

## Anhang 5 zum Abschlussbericht AP „Neue Sensorbauarten für Straßenwetterstationen“

### Verfahrensvorschläge zur Prüfung von Sensoren für Straßenwetterstationen

Die nachfolgenden Beschreibungen sind während der Projektlaufzeit aus den Erkenntnissen der Testfeldergebnisse und dem bekannten Stand der Technik zur möglichen Umsetzung der Verfahren entstanden. Sie sind in dieser Form der CEN-Arbeitsgruppe zu Straßenzustands- und Wetterinformationssystemen als Diskussionsvorschläge zugesandt worden. Einige bisher nicht genau definierte Details (kursiv angegeben) oder dargestellte Optionen sind nach einer praktikablen Umsetzung eindeutig zu beschreiben.

## 1 Vorschrift für die Prüfung der Infrarotsensoren für die Fahrbahnoberflächentemperatur

### 1.1 Allgemeines

Die Prüfung eines Infrarotthermometers erfolgt als Vergleich zu einer Temperaturreferenzmessung. Die Referenzmessung erfolgt unter Verwendung von kleinen Temperatursensoren nahe der Oberfläche eines fahrbahnartigen Prüfkörpers. Die Prüfung wird zur Einschätzung von Umfeldeinflüssen auf die Messverfahren unter freiem Himmel durchgeführt. Eine Simulation der Umfeldeinflüsse im Labor wird derzeit aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten und fehlenden Erfahrungen als nicht umsetzbar angesehen.

Das Infrarotthermometer ist bei den Tests so zu montieren, wie es später an der Fahrbahn zum Einsatz kommen soll. Bei sehr differenzierten Montagemöglichkeiten in Bezug auf Messwinkel und Abstand zur Fahrbahn sind mindesten drei Montageeinstellungen zu prüfen.

### 1.2 Prüfeinrichtung

- Prüfgelände: ebene Fläche (Asphalt, Beton, Kies) ohne Bebauung oder Bewuchs über 20 cm mit einem Durchmesser von >20 m
- Geschlossener Raum, in dem keine natürliche Umgebungsstrahlung eindringt, mit konstanter Lufttemperatur ( $X^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  über 120 min)
- Montagegestell zur Befestigung des Infrarotthermometers mit Prüfkörper

Der zu prüfende Sensor wird an einem Mast mit einer Höhe von x m über der Prüfkörperfläche befestigt. Er ist dabei so zu montieren, dass dessen Unterkante des optischen Senteils eine Höhe von x m zur Prüffläche hat. Dabei muss ein Messwinkel zur Fahrbahnoberfläche einstellbar sein (Bild A5-1). Weitere Angaben zu Montagemaßen siehe Abschnitt 1.3.

In einer Höhe von 30 cm über der Grundfläche ist eine definierte Fahrbahnfläche (Prüfkörper) auf einen definierten Gitterrost (*nach Definition des Prüfkörpers*) aufzulegen. Der Prüfkörper ist in die Messfläche des Sensors waagrecht zur Grundfläche zu positionieren. Er ist aus definierten Asphaltflächen gemäß Norm *ISO 13108-1* oder *EN 12697-33* oder *EN 13197* (ist noch festzulegen, EN 13197 favorisiert) zusammengesetzt. Die Abmessungen der Prüfkörperfläche sind durch die Messflächen des prüfenden Infrarotthermometers bestimmt (siehe Abschnitt 1.3). Der Prüfkörper ist mit Ausnahme der Messfläche mit 10 cm starkem Styropor zu ummanteln.

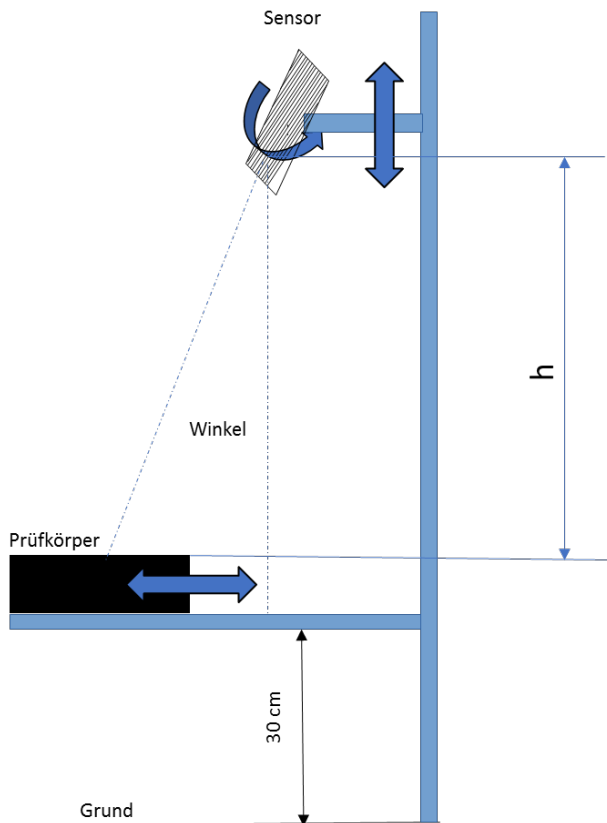


Bild A5-1: Aufbau Montagegestell

– Referenzsensoren:

Option 1: Sensoren durch den Prüfkörper zur Oberfläche

Vier Referenzsensoren sind durch eine senkrechte Bohrung von der Gestellaufgabe des Prüfkörpers an die Messoberfläche des Prüfkörpers zu führen. In diesem Fall kommen Thermoelemente mit einem Durchmesser von  $\leq 1$  mm zum Einsatz, die in der Länge der Durchführung durch den Prüfkörper den gleichen Durchmesser haben. Die Bohrung ist so dünn wie möglich auszuführen ( $< 5$  mm). Mit der Durchführung des Sensors durch die Bohrung ist eine Masse aus Bitumen und feinen Sand mitzuführen, damit keine Hohlräume in der Bohrung nach der Durchführung des Sensors mehr bestehen.

Option 2: Sensoren auf die Oberfläche

Flache Pt100, die auf der oberen Fläche des Prüfkörpers aufgeklebt oder mit der Deckschicht verschmolzen werden, die Kabelanbindung ist durch den Prüfkörper über Bohrungen mit  $\leq 5$  mm zu führen und wie bei Option 1 zu schließen (*derzeit noch keine Erfahrungen zu dieser Montagemöglichkeit*).

Allgemein:

Die Referenzsensoren müssen mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,1^\circ\text{C}$  für den Messbereich von  $-10^\circ\text{C}$  bis  $+10^\circ\text{C}$  kalibriert sein (Kalibrierpunkte bei  $-10^\circ\text{C}$ ,  $0^\circ\text{C}$ ,  $+10^\circ\text{C}$ ).

– Wetterstation

Die Wetterstation dient der Erfassung der Prüfungsbedingungen. Sie muss folgende Parameter erfassen können:

- Lufttemperatur
- Relative Luftfeuchte
- Windgeschwindigkeit/Windrichtung
- Strahlungsbilanz (Wellenlänge 0,3 bis 40  $\mu\text{m}$ )
- Niederschlagsintensität
- Niederschlagsart

Die Sensoren müssen die Anforderungen EN 15518-3 erfüllen (außer Strahlungsbilanz, deren Genauigkeitsanforderungen sind noch zu definieren, Sichtfeld 180° jeweils nach oben und unten). Sie sind in einer Höhe zwischen 1,5 und 2,5 m Höhe zu installieren.

- Kamera mit Nachtsichtfunktion
- Datenerfassungssystem

Es muss ein Datenerfassungssystem mit ausreichend Speicherkapazität für Messdaten und Kamerabilder zur Verfügung stehen.

**Prüfungsdurchführung:**

Installation der Referenzsensoren im Prüfkörper:

Vom Hersteller des zu prüfenden Infrarotthermometers sind die möglichen Montagemöglichkeiten in Bezug auf den Winkel und Höhe (Bild A5-1) anzugeben. Für die Prüfung sind drei Montagepositionen auszuwählen:

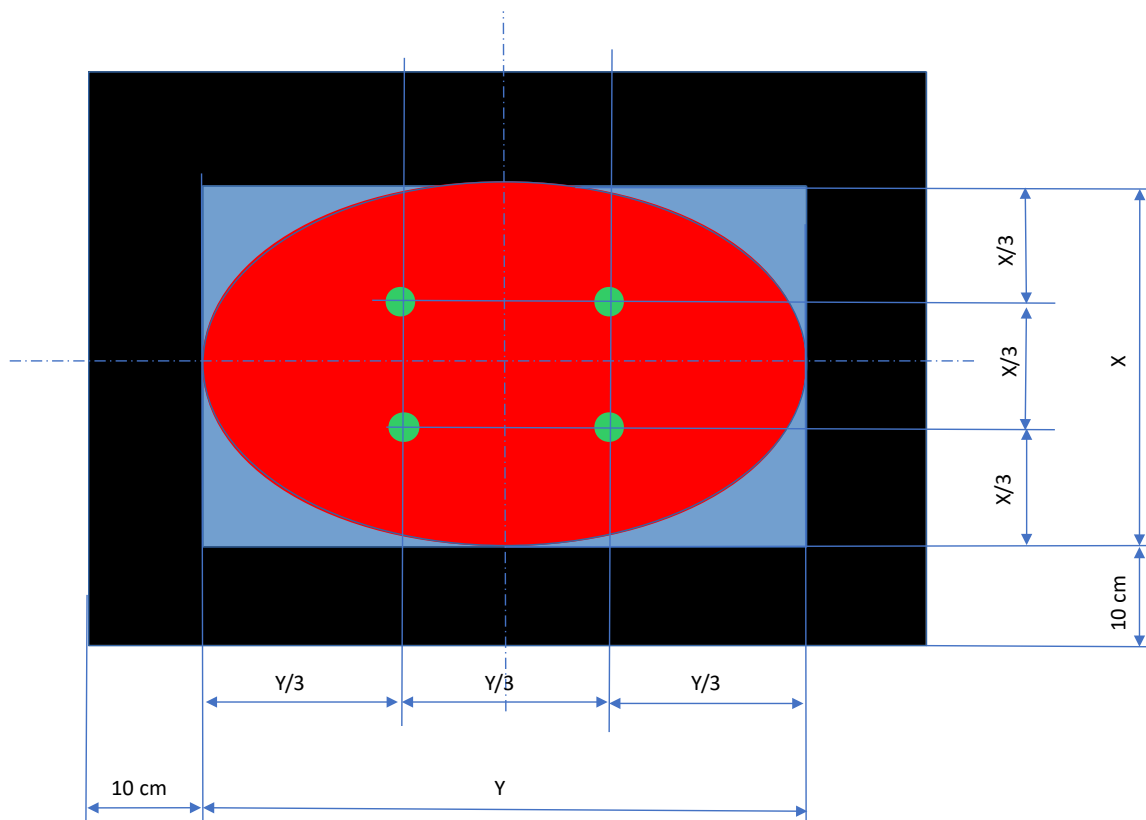
- größter Winkel und höchste Höhe (maximal 6 m)
- kleinster Winkel und geringste Höhe (minimal 2 m)
- und der genau mittlere Bereich zwischen den beiden zuvor genannten Bereichen

Es muss nur die mittlere Einstellung geprüft werden, wenn die vom Hersteller vorgegebenen Montagemöglichkeiten nur in einem Messwinkelbereich  $\leq 10^\circ$  bzw. *beim Abstand zur Fahrbahn  $\leq 1$  m* variieren können.

Für die genannten Montagemöglichkeiten hat der Hersteller die jeweiligen Messflächen anzugeben. Nach der größten Fläche ist der Prüfkörper mit den Referenzsensoren gemäß nachfolgenden Vorgaben anzufertigen. Dabei ist um die Messfläche des Sensors ein Quadrat zu bilden, das die Messfläche vollständig umschließt. Der Prüfkörper besitzt eine Oberfläche, die dieses Quadrat mit einer Breite von mindestens 10 cm umschließt (siehe Bild A5-2).

Installationspunkte der Sensoren im bzw. auf dem Prüfkörper:

Die Referenzsensoren sind innerhalb der quadratischen Umschließungsfläche der Messfläche gleichmäßig untereinander und im Bezug zum Rand zu verteilen (Bild A5-2). Bei fehlender Symmetrie der Sensormessfläche sind die Einbaupunkte möglichst gleichmäßig anzuordnen.



Legende: Rote Fläche = Sensormessfläche des Infrarotthermometers, blaue Fläche = quadratische Umschließungsfläche, schwarze Fläche = Prüfkörperoberfläche

Bild A5-2: Maße für Sensorpositionen im Prüfkörper (Draufsicht ohne Styroporummantelung)

#### Einstellung des Emissionswertes:

Vor der eigentlichen Prüfung ist am zum prüfenden Infrarotthermometer der Emissionsgrad des Prüfkörpers einzustellen. Dazu ist der Prüfkörper mit den Referenzsensoren und dem zu prüfenden Infrarotthermometer in einen geschlossenen Raum mit einer nahezu konstanten Temperatur einzubringen. Nach dem Erreichen der Temperaturkonstanz ist das zu prüfende Infrarotthermometer auf den Prüfkörper auszurichten (Abstand Infrarotthermometer – Prüffläche ist noch festzulegen). Durch Änderung des Emissionswertes sind die Temperaturmesswerte der Referenzsensoren (Mittelwert) und des zu prüfenden Infrarotthermometers auf 0,0 Kelvin Differenz abzugleichen.

#### Datenerfassung unter realen Umfeldbedingungen:

Das Montagegestell mit dem Prüfkörper inklusive eingebauten Referenzsensoren und dem zu prüfenden Sensor muss so aufgestellt sein, dass in der Prüfzeit keine Beschattung auf dem Prüfkörper auftritt, aufgrund dessen eine direkte Sonnenstrahlung auf die Prüffläche über  $100 \text{ W/m}^2$  verhindert wird (Montagemast in Nordrichtung, Beobachtung gegebenenfalls durch zweite Kamera noch beschreiben). Die Wetterstation ist in einer Entfernung von ca. zwei Metern zu installieren. Die Kamera ist auf den Prüfkörper auszurichten. Sie dient der Beobachtung des Prüfkörpers, um nicht reguläre Bedingungen in der Bewertungszeit ausschließen zu können.

Die Datenerfassung für die Bewertung ist zur Umgebungsanpassung >24 Stunden nach der Montage zu beginnen. Je Minute ist ein Messwert der Referenzsensoren, des prüfenden Infrarotthermometers, der Sensoren der Wetterstation sowie ein Bild der Kamera aufzunehmen und in einer Datenbank mit Zeitangabe zu speichern.

Die Datenerfassung läuft bis Daten gemäß den nachfolgend genannten Kriterien vorliegen.

Die Referenzsensoren sind zunächst auf ihre Gleichheit zu überprüfen. Die Spannweite der Ergebnisse der vier Sensoren darf nicht über 0,3 Kelvin liegen. Ist die Differenz größer, ist dieser Zeitpunkt für die Bewertung zu entfernen. Aus den vier Referenzsensoren ist ein Mittelwert zu bilden.

Die Messwerte der Referenzsensoren (Mittelwert) müssen im Messbereich zwischen  $\geq -10\text{ °C}$  und  $\leq +10\text{ °C}$  unter folgenden Bedingungen liegen:

- 30 Stunden bei Bedingungen mit einer Strahlungsbilanz über  $400\text{ W/m}^2$
- 30 Stunden bei Bedingungen mit einer Strahlungsbilanz unter  $-100\text{ W/m}^2$
- 30 Stunden im Bereich zwischen den beiden Grenzwerten

Innerhalb der jeweils 30 Stunden bei den zuvor genannten Bedingungen müssen nochmals folgende Randbedingungen vorliegen:

- Jeweils mindesten 12 Stunden müssen die Temperaturen der Referenzsensoren unter/gleich und über  $0\text{ °C}$  liegen.
- Innerhalb der 30 Stunden muss mindesten 5 Stunden ein flüssiger Niederschlag mit einer Intensität  $\geq 0,1\text{ mm/h}$  auftreten. Der Zeitanteil über dieser Niederschlagsintensität darf nicht über 15 Stunden sein.
- Situationen mit Schneefall sind auszuschließen. Der Prüfkörper muss schnee- und eisfrei sein *gegebenenfalls auch keine hohe Wasserfilmdicke* (Beobachtung über Kamera).

Die Daten sind während der Messung zu kontrollieren. Bei absoluten Differenzen zwischen dem Mittelwert der Referenzsensoren und dem zu prüfenden Infrarotthermometer über 1,6 Kelvin sind anhand der Kamerabilder Datensätze mit nicht regulären Bedingungen (z. B. nicht zulässige Fremdbeschattung, Schnee auf Prüfkörper) auszuschließen. Wenn ausreichend Werte mit den beschriebenen Bedingungen vorhanden sind, sind die Datenaufzeichnungen zu beenden. Die Stundenzählung ist ab dem Start der Datenerfassung vorzunehmen.

Der Prüfvorgang ist mit den weiteren Montageeinstellungen zu wiederholen.

### **1.3 Prüfungsbewertungen:**

Der zu prüfende Sensor hat die Anforderungen erfüllt, wenn diese gebildeten absolute Differenzen in 99% der vorgegebenen Zeiträume  $\leq 1,6\text{ Kelvin}$  sind.

Diese Bewertungsdifferenz setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

- 0,1 Kelvin Messfehler des Referenzsensoren
- 0,3 Kelvin durch ungleichmäßige Temperaturverteilung auf der Messfläche gemessen durch die Referenzsensoren
- 0,4 Kelvin aufgrund geschätzter nicht messbarer Einflüsse (Strahlung der Umgebung) auf die Prüfung
- 0,8 Kelvin Messunsicherheit des zu prüfenden Sensors

Wenn reguläre Bedingungen vorliegen, sind bei den größeren Differenzen die von der Wetterstation erfassten Wetterdaten mit anzugeben.

## 2 Fahrbahnzustand und Wasserfilmdicke

### 2.1 Allgemeines

Wenn nicht anderweitig vom Hersteller vorgegeben, muss ein gültiges Messergebnis spätestens eine Minute nach dem stabilen Erreichen der Prüfbedingungen ausgegeben werden.

Die Prüfungen werden je nach Arbeitsweise der Sensoren in zwei Gruppen eingeteilt: Prüfung für Bodensonden und Tests für berührungslos arbeitende Sensoren.

Für beide Bauarten werden die Messungen mit Regenwasser und mit einer definierten Tausalzlösung durchgeführt.

### 2.2 Prüfverfahren für berührungslos arbeitenden Sensoren

#### 2.2.1 Allgemeines

Die Tests können unter freiem Himmel stattfinden oder in einer Halle (schwierig wegen der Höhe).

#### 2.2.2 Prüfeinrichtung

Die Prüfung erfordert die folgende Ausrüstung:

- Mast mit mindestens 4,5 m Höhe
- Sprühausrüstung zur Auftragung von definierten Flüssigkeitsfilmdicken mit einer Genauigkeit  $\pm 10\%$
- vier definierte Prüfflächen, auf denen die Sensoren die Flüssigkeitsfilmdicken messen müssen

Die vier Prüfflächen müssen folgende Eigenschaften besitzen:

	Baustoff	Makrotexturtiefe der Oberfläche nach EN 13036-1 (Sandfleckmethode)	Wassereindringvermögen (wenig Erfahrungen in der BAST vorhanden)	Angaben zur Neigung	Angabe zur Ebenheit (Megatexturtiefe in mm unter 1m Latte) in Anlehnung an EN 13036-7 gemessen an 4 Linien
1	Asphalt	0,4 mm $\pm 0,1$ mm	5% der aufgetragenen Menge	Max. 0,3°	Max.2mm
2	Asphalt	1 mm $\pm 0,1$ mm	5% der aufgetragenen Menge	Max. 0,3°	Max.2mm
3	Beton	0,4 mm $\pm 0,1$ mm	5% der aufgetragenen Menge	Max. 0,3°	Max.2mm
4	Beton	1 mm $\pm 0,1$ mm	5% der aufgetragenen Menge	Max. 0,3°	Max.2mm

Tabelle 1: Kennwerte der Normtestflächen

- Präzisionswaage (Auflösung: 0,001 g, Genauigkeit  $\pm 0,01$  g) mit einem Auffangblech mit einem Flächeninhalt von  $300 \pm 50$  cm<sup>2</sup> Fläche zur Überprüfung der aufgetragenen Wasserfilmdicken. Die genaue Größe der Auffangblechfläche muss mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,5$  % bestimmt werden können.
- Regenwasser (soll das praxismgerechte Benetzungsverhalten sicherstellen)
- Natriumchloridlösung mit einer Konzentration von 20%  $\pm 1$ %
- Trocknungstücher und Heizlüfter
- Sensoren für Luft- und Fahrbahnoberflächentemperatur (Messgenauigkeit  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ , Auflösung 0,1°C)
- Sensor für relative Luftfeuchte (Messgenauigkeit:  $\pm 3$ %; Auflösung 1%)
- Sensor für Windgeschwindigkeit (Messgenauigkeit:  $\pm 0,5$  m/s, Auflösung 0,1 m/s)
- Wasserwaage mit Winkelmesser (Messgenauigkeit:  $\pm 0,05^\circ$ , Auflösung 0,01°)
- Richtlatte 1m + Messkeil in Anlehnung EN 13036-7
- Lineal (Messgenauigkeit  $\pm 2$  mm, Auflösung 1 mm)
- Messschieber für Messung der Fläche des Auffangblechs (Auflösung 0,1 mm, Messgenauigkeit  $\pm 0,1$  mm)

### 2.2.3 Versuchsaufbau

Der Sensor muss an einem Mast in  $4,5 \text{ m} \pm 0,1$  m Höhe über dem Untergrund befestigt sein. Als Bezugsmaß für die Höhe gilt der unterste Teil der Optik, der die Strahlung von der Fahrbahnoberfläche empfängt. Der Sensor ist so auszurichten, dass der Mittelpunkt der Messfläche  $4,5 \text{ m} \pm 0,2$  m vom Mastfuß entfernt ist. Ist unter diesen Winkelverhältnissen keine Messung möglich, ist der Sensor in einer größeren Höhe anzubringen. Diese ist im Prüfbericht anzugeben.

Zur Sicherstellung der vollständigen Abdeckung ist eine Fläche zu besprühen, die mindestens 10 cm über die äußeren Abmessungen der Messfläche hinausgeht. Zur Vereinfachung der Sprühmaschineneinstellung ist um diese Fläche ein Quadrat festzulegen, auf dessen Fläche die Gleichmäßigkeit zu prüfen ist. In diese Fläche ist zusätzlich die Fläche der Präzisionswaage mit dem Auffangblech einzubeziehen.

Die Gleichmäßigkeit des Besprühens ist durch Versuche nachzuweisen, bei denen auf 10 zusammenliegenden Teilflächen mit einer Abmessung von jeweils 300x10 mm innerhalb der zu besprühenden Messfläche die Wasserfilmdicke gemessen wird. Die Gleichmäßigkeit auf den Teilflächen ist visuell zu prüfen. Dabei sollte auf jeden Quadratzentimeter Wasser vorhanden sein. Die Prüfung der Gleichmäßigkeit auf der Prüffläche erfolgt mindestens in der Mitte und an 4 Flächen am Rand des gebildeten Quadrates mit der größten Distanz untereinander innerhalb der zu besprühenden Fläche. Eine zweite Überprüfung erfolgt an den gleichen Stellen. Dabei sind die Teilflächen um 90° versetzt zu der vorgehenden Beauftragung anzuordnen. Es muss eine gleichmäßige Besprühung jeder der 10 Teilflächen mit  $\pm 10$ % Genauigkeit in Bezug zur Sollmenge erreicht werden. Dieses Verfahren gilt nur, wenn die Sprühvorrichtung eine gleichartige Besprühung zulässt. Wenn dies nicht sichergestellt oder die zu besprühende Fläche größer als ein Quadratmeter ist, sind weitere Flächen zu prüfen.

### 2.2.4 Prüfung der Sensorposition

Der zu prüfende Sensor ist genau auf eine vorgegebene Prüffläche gemäß Abschnitt 2.2.3 auszurichten. Der Sensor ist nach den Vorgaben des Herstellers danach für diese Fläche zu kalibrieren.

Die genaue Lage und die Größe der Sensor-Messfläche sind anhand einer zweiten flachen Fläche mit einer hohen Feuchtigkeit zu kontrollieren. Dabei ist die feuchte Fläche aus 8 Richtungen langsam zum Mittelpunkt zu führen (Zeichnung anfertigen). Sobald im Vergleich zur trockenen Fläche ein

abweichender Wert angegeben wird, ist diese Position als äußere Linie der Messfläche zu kennzeichnen. Liegt die Messfläche nicht in der Position gemäß Abschnitt 2.2.3, dann ist der Sensor neu auszurichten und die Prozedur ist zu wiederholen.

#### 2.2.4.1 Umfeldbedingungen während der Prüfung

- bei Messung mit Regenwasser:

Umgebungslufttemperatur: 3-15°C

Fahrbahnoberflächentemperatur: 3-15°C

Relative Luftfeuchte: >85%

Windgeschwindigkeit: ≤2 m/s

- Messung mit Tausalzlösung:

Umgebungslufttemperatur: -10 - 0°C

Fahrbahnoberflächentemperatur: -10 - 0°C

Relative Luftfeuchte: >85%

Windgeschwindigkeit: ≤2 m/s

Taustoff in Tausalzlösung: Natriumchlorid

Konzentration der Tausalzlösung: 13-17%

Während der Prüfung dürfen nur max. 5% der aufgetragenen Wassermenge innerhalb von einer Minute verdunsten. Die Bewertung erfolgt anhand der Entwicklung der Wassermenge auf dem Auffangblech.

#### 2.2.4.2 Versuchsdurchführung

Die Prüffläche muss vor dem Besprühen trocken sein. Sie gilt als trocken, wenn keine Feuchtigkeit auf einem Trocknungstuch nach dem Abtupfen erkennbar ist und der Sensor „trocken“ angibt. Anschließend ist die Prüffläche mit einer Sprühvorrichtung gleichmäßig mit den vorgegebenen Wasserfilmdicken zu besprühen.

Die Prüffläche ist gemäß Tabelle 2 nacheinander mit folgenden Wasserfilmdicken zu besprühen. Die geforderten Wasserfilmdicken sind jeweils durch Steigerung der vorhergehenden Wasserfilmdicken zu erzielen.



Wasserauftrag Soll [mm]	Zulässige Toleranz der Wasserfilmdicke zum Sollwert beim Auftra- gen [mm]	Vom Sensor erwar- tete Angabe des Fahrbahnzustand	Zulässige Angabe des Sen- sors für die Wasserfilmdi- cke [mm] bzw. zulässige Toleranz
0,005	-0,002	trocken	keine Bewertung
0,01	±0,003	<i>trocken/feucht</i>	0, 0,01, 0,02 mm
0,013	+0,003	feucht	0,01, 0,02 mm
0,02	±0,002	feucht	0,01, 0,02, 0,03 mm
0,04	±0,004	feucht	0,02 – 0,06 mm
0,06	±0,006	feucht	0,03 - 0,09 mm
0,08	±0,008	feucht	
0,1	±0,01	feucht	
0,12	±0,012	feucht	
0,14	±0,014	feucht oder nass	
0,16	±0,016	feucht oder nass	
0,18	±0,018	feucht oder nass	
0,20	±0,02	feucht oder nass	
0,22	±0,022	feucht oder nass	
0,24	±0,024	feucht oder nass	
0,26	±0,026	feucht oder nass	
0,28	±0,028	nass	
0,30	±0,03	nass	
0,4	±0,04	nass	
0,5	±0,05	nass	
0,6	±0,06	nass	
0,8	±0,08	nass	
1,0	±0,1	nass	
1,5	±0,15	nass	
2	±0,2	nass	

Tabelle 2: Auftragungswerte mit erwarteten Messwertangaben vom Sensor

Die Messungen sind jeweils einmal bei den im Abschnitt 2.2.5 genannten Bedingungen für eine Oberflächenart durchzuführen. Anschließend sind die Messungen für die weiteren Oberflächenarten zu wiederholen. Vor jeder Messung auf einer neuen Oberflächenart ist der Sensor neu zu kalibrieren.

Erfüllt der Sensor die Anforderung bei einer Oberflächenart bei Einzelwerten nicht, darf ein weiteres Mal kalibriert werden. Die vorhergehenden Messungen auf dieser Oberflächenart sind vollständig zu wiederholen. Wenn dabei keine Erfüllung der Anforderungen möglich ist, ist die Prüfung zu beenden.

Die Prüfungen können jeweils für eine der unter Abschnitt 2.2.5 genannten Bedingungen nacheinander und anschließend alle Prüfung für die zweite Umfeldbedingung durchgeführt werden. Dies ist jedoch nur möglich, wenn der Hersteller nachweislich eine vorgenommene Kalibrierung für einen Belag wiederholbar einstellen kann.

#### 2.2.5 Ergebnisbewertung

Eine Prüfung gilt als erfüllt, wenn alle Auftragungen gemäß Tabelle 2 im Rahmen der zulässigen Toleranzen richtig erkannt werden.

### 2.3 Prüfung von Bodensonden

Wie bisher in CEN/TS 15518-4 beschrieben, nur ohne Einbau in einem Asphaltblock. Die Bodensonden werden im Labor geprüft.

### 3 Prüfung von Sensoren für die Niederschlagsintensität

#### 3.1 Allgemeines

Die Überprüfung von Sensoren für die Niederschlagsintensität erfolgt anhand von Vergleichen zwischen einem zu prüfenden Sensor und einer Referenzmessung unter natürlichen Niederschlägen mit unterschiedlicher Intensität. Der Hersteller muss angeben, in welchem Zeitfenster seine Intensitätsmessungen erfolgen, damit eine vollständige Synchronisation der Messungen erfolgen kann.

#### 3.2 Prüfaufbau

Zu verwendende Prüftechnik:

- Kreisrunde Schale mit einer obenliegenden Öffnung von  $400 \text{ cm}^2$  ( $\pm 1 \text{ cm}^2$ ) und einer Vertiefung von mindestens  $1,5 \text{ cm}$  für die Referenzmessung. Die Oberfläche der Schale ist mit Materialien auszulegen, die ein Rückprall von Regentropfen nach außerhalb der Schale verhindern.
- Stativ
- Waage: Auflösung  $0,01 \text{ g}$ , Messgenauigkeit  $\pm 0,05 \text{ g}$
- Sensor für die Windgeschwindigkeit: Auflösung  $0,1 \text{ m/s}$ ; Messgenauigkeit  $\pm 0,2 \text{ m/s}$
- Schirm
- Funkuhr: Auflösung  $\pm 0,1 \text{ s}$

Messanordnung:

Der zu prüfende Sensor ist in einer Umgebung gemäß EN 15518-3 zu installieren. Die Höhe der Messsensorik über dem Erdboden beträgt  $1,2 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$ . Die Schale ist in einem Abstand von  $1 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$  zum prüfenden Sensor zu installieren. Das Maß bezieht sich auf den kürzesten Abstand zwischen den Außenkanten des Sensors und der Schale. Die Höhe der Schalenöffnung muss ebenfalls  $1,2 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$  betragen.

#### 3.3 Prüfdurchführung

Der zu prüfende Sensor muss die Niederschlagsintensität in einem kontinuierlichen Verlauf in jeweils genau  $60 \text{ s}$  (Standardzeitspanne) erfassen. Dabei ist die sekundengenaue Startzeit für einen Zyklus festzulegen.

Als Umfeldbedingung ist die Windgeschwindigkeit zu beachten. Sie darf während der Prüfung nicht über  $2 \text{ m/s}$  betragen.

Parallel zu dieser Zeit mit einer zulässigen Zeittoleranz von  $\pm 1 \text{ s}$  ist der Niederschlag mit der Schale aufzufangen. Die Schale ist vor dem Beginn des Auffangens zu wiegen. Bis zum Beginn des Auffangens ist die Schale mit einer Abdeckung (z. B. Schirm) vor den Niederschlag zu schützen.

Anhand der Funkuhr ist von Beginn bis zum Ende des Messzyklus des zu prüfenden Sensors die Schale dem Niederschlag durch Entfernen und Schließen der Abdeckung (z. B. mit einem Schirm) auszusetzen. Nach dem Schließen der Schale ist die aufgefangene Menge innerhalb von  $60 \text{ s}$  zu ermitteln und die Intensität in  $\text{mm/h}$  zu berechnen.

Für ein Gesamtergebnis sind die Messungen bei den unten genannten Niederschlagsintensitäten zu wiederholen. Dazu ist eine vorhergesagte Niederschlagsperiode von etwa einem Monat zu wählen.

Während dieser Periode dürfen keine Änderungen am zu prüfenden Sensor vorgenommen werden. Die Messungen können in einer unbestimmten Reihenfolge des anfallenden Niederschlags stattfinden. Sie sind bei folgenden Bereichen der Niederschlagsintensität (gemäß Schalenergebnisse) durchzuführen.

0,5 bis <1 mm/h

1 bis <3 mm/h

3 bis 8 mm/h

>8 mm/h

Für jeden Bereich müssen 5 Messergebnisse vorliegen. Die jeweils fünf ersten Ergebnisse für einen Bereich gehen in das Gesamtergebnis ein. Liegen innerhalb eines Monats nicht die erforderlichen Ergebnisse vor, ist die gesamte Prüfdurchführung neu zu starten.

### 3.4 Ergebnisbewertung

Die Prüfung ist erfüllt, wenn alle 20 Einzelergebnisse innerhalb der zulässigen Toleranz gemäß EN 15518-3 liegen. Dabei ist die Messtoleranz der Referenzmessung zu berücksichtigen.

Toleranzberechnung für die Referenzmessung:

- Pauschale Fehlerannahme für die Zeit-Synchronität der Messungen zwischen dem zu prüfenden Sensor und der Schalenmessung (beim Öffnen und Schließen der Schale) =3% (rund für jeweils 1s Verschiebung)
- Fehler durch Wägung mit  $\pm 0,05$  g, jeweils für den gemessenen Wert berechnen und auf einen ganzzahligen Wert aufrunden

Beispiel: bei 0,5 mm/h z. B. Wägeargebnis= $0,34 \text{ g} \pm 0,05 \text{ g}$ , Fehler: 15%

- Pauschale Fehlerannahme durch unterschiedlichen Niederschlag in der Fläche: 10%
- Messfehler bei der Flächenbestimmung der Referenzmessfläche: 1%

## **4 Prüfung von Sensoren für die Niederschlagsart**

### **4.1 Allgemeines**

Diese Prüfung erfolgt unter natürlichen Verhältnissen im Freien. Der zu prüfende Sensor für die Niederschlagsart wird bei einer definierten Anzahl von Niederschlagsereignissen mit einem Referenzsensor und zusätzlicher Beobachtung verglichen. Er muss die definierten Niederschlagsformen sowie die Abwesenheit von Niederschlag in einer definierten Anzahl richtig angeben.

### **4.2 Prüfverfahren**

#### **4.2.1 Einzusetzende Technik**

- Disdrometer als Referenzsensor
- Referenzsensor zur Prüfung der Niederschlagsintensität/-menge (mit erfüllten Anforderungen - siehe Abschnitt 3)
- Referenzglasfläche mit einer Größe von ca. 50x50 cm, die von einem Scheibenwischer periodisch gereinigt wird
- Kamera mit Infrarotsichtbarkeit und Infrarotscheinwerfer
- Datenerfassungs- und Steuerungstechnik
- Masten zur Montage der Sensoren, Kamera und Scheinwerfer
- Prüfgelände

### **4.3 Messanordnung**

Der Referenzsensor und der zu prüfende Sensor sind in einem Abstand von maximal 5 Meter zu installieren. Die beiden Sensoren dürfen sich nicht gegenseitig in den Messungen beeinflussen. Sie müssen entsprechend den Vorgaben der Hersteller an Masten installiert werden.

Für die visuelle Prüfung beider Sensoren ist in einem Abstand von maximal 5 Meter zu beiden Sensoren eine Glasfläche waagrecht zum Erdboden zu installieren. Alle Niederschlagspartikel sind je Minute von einem automatisch arbeitenden Scheibenwischer vollständig zu beseitigen. Die Situation auf der Glasfläche ist durch die Kamera mit Unterstützung eines Infrarotscheinwerfers unmittelbar vor dem Wischen zu erfassen.

### **4.4 Messwerterfassung**

Beide Sensoren müssen je Minute eine Angabe zur Niederschlagsart (kein Niederschlag, fester oder flüssiger Niederschlag) abgeben, der mit genauem Zeitstempel gespeichert wird. Beide Sensoren und das Foto müssen gleiche Zeitabschnitte innerhalb von 60 Sekunden betrachten.

Die Angaben der Niederschlagsintensität und -menge sind mit einem geeigneten Sensor zu erfassen. (Qualität siehe Referenzsensor für die Niederschlagsintensität)

Die Messwerterfassung erfolgt durchgehend, bis ausreichend bewertbare Ereignisse gemäß Abschnitt 4.5.2 vorliegen.

## 4.5 Beurteilungsverfahren

### 4.5.1 Beschreibung des Beurteilungsverfahrens

Für die Beurteilung eines zu prüfenden Sensors sind dessen Messwerte mit den Messwerten des Referenzsensors zu vergleichen. Sind beide Messwerte nicht gleich, ist die Situation anhand Fotos von der Glasscheibe zu bewerten und mit dem Messwert des zu prüfenden Sensors zu vergleichen.

Unabhängig davon ist der Referenzsensor zu Ereignisbeginn, -mitte und -ende mit der Situation auf der Glasscheibe zu bewerten.

Es sind nur Minutenwerte zu bewerten, die eine genaue visuelle Unterscheidung anhand der Kamerabilder zulassen. Die Unterscheidung der Niederschlagsart (fest/flüssig) ist gemäß der Farbe der Niederschlagspartikel vorzunehmen. Mischsituationen sind nur dann einzubeziehen, wenn eine eindeutig überwiegende Anzahl von Partikel als Schnee erkannt wird. Dann ist der Referenzwert als fester Niederschlag festzulegen. Ist die Zahl nicht eindeutig, wird bei der Bewertung nicht die Unterscheidung zwischen flüssig und fest vorgenommen. Eine Unterscheidung zwischen Niederschlag ja oder nein ist dennoch vorzunehmen.

Die Angaben zur Niederschlagsintensität und -menge sind in die Bewertung mit einzubeziehen.

### 4.5.2 Beurteilungsumfang

Die Daten beider Sensoren werden bei mindestens 20 Niederschlagsereignissen verglichen.

Die betrachteten Niederschlagsereignisse müssen folgende Eigenschaften aufweisen:

10 Niederschlagsereignisse müssen mindestens 60 Minuten und 10 weitere Ereignisse mindestens 120 Minuten anhalten. Unterbrechungen des Niederschlags innerhalb dieser Zeiten dürfen zusammenhängend nur maximal 10 Minuten lang sein und in der Summe nicht länger als 15 Minuten betragen.

Es sind mindestens 6 Ereignisse mit Schneefall und 6 Ereignisse mit Regen zu bewerten.

Es sind die Zeiten nach den auftretenden Niederschlagsereignissen in die Bewertung einzubeziehen. Bei einer Ereignislänge von <120 min sind dies 60 min. Bei >120 min Ereignislänge sind es 120 min.

Bei dem Niederschlagsereignis muss die Niederschlagsintensität in mindestens 50% der Minuten über 0,1 mm/h betragen. Die Niederschlagsmenge muss mindestens 1 mm pro Stunde überschreiten.

## 4.6 Bewertung

Ein Sensor wird als geeignet bewertet, wenn er bei  $\geq 90$  Prozent der Minutenwerte bei einem beschriebenen Ereignis zur bewerteten Referenz übereinstimmt. Diese Prozentzahl muss er in 18 Ereignissen erreichen.