlagregenversuche

Gemäß den Produktdatenblättern für Unterspannbahnen bzw. für Unterdeckbahnen vom ZVDH wird die Schlagregensicherheit im Schlagregenversuchsstand der TU-Berlin bestimmt. Des Weiteren besteht die Möglichkeit einer zusätzlichen Zertifizierung gemäß Anhang A des DIN Plus Zertifizierungsprogramms von Unterdeck- und Unterspannbahnen für Dachdeckungen von DINCERTCO¹. Die Schlagregensicherheit wird hierbei mit gesteigerten Versuchsrandbedingungen (Niederschlagsmenge, Versuchsdauer) nachgewiesen.

Die zu prüfende Bahn wird einer dreistufigen Schlagregenbelastung mit unterschiedlichen Klimabedingungen gemäß Tabelle 1 ausgesetzt. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt 17,3 m/s bzw. 62,4 km/h (unter Berücksichtigung der Schließzeit). Für Bahnen deren Schlagregensicherheit gemäß den Produktdatenblättern und nachgewiesen werden soll (Kategorie USB-A/USB-B bzw. UDB-A/UDB-B), beträgt die Gesamtprüfzeit 2,5 h und die Gesamtniederschlagsmenge 138 mm, mit einer mittleren Niederschlagsmenge von 28 mm/h.

Für Bahnen, die erhöhte Anforderungen nach dem Zertifizierungsprogramm DINCERTCO¹ erfüllen sollen, beträgt die Gesamtprüfzeit 3,0 h und die Gesamtniederschlagsmenge 165 mm. Die mittlere Niederschlagsintensität während der gesamten Versuchsdauer beläuft sich auf 55 mm/h.

Stufe	Zeit [h]	Niederschlags- menge [mm/h]	Windgeschwindigkeit		
			[m/s]	[km/h]	Beaufort
1	1,0	50	16	57,6	7
2	1,0	60	20	72,0	8
3	0,5 ^{*)} bzw. 1,0 ^{**)}	28 ^{*)} bzw. 55 ^{**)}	20	72,0	8 in Böen ^{***)}

^{*)} ZVDH / ^{**)} DINCERTCO / ^{***)} 4 Sek. Schließzeit, 16 Sek. Öffnungszeit

Tabelle 1: Klimarandbedingungen zur Ermittlung des Schlagregenwiderstandes von Unterspann- und Unterdeckbahnen gemäß Produktdatenblätter bzw. DINCERTCO

Prüfprogramm zum Nachweis der Schlagregensicherheit gemäß Produktdatenblatt für Unterspannbahnen (USB) und Produktdatenblatt für Unterdeckbahnen (UDB)

Die vorstehend aufgeführten Versuchsbedingungen haben sich in Vergleichsuntersuchungen⁴ an Unterdeck- und Unterspannbahnen als sinnvoll erwiesen.

Die zu prüfende Bahn wird auf einen Prüfrahmen gespannt, der vor der Ausblasöffnung des Schlagregenversuchsstandes montiert wird. Dieser Prüfrahmen ist durch horizontal und vertikal angeordnete Sparren in vier Felder unterteilt. Die Untersuchungen werden im gestrichelt dargestellten Rahmenbereich, der sich in einen Beobachtungs- und einen Messbereich aufteilt, vorgenommen (vgl. Bild 6 und 7, sowie Tabelle 2).

Auf den vier Untersuchungsfeldern werden drei unterschiedliche Verlegearten ausgeführt und gleichzeitig geprüft: frei gespannt, auf Wärmedämmung (weiche Unterlage) und auf Holzschalung (harte Unterlage).

Feld	Verlegung
1 und 2	frei gespannt (linkes und rechtes Feld), Sparren (vertikal)
3	weiche Unterlage - Wärmedämmung
4	harte Unterlage - sägerauhe Schalbretter

Tabelle 2: Untersuchte Verlegearten



Bild 6: Blick auf das Messfeld (nicht berechnete Rückseite)³

⁴ Schlagregenwiderstand von Unterdeck- und Unterspannbahnen für Dachdeckungen im Schlagregenversuch. Vergleichende Untersuchung von Bahnen im Rahmen des DINplus Zertifizierungsprogramms. Prüfbericht der TU Berlin, Fachgebiet Allgemeiner Ingenieurbau, Prüfbericht VR 1519 vom 17. September 2002.

Prüfprogramm zum Nachweis der Schlagregensicherheit gemäß Produktdatenblatt für Unterspannbahnen (USB) und Produktdatenblatt für Unterdeckbahnen (UDB)

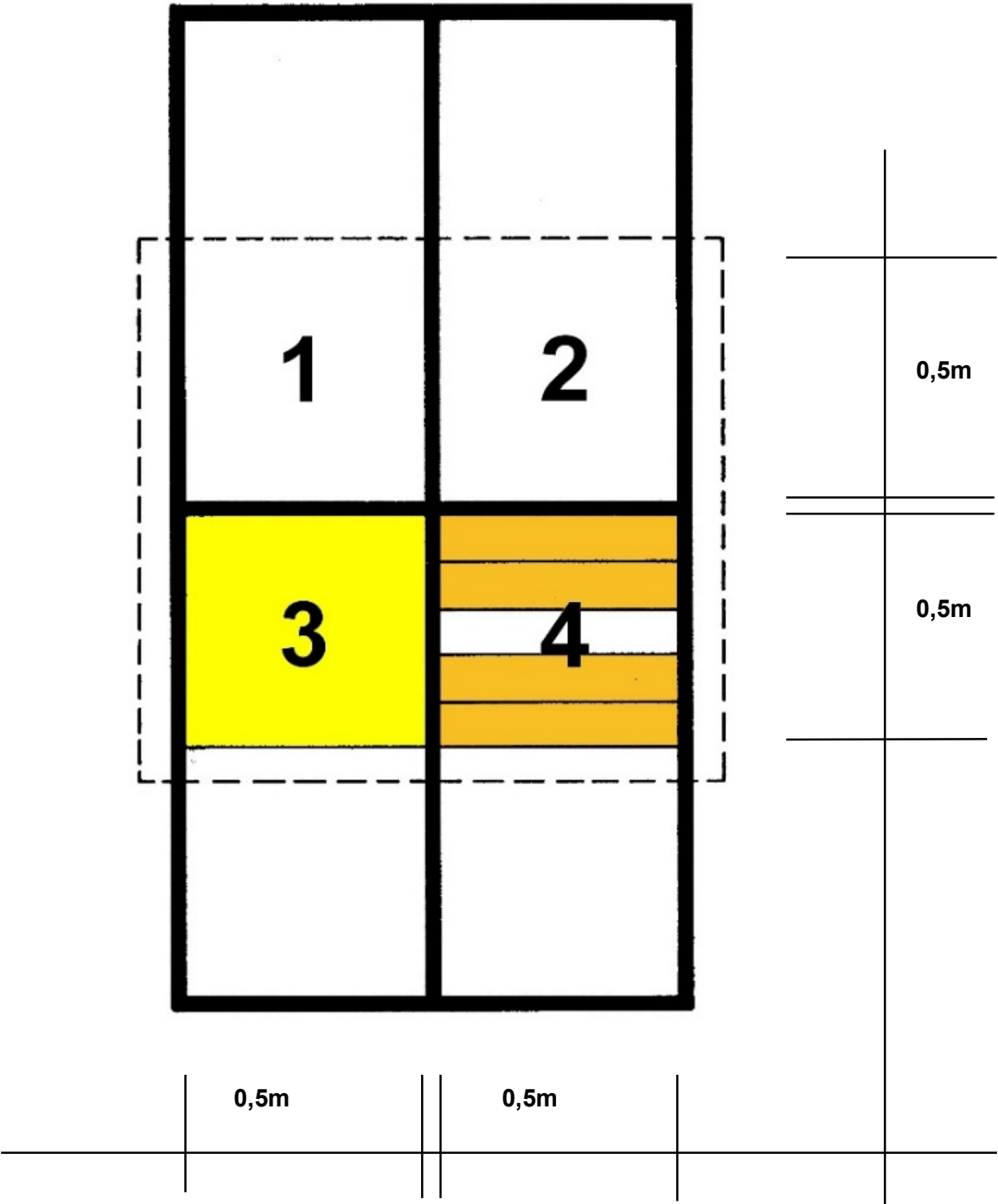


Bild 7: Probekörperaufbau – Ansicht – Einteilung des Mess- und Beobachtungsbereiches³

Damit eine gegenseitige Beeinflussung zwischen den oberen Beobachtungsfeldern einerseits und den unteren Messfeldern andererseits ausgeschlossen werden kann, werden die Felder jeweils mit Fugendichtstoff voneinander getrennt. Der frei gespannte Bereich kann während der Beregnung auf den Feldern 1 und 2 von der Rückseite aus visuell auf Durchfeuchtung hin untersucht werden. Eine Aufzeichnung der Beobachtungen zum Wasserdurchtritt erfolgt dabei alle 15 Minuten.

Im Bereich der weichen und harten Unterlage wird die während der Beregnung ggf. durchgetretene Wassermenge durch Wiegen einer 0,5 m x 0,5 m großen Messplatte bestimmt. Die Messplatten bestehen aus einer Mineralfaserdämmung (weiche Unterlage – Feld 3) bzw. aus mehreren Schalungsbrettern (harte Unterlage - Feld 4). Für die Bestimmung der Gewichtszunahme werden im Abstand von 30 Minuten sowohl die Wärmedämmung als auch die Schalungsbretter als ganze Einheit aus dem Rahmen ausgebaut. Im Bereich der harten Unterlage befindet sich zwischen dem Prüfkörper und den Schalungsbrettern ein dreilagiges Vliespapier, um das durchgetretene Wasser zwecks Wägung aufzunehmen.

Bedingt durch eine Erhöhung der relativen Luftfeuchte im Laborraum während der Beregnung auf etwa 100 % r. F. absorbieren die Messplatten Wasser aus der Luft. Die Messwerte sind jeweils entsprechend zu korrigieren.

4 Beurteilungskriterien

4.1 „Frei gespannter“ Bereich (Feld 1 und 2)

Im Abstand von jeweils 15 Minuten erfolgt die visuelle Untersuchung der Bahnenrückseite. Hierbei wird zwischen einem Wasserdurchtritt im frei gespannten Bereich und im Sparrenbereich unterschieden.

Für die Beurteilung der scheinbar nur bedingt quantifizierbaren visuellen Feststellungen wird das Verfahren von Auernhammer⁵ angewendet, das allgemeingültig und sehr gut geeignet ist.

Ausgehend von der Festlegung einzelner Kriterien mit denen ein Ereignis beschrieben werden kann, lassen sich verschiedene Zustände, die den Grad einer Abweichung vom Idealfall beschreiben, durch eine Bewertungsziffer (a_i) messbar machen. Die Beschreibung der "Art des Wasserdurchtritts" nimmt man zweckmäßigerweise in Form einer Kardinalskala mit einem Wertebereich von 0 bis 10 vor (siehe Tabelle 3):

Bewertung	Bewertungsziffer (a_i)
Unbrauchbar, nicht verwertbar	10
Ungenügend	9
Unzulänglich	8
Sehr mangelhaft	7
Mangelhaft	6
Ausreichend	5
Weniger befriedigend	4
Noch befriedigend	3
Etwas beeinträchtigt	2
Fast nicht beeinträchtigt	1
Mangelfrei, kein Wasserdurchtritt	0

Tabelle 3: Bewertungsziffern a_i zur Beschreibung der Abweichung³

⁵ Aurnhammer, H.E.: Verfahren zur Bestimmung von Wertminderung bei (Bau)Mängeln und (Bau-)Schäden, BauR 5/78

Die Grundlage der Beurteilung der Bahnenqualität bildet das Verhalten der geprüften Bahn im Hinblick auf den "sichtbaren Wasserdurchtritt". Im Idealfall tritt kein "sichtbarer Wasserdurchtritt" auf. Im ungünstigsten Fall laufen dagegen größere Wassermengen zusammen. Es liegt dann eine erhebliche Abweichung vom Idealfall vor.

Folgende Feststellungen zum Wasserdurchtritt werden jeweils im Abstand von 15 Minuten getroffen:

- der Zeitpunkt der ersten Durchfeuchtung,
- die Größe des durchtretenden Tropfens,
- die Zunahme der Tropfengröße,
- die Art des Tropfendurchtritts und
- das Durchdringen von Wasser durch die Bahn im Sparrenbereich.

Die Zuordnung zu einer Bewertungsziffer (a_i) erfolgt nach typischen Tropfenbildern, die sich in Größe, Anzahl und Durchtritt unterscheiden, anhand der nachfolgend beschriebenen Beobachtungsmerkmale in Tabelle 4.

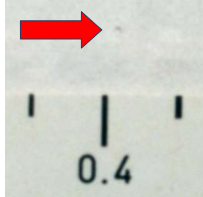



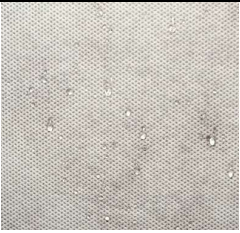

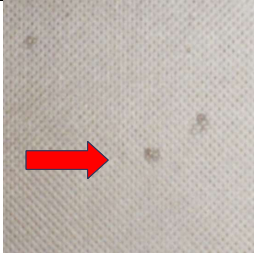


Kriterien	Bewertungsziffer (a_i)		
	0 - 3	4 - 6	7 - 10
Tropfen- größe	 <p>kleine Tropfen Ø 0,1 – 1,0 mm</p>	 <p>mittlere Tropfen Ø 1,0 – 2,5 mm</p>	 <p>große Tropfen Ø 2,5 – 5 mm</p>
Tropfen- anzahl	 <p>Einzelne</p>	 <p>Mehrere</p>	 <p>Viele</p>
Tropfen- durchtritt	 <p>verteilt</p>	 <p>als Tropfen</p>	 <p>ablaufend</p>

Tabelle 4: Bewertungsziffern (a_i) zur Beurteilung des Tropfendurchtritts von Unterdeck- und Unterspannbahnen³

Die Gesamtbeurteilung erfolgt durch die Bewertung der einzelnen Kriterien Tropfengröße, Tropfenanzahl und Art des Tropfendurchtritts für jede Versuchsstufe. Die Beschreibung des "Wasserdurchtritts" wird dabei mittels einer Kardinalskala in einem Wertebereich von 0 bis 10 anhand der in den Tabellen 4 und 5 beschriebenen Merkmale vorgenommen. Abschließend wird aus den so ermittelten Bewertungsziffern für die einzelnen Kriterien und die jeweilige Versuchsstufe die Gesamtbewertungsziffer durch Berechnung des arithmetischen Mittelwertes gebildet.

Kriterien	Bewertungsziffer (a_i)		
	0 - 3	4 - 5	6 - 10
Tropfengröße	Kleine 0,1 - 1,0 mm	Mittlere 1,0 - 2,0 mm	Große 2,0 - 5,0 mm
Tropfenanzahl	Einzelne < 5	Mehrere < 20	Viele > 20
Tropfendurchtritt	verteilt	als Tropfen	ablaufend

Tabelle 5: Bewertungsziffern (a_i) zur Ermittlung der Gesamtbewertungsziffer³

4.2 Feld 3 und 4: Wärmedämmung (weiche Unterlage) und Holzschalung (harte Unterlage)

Im Bereich der weichen und harten Unterlage liegt jeweils ein skalierbares Messergebnis vor. Eine differenzierte direkte Beurteilung des Wasserdurchtrittsverhaltens und somit der Schlagregensicherheit wird damit möglich.

4.3 Festlegung der Beurteilungskriterien

Die Festlegung der Anforderungswerte (siehe Abs. 4.4) erfolgte auf Grundlage von umfangreichen Vorversuchen an handelsüblichen Bahnen mit dem Versuchsstand der TU Berlin. Dabei wurden beispielhaft die Ergebnisse entsprechend Bild 8 – hier für eine harte Auflage – erzielt.

Es zeigte sich, dass die in die Bahn integrierten Bestandteile - wie Trägervlies, Membran, Gittergewebe, Kleber und Hydrophobierungsmittel sowie auch die Dicke einer oberseitigen Beschichtung - den Wasserdurchtritt bei einer Schlagregenbelastung beeinflussen. In Bild 8 sind die Versuchsergebnisse von vier unterschiedlich aufgebauten Bahnen (A, B, C und D) dargestellt, die im Hinblick auf die festgestellte Schlagregensicherheit unterschiedlich zu bewerten sind. Sämtliche Bahnen erfüllen die Anforderungen der DIN EN 13859-1⁶.

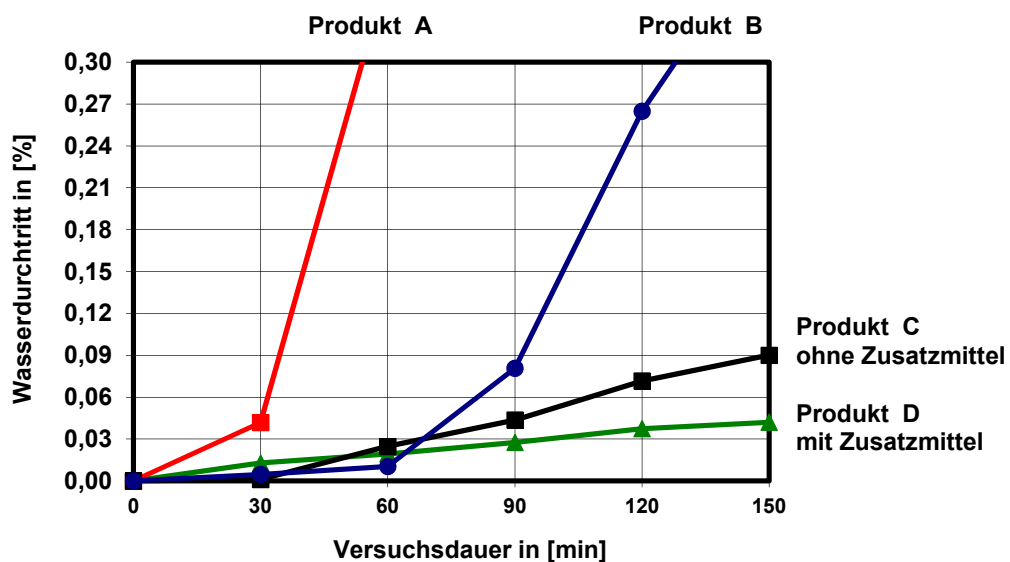


Bild 8: Unterdeckbahn auf Schalung verlegt. Vergleich des Wasserdurchtritts in [%] der Gesamtniederschlagsmenge

Die Bahnen A und B weisen bezüglich der Schlagregensicherheit ein deutliches Versagen auf. Bereits nach 30 bzw. 60 Minuten Versuchsdauer nimmt die Wasserdurchtrittsmenge deutlich zu.

Der Bahnaufbau der Bahnen C und D ist bis auf die Zugabe eines Hydrophobierungsmittels identisch. Der Einfluss der Hydrophobierung wird durch die festgestellte geringere Wasserdurchtrittsmenge des Produktes D deutlich. Beide Produkte verhalten sich deutlich besser.

⁶ DIN EN 13859-1: 2010-11 Abdichtungsbahnen – Definitionen und Eigenschaften von Unterdeck- und Unterspannbahnen – Teil 1: Unterdeck- und Unterspannbahnen für Dachdeckungen

5 Zusammenfassung

Mit der Prüfung der Schlagregensicherheit im Schlagregenlabor der TU Berlin steht ein Verfahren zur Verfügung, das in besonderem Maße geeignet ist, eine Beurteilung der Schlagregensicherheit von Unterdeck- und Unterspannbahnen vorzunehmen. Dabei kann insbesondere die dynamische Einwirkung einer kombinierten Beanspruchung aus Wind und Niederschlag naturgetreu nachgebildet werden.

Es hat sich gezeigt, dass verschiedenartig aufgebaute Unterdeck- und Unterspannbahnen differenziert beurteilt werden können. Den Herstellern von Unterdeck- und Unterspannbahnen steht damit ein Instrument für die Entwicklung von Bahnen zur Verfügung, die im Hinblick auf die Schlagregensicherheit optimiert werden sollen.

Vom ZVDH wird der Nachweis des Widerstandes gegen Schlagregenbeanspruchung für die Einstufung von Unterspann- bzw. Unterdeckbahnen in die Klassen USB-A/USB-B bzw. UDB-A /UDB-B gemäß den Produktdatenblättern gefordert.

Hinausgehend über die beschriebene Untersuchung, können weitere Systemkomponenten und Zubehör von Unterdeck- und Unterspannbahnen für eine Nahtsicherung, die Ausbildung von Durchdringungen sowie An- und Abschlüsse auf Schlagregensicherheit überprüft werden.