

## **Anhang 4 zum Schlussbericht AP „Neue Sensorbauarten für Straßenwetterstationen“**

### **Ergebnisse von Laboruntersuchungen mit Bodensonden**

Nachfolgend sind drei Prüfberichte für einen Sensor IT-Sens der Firma Boschung und für drei Sensoren vom Typ DRS511 der Firma Vaisala aufgeführt. Für den Sensor IRS31pro der Firma Lufft ist eine Prüfung aus Zeitgründen nicht im gleichen Umfang durchgeführt worden. Hier sind nur die wenigen Ergebnisse und deren Bewertung zusammengefasst dargestellt.

Die „aktiven“ Sensoren für die Gefriertemperatur sind nur mit wenigen Beauftragungen von definierten Tausalzprüfungen kurzzeitig in der Funktion überprüft worden. Da die Ergebnisse in Ordnung waren, sind sie hier nicht mit aufgeführt.

Nur die drei getesteten DRS511 und ein IRS31pro sind wie vorgesehen im Testfeld BAB A4 installiert worden. Die Firma Boschung hat alle von ihr für Labortests bereitgestellten Sensoren nach den Tests unmittelbar vor dem Einbau als defekt erklärt. Ein IRS31pro ist während der Tests defekt geworden.

## **Testbericht über die Prüfung einer Bodensonde für die Parameter:**

**Fahrbahnzustand  
Wasserfilmdicke  
Gefriertemperatur**

Sondenbezeichnung: **IT-Sens**

Hersteller und Lieferant: **Boschung**



### **Bundesanstalt für Straßenwesen**

Sandra Eimermacher  
Jens Mück  
Horst Badelt

**Prüfung in Anlehnung an CEN/TS 15518-4**

**Dieser Bericht stellt kein Zertifikat dar!**

Bergisch Gladbach, Juli 2016

## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorbemerkungen</b>	<b>4</b>
<b>1. Testdurchführung und Ergebnisse</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Allgemeines</b>	<b>4</b>
1.1.1 Aufbau	4
1.1.2 Durchführung der Testmessungen	5
1.1.3 Hinweis zur Bewertung der Testmessungen	6
<b>1.2 Test: Fahrbahnzustand (FBZ)</b>	<b>6</b>
1.2.1 Fahrbahnzustand „trocken“	7
1.2.1.1 Beschreibung der Testdurchführung	7
1.2.1.2 Ergebnisse: FBZ „trocken“	7
1.2.1.3 Fazit: FBZ „trocken“	7
1.2.2 Fahrbahnzustände „feucht“ und „nass“	7
1.2.2.1 Beschreibung der Testdurchführung	7
1.2.2.2 Ergebnisse: FBZ „feucht“ und „nass“	7
1.2.2.2.1 FBZ „trocken – feucht“ Messung 1	8
1.2.2.2.2 FBZ „trocken – feucht“ Messung 2	8
1.2.2.2.3 FBZ „feucht – nass“ Messung 1	9
1.2.2.2.4 FBZ „feucht – nass“ Messung 2	10
1.2.2.2.5 FBZ „nass“ bei Test der WFD 0,2 mm Messung 1	11
1.2.2.2.6 FBZ „nass“ bei Test der WFD 0,2 mm Messung 1	11
1.2.2.2.7 FBZ „nass“ bei Test der WFD 0,2 mm Messung 2	12
1.2.2.2.8 FBZ „nass“ bei Test der WFD 0,5 mm Messung 1	12
1.2.2.2.9 FBZ „nass“ bei Test der WFD 0,5 mm Messung 2	13
1.2.2.2.10 FBZ „feucht“ bei Test der GT -3°C Messung 1	13
1.2.2.2.11 FBZ „feucht“ bei Test der GT -3°C Messung 2	14
1.2.2.2.12 FBZ „feucht“ bei Test der GT -3°C Messung 3	15
1.2.2.2.13 FBZ „nass“ bei Test der GT -3 °C Messung 1	16
1.2.2.2.14 FBZ „nass“ bei Test der -12 °C Messung 2	18
1.2.2.3 Fazit: FBZ „feucht“ und „nass“	19
<b>1.3 Test: Wasserfilmdicke (WFD)</b>	<b>19</b>
1.3.1 Beschreibung der Testdurchführung gemäß CEN/TS 15518-4	19
1.3.2 Ergebnisse der Tests für die WFD	20
1.3.2.1 WFD 0,2 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 1	20
1.3.2.2 WFD 0,2 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 1	21
1.3.2.3 WFD 0,2 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 2	21
1.3.2.4 WFD 0,5 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 1	22
1.3.2.5 WFD 0,5 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 2	23
1.3.2.6 WFD 0,1 mm in 0,01 Schritten bei +5°C Messung 1	24
1.3.2.7 WFD 0,1 mm in 0,01 Schritten bei +5°C Messung 2	25
1.3.2.8 WFD bis 0,3 mm in 0,02 Schritten bei +5°C Messung 1	26
1.3.2.9 WFD bis 0,26 mm in 0,02 Schritten bei +5°C Messung 2	28
1.3.2.10 WFD bis 0,1 mm bei Test der GT -3° C Messung 1	29
1.3.2.11 WFD bis 0,1 mm bei Test der GT -3° C Messung 2	30
1.3.2.12 WFD bis 0,1 mm bei Test der GT -3° C Messung 3	30
1.3.2.13 WFD bis 0,2 mm bei Test der GT -3° C Messung 1	31
1.3.2.14 WFD bis 0,2 mm bei Test der GT -12 °C Messung 1	32

1.3.3	Fazit: Wasserfilmdicke	33
<b>1.4</b>	<b>Test: Gefriertemperatur (GT)</b>	<b>34</b>
1.4.1	Beschreibung der Testdurchführung	34
1.4.2	Ergebnisse der Tests für die Gefriertemperatur	34
1.4.2.1	Gefriertemperatur -3°C bei WFD 0,1mm Messung 1	34
1.4.2.2	Gefriertemperatur -3°C bei WFD 0,1mm Messung 2	35
1.4.2.3	Gefriertemperatur -3°C bei WFD 0,1mm Messung 3	37
1.4.2.4	Gefriertemperatur -3°C bei WFD 0,2mm Messung 1	40
1.4.2.5	Gefriertemperatur -12°C bei WFD 0,2mm Messung 1	41
1.4.3	Fazit: Gefriertemperatur	42

### Vorbemerkungen

Im Rahmen des Forschungsprojektes „6514016 Neue Sensorbauarten GMA“ erfolgte vor dem Einbau des Bodensensors IT-Sens in die Fahrbahn des Testfeldes A4 eine Funktionskontrolle in Anlehnung an die DIN CEN/TS 15518-4 in der BAST-Klimakammer.

Im Testfeld waren zwei baugleichen Sensoren geplant. In der Klimakammer werden die Parameter für den Fahrbahnzustand (FBZ), der Wasserfilmdicke (WFD) und der Gefriertemperatur (GT) anhand von Testmessungen separat für jeden Sensor überprüft.

Die Beschreibung der Testmessungen sowie die Ergebnisse mit einer Bewertung sind in den folgenden Punkten aufgeführt.

**Dieser Testbericht stellt aufgrund der teilweisen Erprobung von Prüfverfahren keine Zulassung oder Zertifikat dar.**

## 1. Testdurchführung und Ergebnisse

### 1.1 Allgemeines

#### 1.1.1 Aufbau

Die Tests wurden in der Klimakammer unter dem Sprühkasten mit folgendem Aufbau durchgeführt. Neben der Referenzplatte befindet sich unter dem Spritzkasten ein weiterer Bodensensor. Diese Anordnung wurde gewählt, um parallel Messungen durchführen zu können. Eine gegenseitige Beeinflussung der Sensoren ist bei diesem Testaufbau auszuschließen.

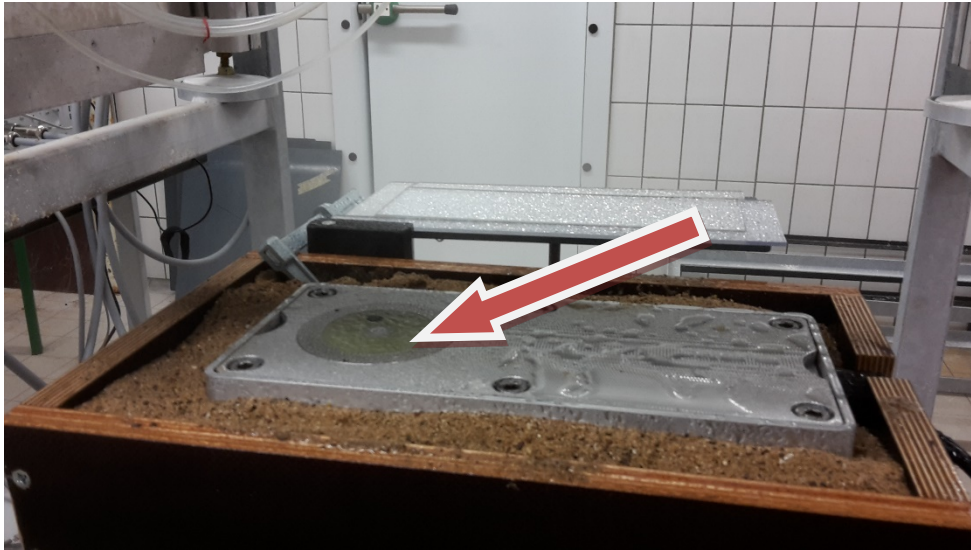


Bild: Aufbau Testumgebung unter der Sprühmaschine, Pfeil zeigt auf IT-Sens, im Hintergrund ist Referenzplatte zu erkennen

Für die Datenaufzeichnung wurde vom Hersteller ein System zur Verfügung gestellt. Die beiden baugleichen Sensoren konnten an diesem jedoch nicht parallel angeschlossen werden. Aus diesem Grund wurden die Testmessungen separat durchgeführt.

### 1.1.2 Durchführung der Testmessungen

Der spätere Einbau des Sensors erfolgt über ein Wechselgehäuse aus Metall in die Fahrbahn auf dem Testfeld A4. Um die Testergebnisse mit dem vergleichen zu können finden die Testmessungen in der Klimakammer mit dem Wechselgehäuse statt. Während der kompletten Testphase befindet sich der Sensor IT-Sens in einer mit Sand gefüllten Holzkiste.

Die entsprechenden Wasserfilmdicken für die Bewertung wurden mittels der Sprühmaschine auf die Sensoroberfläche aufgetragen. Die genaue Beschreibung entnehmen Sie den jeweiligen Unterpunkten.

Im Anschluss jeder Testmessung wurde der Sensor mit destilliertem Wasser abgespült bzw. gereinigt. Anschließend wurde dieser mit einem Einweg-Tuch durch Tupfen abgetrocknet. Eine Behandlung durch ein Gebläse fand nicht statt.

Neue Testmessungen wurden erst gestartet, wenn vom System die entsprechenden Werte für Trockenheit angezeigt wurden.

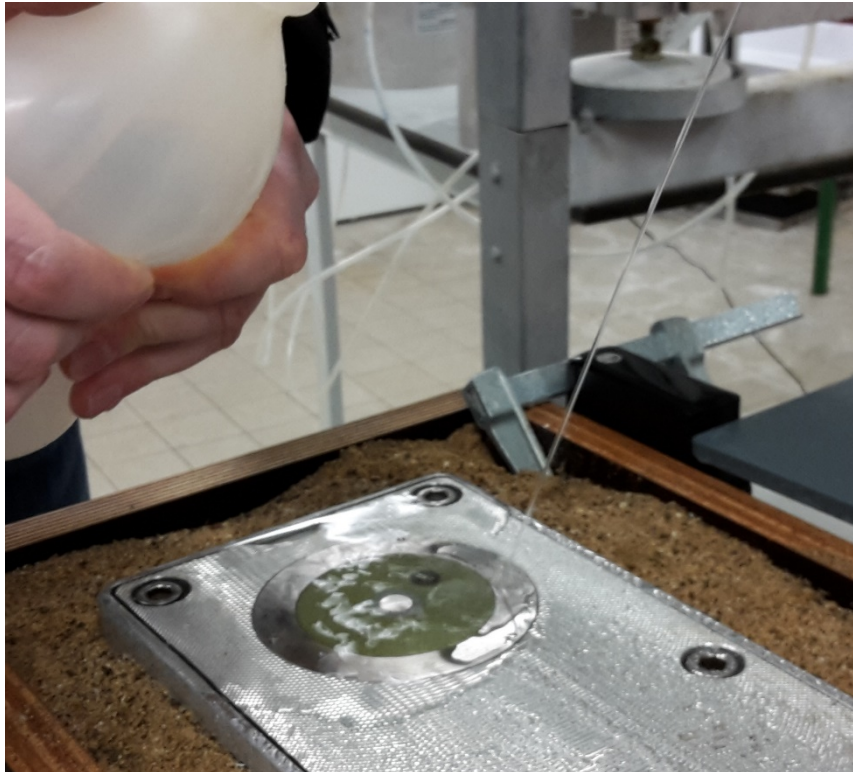


Bild: Sensorreinigung mit destilliertem Wasser im eingebauten Zustand

### 1.1.3 Hinweis zur Bewertung der Testmessungen

Die manuell abgelesenen Werte sind in den Tabellen „fett“ markiert.

In der letzten Spalte der Tabelle erfolgt die Bewertung der jeweiligen Messgröße. Dabei stehen die Farben „grün“ für bestanden „rot“ für nicht bestanden. Bei den Einträgen in „blau“ besteht besonderer Klärungsbedarf.

## 1.2 Test: Fahrbahnzustand (FBZ)

Die Bewertung des Fahrbahnzustand (FBZ) wurde gemäß der TLS 2012 durchgeführt.

Codierung	Fahrbahnzustand	Definition
0	Trocken	Die Fahrbahnoberfläche ist visuell trocken.
16	Feucht	Auf der Fahrbahnoberfläche ist ein Wasserfilm von mindestens 0,01 mm vorhanden.
32	Nass	Auf der Fahrbahnoberfläche ist ein Wasserfilm von mindestens 0,2 mm vorhanden.
48	Extrem Nass	Auf der Fahrbahnoberfläche ist ein Wasserfilm von mindestens 2 mm vorhanden
64	Glatt	Eis, Schnee und Reif bzw. wässrige Lösungen im festen Zustand auch neben Wasser bzw. wässrigen Lösungen befinden sich auf der Fahrbahnoberfläche.

**Tabelle 6-163: Messwertcodierung im DE-Typ 79: „Zustand der Fahrbahnoberfläche für den Winterdienst nach DIN EN 15 518“ (FZW)**

Auszug TLS 2012: Fahrbahnzustand DE-Typ 79

## Hinweis zur Bewertung des Fahrbahnzustandes

In der Tabelle der Messwerte erfolgt in der Spalte "WFD Toleranz [ $\pm 30\%$ ]" die Berechnung des Toleranzbereiches für die Zuordnung des Fahrbahnzustandes anhand den von der Sprühmaschine aufgetragenen und gemessen Ist-Wertes.

Für Messwerte bei einer Wasserfilmhöhe  $< 0,20$  mm liegt die obere Toleranzgrenze bei 130% des aufgetragenen Ist-Wertes, bei einer Wasserfilmhöhe  $\geq 0,20$  mm wird die untere Toleranzgrenze mit 70% des Ist-Wertes ermittelt. Dieser zulässige Toleranzbereich fließt in die Bewertung mit ein.

### 1.2.1 Fahrbahnzustand „trocken“

#### 1.2.1.1 Beschreibung der Testdurchführung

Der Fahrbahnzustand „trocken“ wurde gemäß DIN CEN/TS 15518-4 durch Abwischen durch ein Tuch vorgenommen. Auf Einsatz eines Gebläses zur Trocknung wurde verzichtet, da durch diesen der Sensor wieder erwärmt wird.

#### 1.2.1.2 Ergebnisse: FBZ „trocken“

Nach dem Abspülen des Sensors mit destilliertem Wasser und anschließender Trocknung hat der Sensor den Fahrbahnzustand „trocken“ über mehrere Stunden auch bei höheren Luftfeuchten bei einer Temperatur von  $5^{\circ}\text{C}$  bis  $7^{\circ}\text{C}$  angezeigt.

#### 1.2.1.3 Fazit: FBZ „trocken“

Der Sensor IT-Sens die Tests für eine Temperatur von  $+5^{\circ}\text{C}$  ohne Einsatz eines Gebläses zur Trocknung erfüllt.

### 1.2.2 Fahrbahnzustände „feucht“ und „nass“

#### 1.2.2.1 Beschreibung der Testdurchführung

Für die Feststellung der Fahrbahnzustände „feucht“ und „nass“ kam eine Sprüheinrichtung mit maschinell geführtes Sprühventil (Sprühmaschine) zum Einsatz. Mit ihr wurden definierte Filmdicken mit einer sehr gleichmäßigen Verteilung aufgetragen und anhand einer Referenzplatte gemessen.

Bedingt durch die benötigte Zeit für das maschinelle Auftragen der Wasserfilmdicke, wurde für die Messwerte ein Zeitintervall von 2 min anstatt der in der Prüfvorschrift von 1 min berücksichtigt.

Die Tests wurden mit unterschiedlichen Randbedingungen, bezogen auf die Vorgaben aus der Norm in der Klimakammer durchgeführt.

#### 1.2.2.2 Ergebnisse: FBZ „feucht“ und „nass“

In den folgenden Unterkapiteln sind die einzelnen Testmessungen mit ihren jeweiligen Randbedingungen beschrieben.

Hierbei sind die Ergebnisse, die bei der Durchführung der Tests für den Wasserfilmhöhe und der Gefriertemperatur ermittelt wurden, mit berücksichtigt.

### 1.2.2.2.1 FBZ „trocken – feucht“ Messung 1

am 22.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung der Sprühmaschine über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +7,1°C bei 93% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Sensor WFD [mm]	Sensor FBZ	Sensor FBZ [TLS Code]	Soll FBZ [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
13:15	0	0,00	0,00	0,00	0	trocken	trocken	erfüllt
13:16	x	0,012-0,015	<b>0,01</b>	0,00	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
13:17	x+1	0,012-0,015	0,01	0,01	16	feucht	feucht	erfüllt
13:18	x+2	0,012-0,015	0,01	0,01	16	feucht	feucht	erfüllt
13:19	x+3	0,012-0,015	0,01	0,02	16	feucht	feucht	erfüllt
13:20	x+4	0,012-0,015	0,01	0,00	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
13:23	x+7	0,02	0,03	0,00	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
13:24	x+8	0,03	0,04	0,00	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
13:26	x+10	0,04	0,06	0,00	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
13:29	x+13	0,05	0,07	0,00	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
13:31	x+15	0,06	0,09	0,00	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
13:33	x+17	0,07	0,10	0,12	16	feucht	feucht	erfüllt
13:35	x+19	0,08	0,12	0,15	16	feucht	feucht	erfüllt
13:37	x+21	0,09	0,13	0,18	16	feucht	feucht	erfüllt
13:39	x+23	0,10	<b>0,13</b>	0,20	32	nass	feucht	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 22.02.2016

### FBZ „trocken – feucht“ Messung 2

am 22.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung der Sprühmaschine über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +5°C bei 45% Luftfeuchtigkeit



Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Sensor WFD [mm]	Sensor FBZ	Sensor FBZ [TLS Code]	Soll FBZ [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
14:10	0	0,00	0,00	0,00	0	trocken	trocken	erfüllt
14:17	x	0,012-0,015	<b>0,01</b>	0,00	16	feucht	feucht	erfüllt
14:18	x+1	0,012-0,015	0,01	0,01	16	feucht	feucht	erfüllt
14:19	x+2	0,012-0,015	0,01	0,02	0	trocken	feucht	nicht erfüllt *)
14:20	x+3	0,012-0,015	0,01	0,00	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
14:21	x+4	0,012-0,015	0,01	0,00	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
14:24	x+7	0,02	0,02	0,00	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
14:26	x+9	0,03	0,03	0,00	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
14:28	x+11	0,04	0,05	0,00	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
14:30	x+13	0,05	0,06	0,00	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
14:32	x+15	0,06	0,07	0,10	16	feucht	feucht	erfüllt
14:34	x+16	0,07	0,08	0,12	16	feucht	feucht	erfüllt
14:36	x+18	0,08	0,09	0,15	16	feucht	feucht	erfüllt
14:38	x+20	0,09	0,10	0,17	16	feucht	feucht	erfüllt
14:40	x+22	0,10	<b>0,12</b>	0,20	32	nass	feucht	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 22.02.2016

\*) Widerspruch zur WFD vorhanden

#### 1.2.2.2.2 FBZ „feucht – nass“ Messung 1

am 23.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +6°C bei 79% Luftfeuchtigkeit

Zur Anzeige des Übergangs vom Zustand „trocken“ nach „feucht“ wurde bei dieser Messung zuerst der Wert für eine Wasserfilmdicke von 0,02 mm aufgetragen. Im Anschluss folgte durch mehrfaches Auftragen eine Erhöhung der Wasserfilmdicke, bis dass die geforderte Menge von 0,12 mm erreicht wurde. Dieser Vorgang benötigt einige Zeit, sodass bis zur Erreichung der Soll Wasserfilmdicke und anschließender Ablesung der Messwerte ein größerer zeitlicher Abschnitt besteht. Im Anschluss erfolgt die turnusmäßige Erhöhung der Wasserfilmdicke um jeweils 0,02 mm.

Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Sensor WFD [mm]	Sensor FBZ	Sensor FBZ [TLS Code]	Soll FBZ [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
09:42	0	0,00	0,00	0,00	0	trocken	trocken	erfüllt
09:49	x	0,02	0,02	0,04	16	feucht	feucht	erfüllt
09:53	x	0,12	<b>0,13</b>	0,07	16	feucht	feucht	erfüllt
09:55	x+2	0,14	0,15	0,17	16	feucht	feucht	erfüllt
09:57	x+4	0,16	0,18	0,19	16	feucht	feucht	erfüllt
09:59	x+6	0,18	0,20	0,23	32	nass	nass	erfüllt
10:01	x+8	0,20	<b>0,22</b>	0,26	32	nass	nass	erfüllt
10:03	x+10	0,22	0,26	0,25	32	nass	nass	erfüllt
10:05	x+12	0,24	0,28	0,25	32	nass	nass	erfüllt
10:07	x+14	0,26	<b>0,29</b>	0,26	32	nass	nass	erfüllt
10:09	x+16	0,26	<b>0,29</b>	0,26	32	nass	nass	erfüllt
10:10	x+17	0,26	<b>0,29</b>	0,26	32	nass	nass	erfüllt
10:11	x+18	0,26	<b>0,29</b>	0,26	32	nass	nass	erfüllt
10:12	x+19	0,26	<b>0,29</b>	0,25	32	nass	nass	erfüllt
10:13	x+20	0,26	<b>0,29</b>	0,25	32	nass	nass	erfüllt
10:15	x+22	0,28	0,30	0,25	32	nass	nass	erfüllt
10:17	x+24	0,30	<b>0,32</b>	0,27	32	nass	nass	erfüllt
10:24	x+29	0,30	<b>0,31</b>	0,27	32	nass	nass	erfüllt
10:27	x+32	0,30	0,31	0,27	32	nass	nass	erfüllt
10:32	x+37	0,30	0,31	0,27	32	nass	nass	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 23.02.2016

### 1.2.2.2.3 FBZ „feucht – nass“ Messung 2

am 23.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +6°C bei 79% Luftfeuchtigkeit

Zur Anzeige des Übergangs vom Zustand „trocken“ nach „feucht“ wurde bei dieser Messung zuerst der Wert für eine Wasserfilmdicke von 0,02 mm aufgetragen. Im Anschluss folgte durch mehrfaches Auftragen eine Erhöhung der Wasserfilmdicke, bis dass die geforderte Menge von 0,12 mm erreicht wurde. Dieser Vorgang benötigt einige Zeit, sodass bis zur Erreichung der Soll Wasserfilmdicke und anschließender Ablesung der Messwerte ein größerer zeitlicher Abschnitt besteht. Im Anschluss erfolgt die turnusmäßige Erhöhung der Wasserfilmdicke um jeweils 0,02 mm.

Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Sensor WFD [mm]	Sensor FBZ	Sensor FBZ [TLS Code]	Soll FBZ [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
10:54	0	0,00	0,00	0,00	0	trocken	trocken	erfüllt
10:57	x	0,02	0,02	0,00	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
11:02	x	0,12	<b>0,14</b>	0,13	16	feucht	feucht	erfüllt
11:05	x+3	0,14	0,16	0,20	32	nass	feucht	nicht erfüllt
11:07	x+5	0,16	0,18	0,22	32	nass	feucht	nicht erfüllt
11:09	x+7	0,18	0,19	0,25	32	nass	feucht	nicht erfüllt
11:11	x+9	0,20	<b>0,21</b>	0,03	32	nass	nass	erfüllt *
11:13	x+11	0,22	0,23	0,29	32	nass	nass	erfüllt
11:15	x+13	0,24	0,25	0,30	32	nass	nass	erfüllt
11:17	x+15	0,26	<b>0,27</b>	0,29	32	nass	nass	erfüllt
13:58	x+176	0,26	<b>0,21</b>	0,23	32	nass	nass	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 23.02.2016

\*) Widerspruch zur WFD vorhanden

#### FBZ „nass“ bei Test der WFD 0,2 mm Messung 1

am 16.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +4,5°C bei 40% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Sensor WFD [mm]	Sensor FBZ	Sensor FBZ [TLS Code]	Soll FBZ [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
14:26	0	0,00	0,00	0,00	0	trocken	trocken	erfüllt
14:29	x	0,20	<b>0,24</b>	0,00	0	trocken	nass	nicht erfüllt
14:30	x+1	0,20	0,24	0,01	16	feucht	nass	nicht erfüllt
14:31	x+2	0,20	0,24	0,18	16	feucht	nass	nicht erfüllt
14:32	x+3	0,20	0,24	0,27	32	nass	nass	erfüllt
14:33	x+4	0,20	0,24	0,31	32	nass	nass	erfüllt
14:34	x+5	0,20	0,24	0,34	32	nass	nass	erfüllt
14:35	x+6	0,20	<b>0,23</b>	0,34	32	nass	nass	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 16.02.2016

#### 1.2.2.2.4 FBZ „nass“ bei Test der WFD 0,2 mm Messung 1

am 17.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +4,6°C bei 68% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Sensor WFD [mm]	Sensor FBZ	Sensor FBZ [TLS Code]	Soll FBZ [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
10:46	0	0,00	0,00	0,00	0	trocken	trocken	erfüllt
10:49	x	0,20	<b>0,22</b>	0,13	16	feucht	nass	nicht erfüllt
10:50	x+1	0,20	0,26	0,13	16	feucht	nass	nicht erfüllt
10:51	x+2	0,20	0,26	0,21	32	nass	nass	erfüllt
10:52	x+3	0,20	0,26	0,21	32	nass	nass	erfüllt
10:53	x+4	0,20	0,26	0,22	32	nass	nass	erfüllt
10:54	x+5	0,20	0,26	0,22	32	nass	nass	erfüllt
10:55	x+6	0,20	<b>0,21</b>	0,23	32	nass	nass	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 17.02.2016

#### 1.2.2.2.5 FBZ „nass“ bei Test der WFD 0,2 mm Messung 2

am 17.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +5°C bei 64% Luftfeuchtigkeit
- Bei x+7 wurde mit einem Stab der Wasserfilm auf der Sensoroberfläche verteilt

Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Sensor WFD [mm]	Sensor FBZ	Sensor FBZ [TLS Code]	Soll FBZ [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
14:00	0	0,00	0,00	0,00	0	trocken	trocken	erfüllt
14:05	x	0,20	<b>0,23</b>	0,14	16	feucht	nass	nicht erfüllt
14:06	x+1	0,20	0,23	0,21	32	nass	nass	erfüllt
14:07	x+2	0,20	0,23	0,24	32	nass	nass	erfüllt
14:08	x+3	0,20	0,23	0,26	32	nass	nass	erfüllt
14:09	x+4	0,20	0,23	0,27	32	nass	nass	erfüllt
14:10	x+5	0,20	0,23	0,27	32	nass	nass	erfüllt
14:11	x+6	0,20	0,23	0,27	32	nass	nass	erfüllt
14:12	x+7	0,20	0,23	0,28	32	nass	nass	erfüllt
14:14	x+9	0,20	0,23	0,28	32	nass	nass	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 17.02.2016

#### 1.2.2.2.6 FBZ „nass“ bei Test der WFD 0,5 mm Messung 1

am 18.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +5°C bei 64% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Sensor WFD [mm]	Sensor FBZ	Sensor FBZ [TLS Code]	Soll FBZ [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
10:25	0	0,00	0,00	0,00	0	trocken	trocken	erfüllt
10:41	x	0,50	<b>0,54</b>	0,32	32	nass	nass	erfüllt
10:42	x+1	0,50	0,54	0,40	32	nass	nass	erfüllt
10:43	x+2	0,50	0,54	0,40	32	nass	nass	erfüllt
10:44	x+3	0,50	0,54	0,44	32	nass	nass	erfüllt
10:45	x+4	0,50	0,54	0,46	32	nass	nass	erfüllt
10:46	x+5	0,50	0,54	0,47	32	nass	nass	erfüllt
10:47	x+6	0,50	<b>0,54</b>	0,48	32	nass	nass	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 18.02.2016

#### 1.2.2.2.7 FBZ „nass“ bei Test der WFD 0,5 mm Messung 2

am 18.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +4,9°C bei 64% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Sensor WFD [mm]	Sensor FBZ	Sensor FBZ [TLS Code]	Soll FBZ [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
11:05	0	0,00	0,00	0,00	0	trocken	trocken	erfüllt
11:12	x	0,50	<b>0,50</b>	0,01	16	feucht	nass	nicht erfüllt
11:13	x+1	0,50	0,54	0,25	32	nass	nass	erfüllt
11:14	x+2	0,50	0,54	0,38	32	nass	nass	erfüllt
11:15	x+3	0,50	0,54	0,45	32	nass	nass	erfüllt
11:16	x+4	0,50	0,54	0,48	32	nass	nass	erfüllt
11:17	x+5	0,50	0,54	0,49	32	nass	nass	erfüllt
11:18	x+6	0,50	<b>0,50</b>	0,49	32	nass	nass	erfüllt
13:29	x+137	0,50	<b>0,43</b>	0,49	32	nass	nass	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 18.02.2016

#### 1.2.2.2.8 FBZ „feucht“ bei Test der GT -3°C Messung 1

am 16.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl-Lösung; Klimakammer -1,4 °C bei 55% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Sensor WFD [mm]	Sensor FBT [°C]	Sensor FBZ	Sensor FBZ [TLS Code]	Soll FBZ [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
09:59	0	0,00	0,00	0,00	-1,3	0	trocken	trocken	erfüllt
10:01	x	0,10	<b>0,10</b>	0,00	-1,3	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
10:03	x+1	0,10	<b>0,10</b>	0,00	-1,4	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
10:05	x+2	0,10	<b>0,10</b>	0,13	-1,5	16	feucht	feucht	erfüllt
10:07	x+3	0,10	<b>0,09</b>	0,15	-1,5	64	glatt	feucht	nicht erfüllt
10:09	x+4	0,10	<b>0,09</b>	0,16	-1,5	64	glatt	feucht	nicht erfüllt
10:10	x+5	0,10	<b>0,09</b>	0,17	-1,5	64	glatt	feucht	nicht erfüllt
10:11	x+6	0,10	<b>0,09</b>	0,16	-1,5	64	glatt	feucht	nicht erfüllt
10:31	x+30	0,10	<b>0,09</b>	0,15	-1,5	64	glatt	feucht	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 16.03.2016

#### 1.2.2.2.9 FBZ „feucht“ bei Test der GT -3°C Messung 2

am 16.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl-Lösung; Klimakammer -1,7 °C bei 55% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Sensor WFD [mm]	Sensor FBT [°C]	Sensor FBZ	Sensor FBZ [TLS Code]	Soll FBZ [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
10:58	0	0,00	0,00	0,00	0	0	trocken	trocken	erfüllt
11:02	x	0,10	<b>0,10</b>	0,08	-3	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
11:03	x+1	0,10	<b>0,10</b>	0,12	-3	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
11:04	x+2	0,10	<b>0,10</b>	0,12	-3	16	feucht	feucht	erfüllt
11:05	x+3	0,10	<b>0,09</b>	0,14	-3	16	feucht	feucht	erfüllt
11:06	x+4	0,10	<b>0,09</b>	0,15	-3	16	feucht	feucht	erfüllt
11:07	x+5	0,10	<b>0,09</b>	0,16	-3	16	feucht	feucht	erfüllt
11:08	x+6	0,10	<b>0,09</b>	0,16	-3	16	feucht	feucht	erfüllt
11:27	x+25	0,10	<b>0,09</b>	0,15	-3	64	glatt	feucht	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 16.03.2016

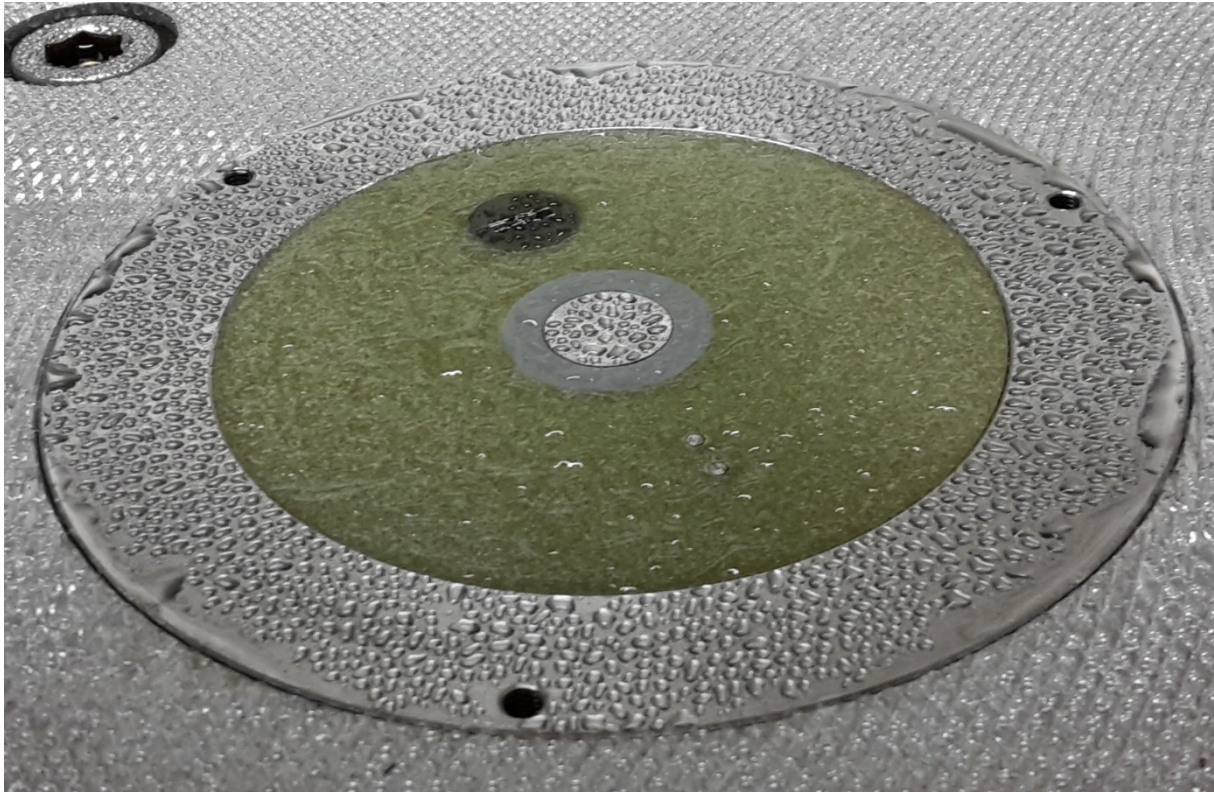


Bild: IT-Sens am 16.03.2016 ; Lösung NaCl für -3°C GT

### 1.2.2.2.10 FBZ „feucht“ bei Test der GT -3°C Messung 3

am 16.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl-Lösung; Klimakammer -1,3 °C bei 54% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Sensor WFD [mm]	Sensor FBT [°C]	Sensor FBZ	Sensor FBZ [TLS Code]	Soll FBZ [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
14:45	0	0,00	0,00	0,00	0	0	trocken	trocken	erfüllt
14:53	x	0,10	<b>0,10</b>	0,00	-3	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
14:54	x+1	0,10	<b>0,10</b>	0,08	-3	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
14:55	x+2	0,10	<b>0,10</b>	0,12	-3	16	feucht	feucht	erfüllt
14:56	x+3	0,10	<b>0,09</b>	0,14	-3	16	feucht	feucht	erfüllt
14:57	x+4	0,10	<b>0,09</b>	0,14	-3	64	glatt	feucht	nicht erfüllt
14:58	x+5	0,10	<b>0,09</b>	0,15	-3	64	glatt	feucht	nicht erfüllt
14:59	x+6	0,10	<b>0,09</b>	0,16	-3	64	glatt	feucht	nicht erfüllt
15:25	x+32	0,10	<b>0,09</b>	0,14	-3	64	glatt	feucht	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 3 am 16.03.2016

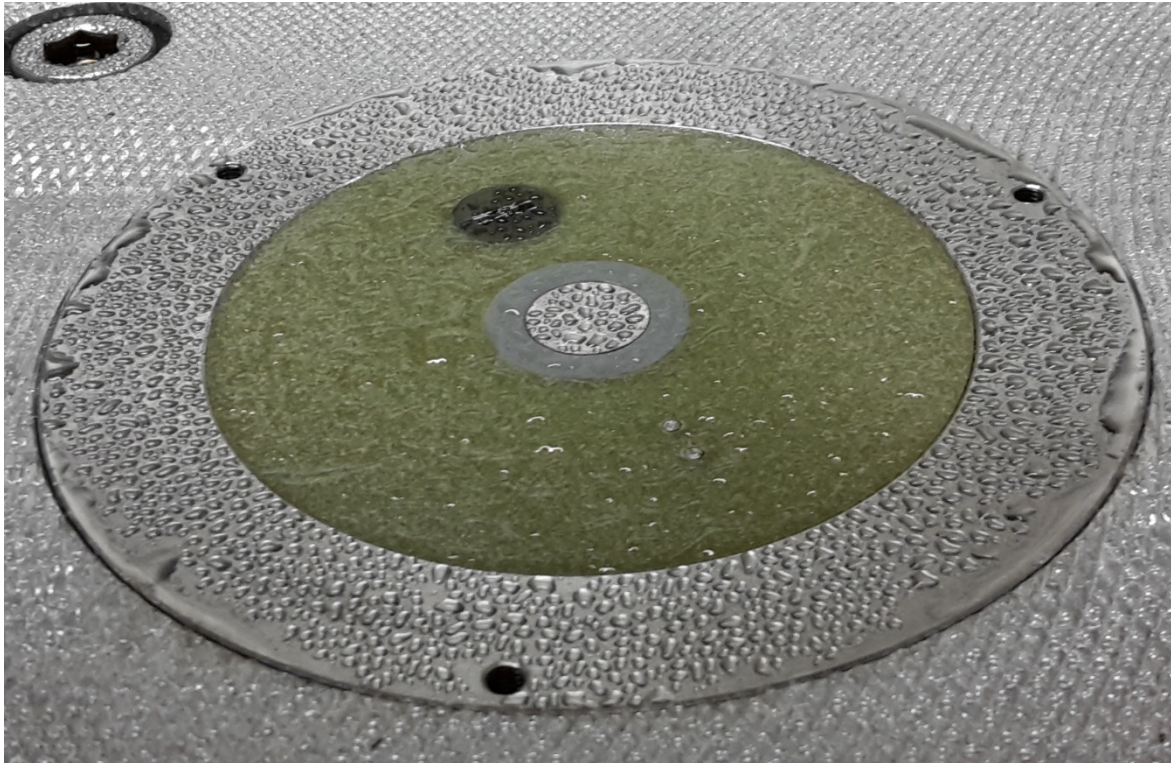


Bild: IT-Sens am 16.03.2016 ; Lösung NaCl für -3°C GT

### 1.2.2.2.11 FBZ „nass“ bei Test der GT -3 °C Messung 1

am 17.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl-Lösung; Klimakammer -0,66 °C bei 56 % Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Sensor WFD [mm]	Sensor FBT [°C]	Sensor FBZ	Sensor FBZ [TLS Code]	Soll FBZ [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
13:24	0	0,00	0,00	0,00	0	0	trocken	trocken	erfüllt
13:30	x	0,20	<b>0,20</b>	0,11	-3	16	feucht	nass	nicht erfüllt
13:31	x+1	0,20	<b>0,20</b>	0,18	-3	16	feucht	nass	erfüllt
13:32	x+2	0,20	<b>0,20</b>	0,21	-3	16	feucht	nass	nicht erfüllt *)
13:33	x+3	0,20	<b>0,20</b>	0,23	-3	64	glatt	nass	nicht erfüllt
13:34	x+4	0,20	<b>0,20</b>	0,24	-3	64	glatt	nass	nicht erfüllt
13:35	x+5	0,20	<b>0,20</b>	0,25	-3	64	glatt	nass	nicht erfüllt
13:36	x+6	0,20	<b>0,20</b>	0,25	-3	64	glatt	nass	nicht erfüllt
14:00	x+29	0,20	<b>0,19</b>	0,24	-3	64	glatt	feucht	nicht erfüllt
14:02	Stab	0,20	0,19	0,24	-3	64	glatt	feucht	nicht erfüllt
14:12	Stab +10	0,20	0,19	0,01	-3	64	glatt	feucht	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 17.03.2016

\*) Widerspruch zur WFD vorhanden



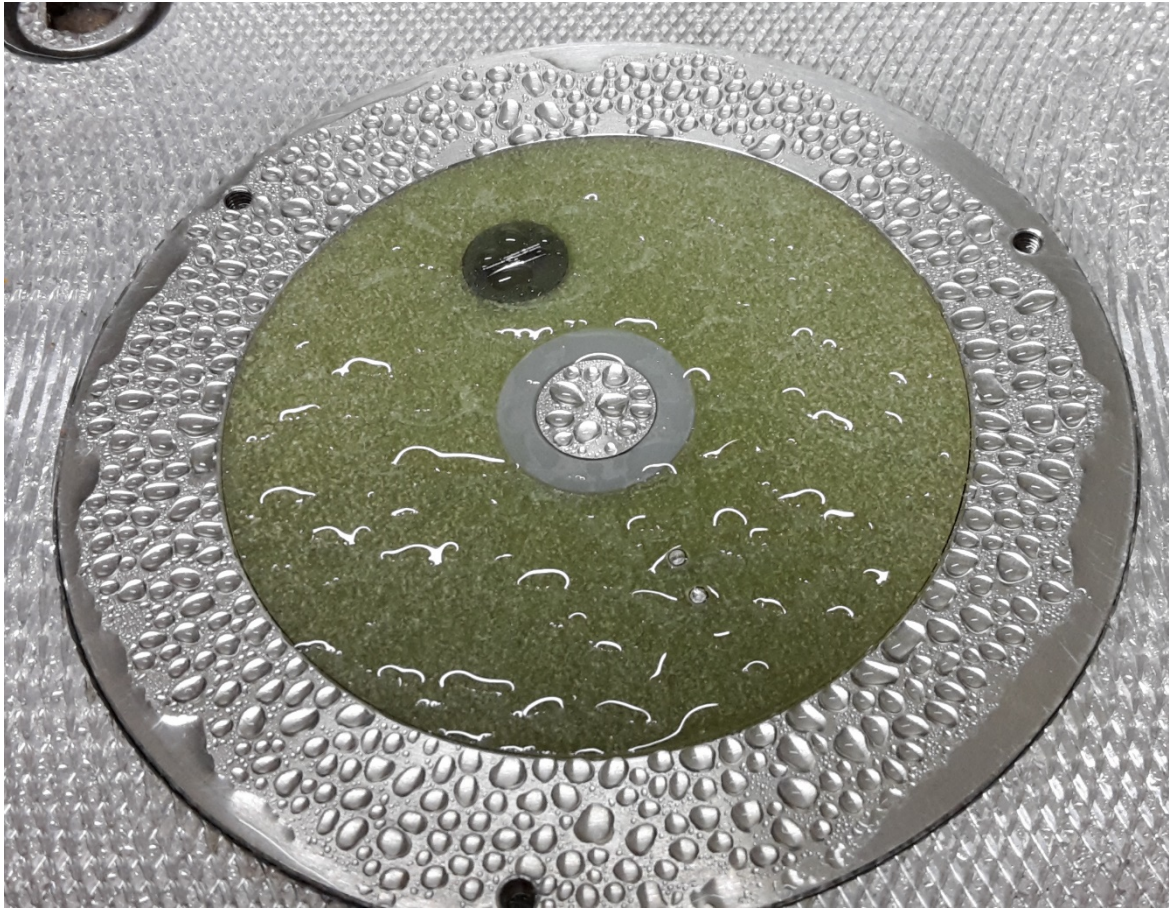


Bild: IT-Sens am 17.03.2016 um 13:38 Uhr

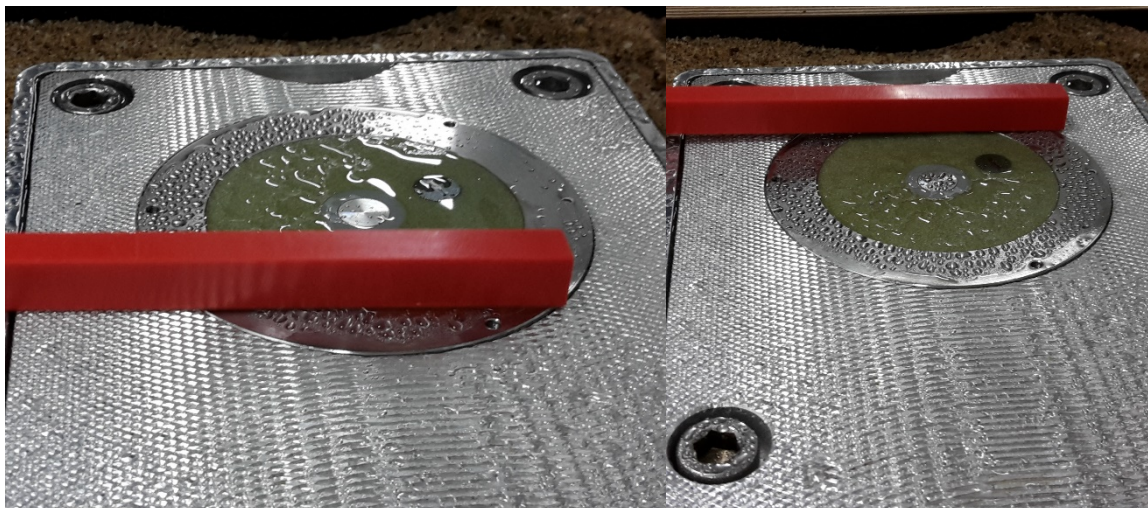


Bild: IT-Sens am 17.03.2016 um 14:02 Uhr, Einsatz Stab

### FBZ „nass“ bei Test der -1°C Messung 2

am 17.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl-Lösung; Klimakammer -1,02 °C bei 55 % Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Sensor WFD [mm]	Sensor FBT [°C]	Sensor FBZ	Sensor FBZ [TLS Code]	Soll FBZ [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
14:59	0	0,00	0,00	0,00	-1,1	0	trocken	trocken	erfüllt
15:05	x	0,20	<b>0,19</b>	0,17	-1,4	16	feucht	feucht	erfüllt
15:06	x+1	0,20	<b>0,19</b>	0,21	-1,5	64	glatt	feucht	nicht erfüllt
15:07	x+2	0,20	<b>0,19</b>	0,23	-1,6	64	glatt	feucht	nicht erfüllt
15:08	x+3	0,20	<b>0,19</b>	0,24	-1,6	64	glatt	feucht	nicht erfüllt
15:09	x+4	0,20	<b>0,19</b>	0,25	-1,6	64	glatt	feucht	nicht erfüllt
15:10	x+5	0,20	<b>0,19</b>	0,25	-1,7	64	glatt	feucht	nicht erfüllt
15:11	x+6	0,20	<b>0,19</b>	0,25	-1,7	64	glatt	feucht	nicht erfüllt
15:25	x+30	0,20	<b>0,19</b>	0,25	-1,9	64	glatt	feucht	nicht erfüllt
15:27	Stab	0,20	0,19	0,25	-1,9	64	glatt	feucht	nicht erfüllt
15:37	Stab +10	0,20	0,19	0,32	-1,8	64	glatt	feucht	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 17.03.2016

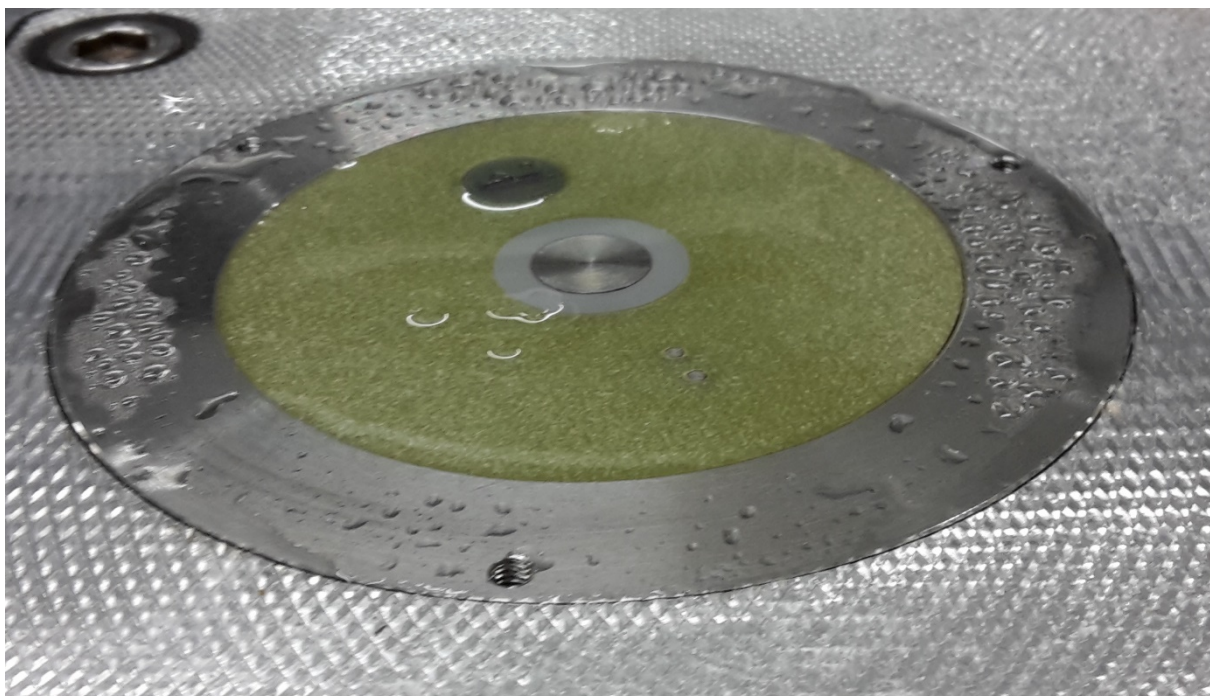


Bild: IT-Sens am 17.03.2016 nach Stab-Einsatz

### 1.2.2.3 Fazit: FBZ „feucht“ und „nass“

Übergang von „*trocken auf feucht*“ wird in den ersten Messminuten korrekt vom Sensor IT-Sens® dargestellt, jedoch schaltet der Sensor anschließend wieder auf dem Zustand „trocken“, obwohl die Wasserfilmdicke weiter kontinuierlich erhöht wurde. Erst nach einem längeren Zeitraum wird wieder der FBZ „feucht“ angezeigt.

Dieses beschriebene Zurücksetzen auf dem Zustand „trocken“ ist nicht erklärbar und für den Einsatz in der Praxis sehr irreführend. Positiv ist die schnelle Reaktion am Anfang zu bemerken. Es besteht Klärungsbedarf bezüglich des „Zurücksetzens auf den Zustand „trocken“.

Übergang von „*feucht auf trocken*“ wurde ordnungsgemäß vom Sensor bei Temperaturen über 0°C in der Klimakammer angezeigt.

#### FBZ „feucht“

Der FBZ „*feucht*“ wurden bisher nur bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt bewertet. Bedingt durch die nicht zufriedenstellende Ergebnisse mit der Zustandsangabe „glatt“ sind Testmessungen bei Temperaturen > 0°C geplant.

#### FBZ „nass“

Dieser wurde ordnungsgemäß vom Sensor IT-Sens® bei Temperaturen über 0°C angezeigt. Bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt erfolgte immer die Anzeige des Zustandes „glatt“, obwohl auf der Sensoroberfläche keine Eisbildung zu erkennen war.

Aufgrund der nicht korrekten Zuordnung des FBZ bei Temperaturen <0° C, sind weitere Testmessungen für den Übergangsbereich von „*trocken auf feucht*“ und „*feucht auf trocken*“ sowie den Zuständen „feucht“ und „nass“ für Temperaturen über dem Gefrierpunkt durchzuführen, um genauer Aussagen treffen zu können.

## 1.3 Test: Wasserfilmdicke (WFD)

### 1.3.1 Beschreibung der Testdurchführung gemäß CEN/TS 15518-4

Für die Prüfung der Wasserfilmdicke wurden Wasserfilme von 0,2 mm und 0,5 mm mit dem maschinell geführten Sprühventil (Spritzkasten) auf die Sensoroberfläche aufgetragen.

Beim Aufsprühen ergab sich die Referenzmessung anhand der aufgefangenen Wassermenge auf der Referenzplatte neben dem Sensor. Die tatsächlich ermittelten Werte von der Referenzplatte sind in den Tabellen fett dargestellt.

Bedingt durch die benötigte Zeit für das maschinelle Auftragen der Wasserfilmdicke, wurde für die Messwerte ein Zeitintervall von 2min anstatt der in der Prüfvorschrift (DIN CEN/TS 15518-4) von 1min berücksichtigt.

Die Tests wurden mit unterschiedlicher Randbedingung (nach der Norm DIN CEN/TS 15518-4 und herstellereigenen Angaben) in der Klimakammer durchgeführt.

### 1.3.2 Ergebnisse der Tests für die WFD

Hierbei sind die Ergebnisse, die bei der Durchführung der Tests für den Fahrbahnzustand und der Gefriertemperatur ermittelt wurden, mit berücksichtigt.

Die Werte für die Wasserfilmdicke wurden auf zwei Nachkommastellen automatisch durch das Programm Excel dargestellt. Die Berechnung erfolgte jedoch mit den Ist-Werten, die drei Nachkommastellen enthalten. Aus diesem Grund kann es bei den Angaben für die obere und untere Toleranzgrenzen zu Abweichungen kommen.

#### 1.3.2.1 WFD 0,2 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 1

am 16.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +4,5°C bei 40% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Mi- nute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	WFD Sensor [mm]	untere To- leranz- grenze [-30%]	obere Tole- ranz- grenze [+30%]	Bewertung: WFD
14:26	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
14:29	x	0,20	<b>0,24</b>	0,00	0,17	0,31	nicht erfüllt
14:30	x+1	0,20	0,24	0,01	0,17	0,31	nicht erfüllt
14:31	x+2	0,20	0,24	0,18	0,17	0,31	erfüllt
14:32	x+3	0,20	0,24	0,27	0,17	0,31	erfüllt
14:33	x+4	0,20	0,24	0,31	0,17	0,31	erfüllt
14:34	x+5	0,20	0,24	0,34	0,17	0,31	nicht erfüllt
14:35	x+6	0,20	<b>0,23</b>	0,34	0,16	0,30	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 16.02.2016

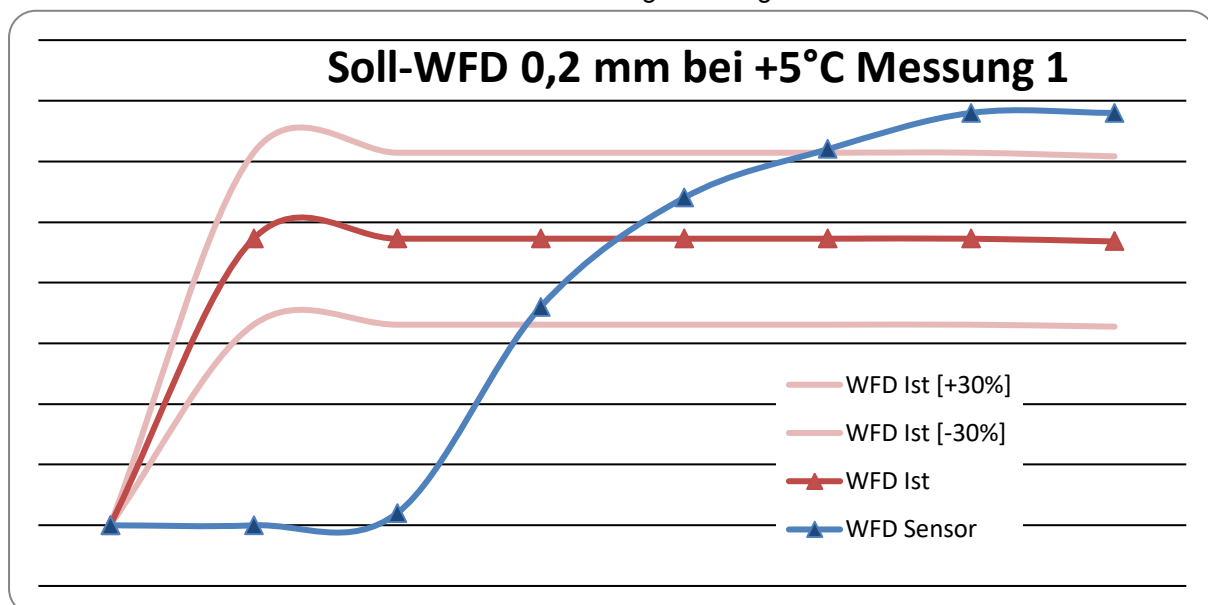


Diagramm: Messwerte Messung 1 am 16.02.2016

### 1.3.2.2 WFD 0,2 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 1

am 17.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +4,6°C bei 68% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	WFD Sensor [mm]	untere Toleranzgrenze [-30%]	obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung: WFD
10:46	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
10:49	x	0,20	<b>0,22</b>	0,13	0,15	0,28	nicht erfüllt
10:50	x+1	0,20	0,26	0,13	0,18	0,34	nicht erfüllt
10:51	x+2	0,20	0,26	0,21	0,18	0,34	erfüllt
10:52	x+3	0,20	0,26	0,21	0,18	0,34	erfüllt
10:53	x+4	0,20	0,26	0,22	0,18	0,34	erfüllt
10:54	x+5	0,20	0,26	0,22	0,18	0,34	erfüllt
10:55	x+6	0,20	<b>0,21</b>	0,23	0,15	0,28	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 17.02.2016

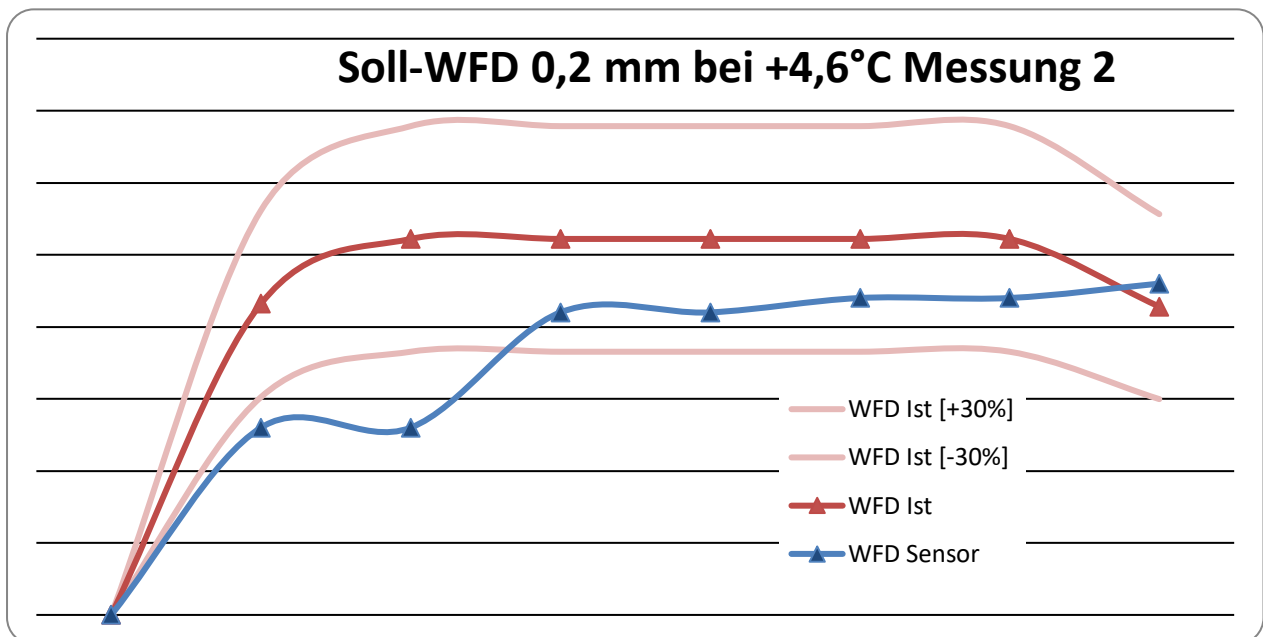


Diagramm: Messwerte Messung 1 am 17.02.2016

### 1.3.2.3 WFD 0,2 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 2

am 17.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +5°C bei 64% Luftfeuchtigkeit
- Bei x+7 wurde mit einem Stab der Wasserfilm auf der Sensoroberfläche verteilt

Uhrzeit	Mess-Mi- nute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	WFD Sensor [mm]	untere To- leranz- grenze [-30%]	obere Tole- ranz- grenze [+30%]	Bewertung: WFD
14:00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
14:05	x	0,20	<b>0,23</b>	0,14	0,16	0,30	nicht erfüllt
14:06	x+1	0,20	0,23	0,21	0,16	0,30	erfüllt
14:07	x+2	0,20	0,23	0,24	0,16	0,30	erfüllt
14:08	x+3	0,20	0,23	0,26	0,16	0,30	erfüllt
14:09	x+4	0,20	0,23	0,27	0,16	0,30	erfüllt
14:10	x+5	0,20	0,23	0,27	0,16	0,30	erfüllt
14:11	x+6	0,20	0,23	0,27	0,16	0,30	erfüllt
14:12	x+7	0,20	0,23	0,28	0,16	0,30	erfüllt
14:14	x+9	0,20	0,23	0,28	0,16	0,30	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 17.02.2016

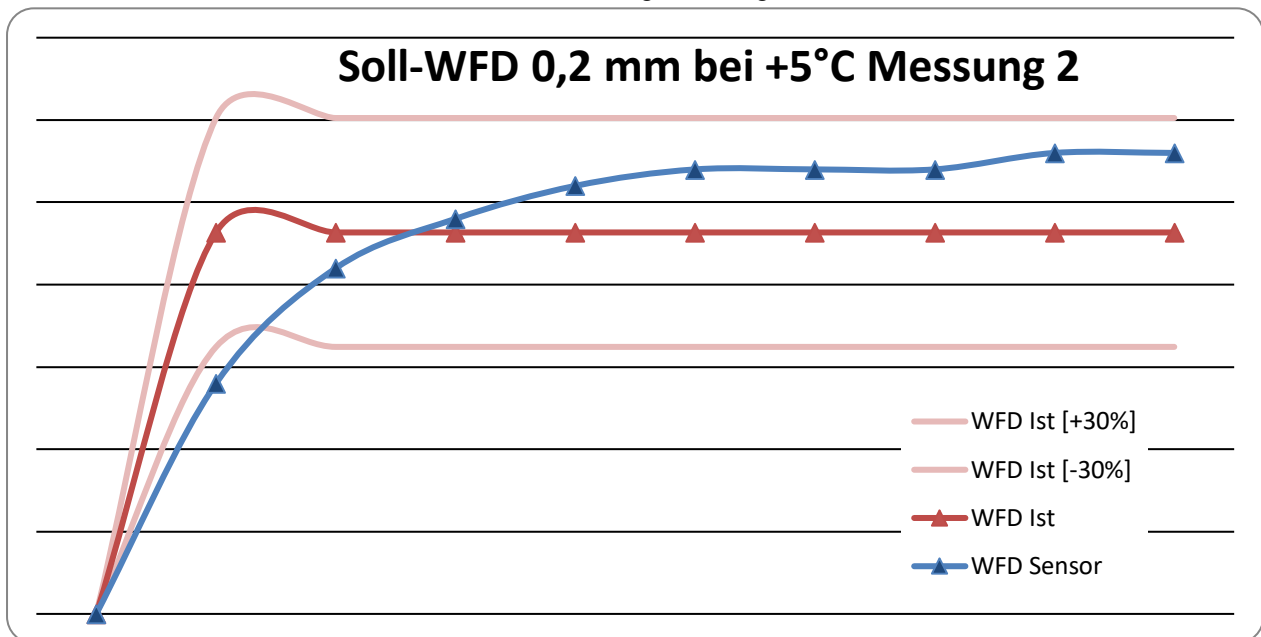


Diagramm: Messwerte Messung 2 am 17.02.2016

#### 1.3.2.4 WFD 0,5 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 1

am 18.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +5°C bei 64% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Mi- nute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	WFD Sensor [mm]	untere To- leranz- grenze [-30%]	obere Tole- ranz- grenze [+30%]	Bewertung: WFD
10:25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
10:41	x	0,50	<b>0,54</b>	0,32	0,38	0,70	nicht erfüllt
10:42	x+1	0,50	0,54	0,40	0,38	0,70	erfüllt
10:43	x+2	0,50	0,54	0,40	0,38	0,70	erfüllt
10:44	x+3	0,50	0,54	0,44	0,38	0,70	erfüllt
10:45	x+4	0,50	0,54	0,46	0,38	0,70	erfüllt
10:46	x+5	0,50	0,54	0,47	0,38	0,70	erfüllt
10:47	x+6	0,50	<b>0,54</b>	0,48	0,38	0,70	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 18.02.2016

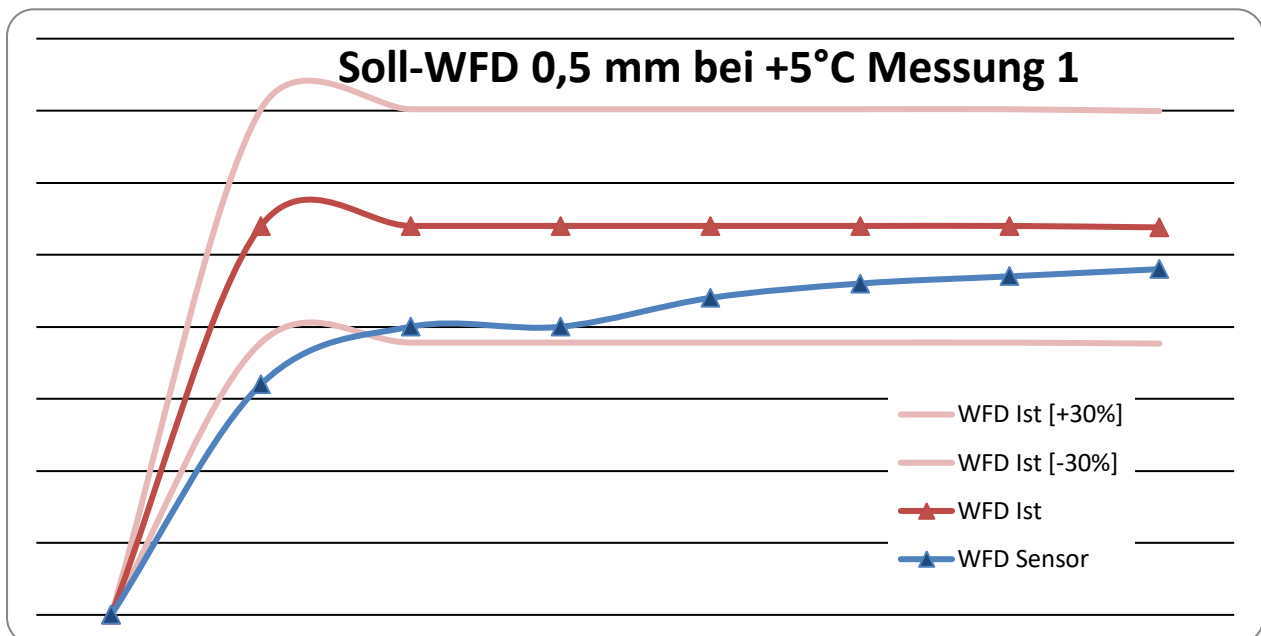


Diagramm: Messwerte Messung 1 am 18.02.2016

### 1.3.2.5 WFD 0,5 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 2

am 18.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +4,9°C bei 64% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Mi- nute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Sensor WFD [mm]	untere To- leranz- grenze [-30%]	obere Tole- ranz- grenze [+30%]	Bewertung: WFD
11:05	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
11:12	x	0,50	<b>0,50</b>	0,01	0,35	0,65	nicht erfüllt
11:13	x+1	0,50	0,54	0,25	0,38	0,70	nicht erfüllt
11:14	x+2	0,50	0,54	0,38	0,38	0,70	erfüllt
11:15	x+3	0,50	0,54	0,45	0,38	0,70	erfüllt
11:16	x+4	0,50	0,54	0,48	0,38	0,70	erfüllt
11:17	x+5	0,50	0,54	0,49	0,38	0,70	erfüllt
11:18	x+6	0,50	<b>0,50</b>	0,49	0,35	0,65	erfüllt
13:29	x+137	0,50	<b>0,43</b>	0,49	0,30	0,56	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 18.02.2016

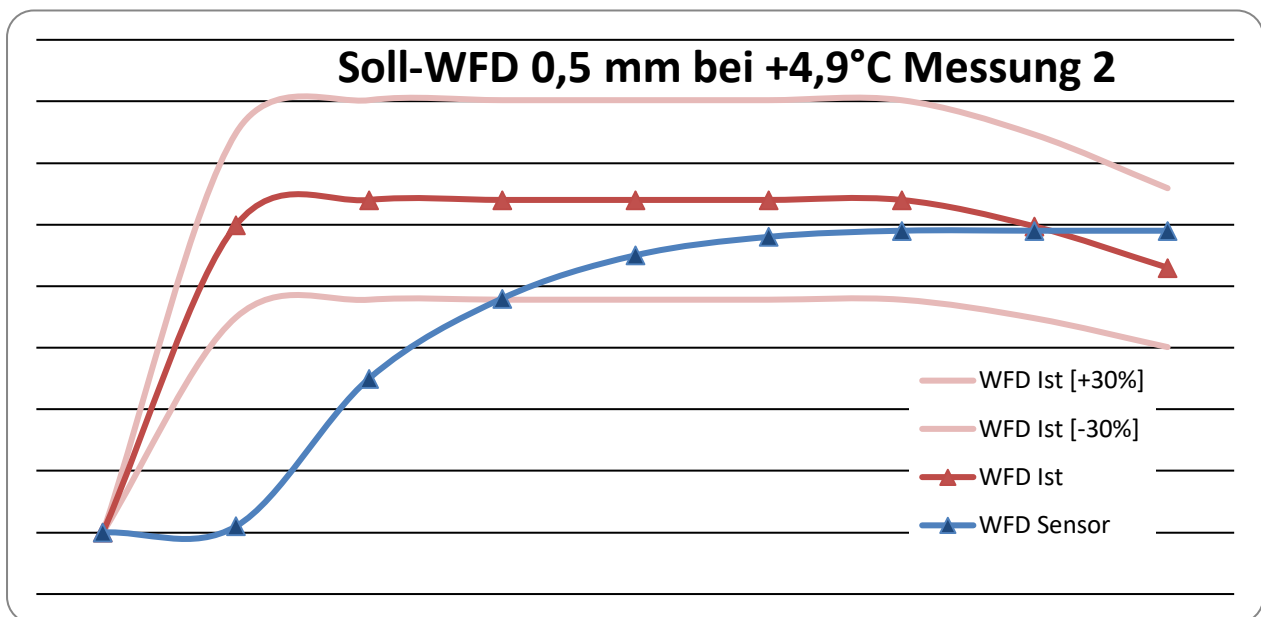


Diagramm: Messwerte Messung 2 am 18.02.2016

### 1.3.2.6 WFD 0,1 mm in 0,01 Schritten bei +5°C Messung 1

am 22.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +7,1°C bei 93% Luftfeuchtigkeit



Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	WFD Sensor	untere To-leranz-grenze [-30%]	obere To-leranz-grenze [+30%]	Bewertung: WFD
13:15	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
13:16	x	0,012-0,015	<b>0,01</b>	0,00	0,01	0,02	nicht erfüllt
13:17	x+1	0,012-0,015	0,01	0,01	0,01	0,02	nicht erfüllt
13:18	x+2	0,012-0,015	0,01	0,01	0,01	0,02	nicht erfüllt
13:19	x+3	0,012-0,015	0,01	0,02	0,01	0,02	nicht erfüllt
13:20	x+4	0,012-0,015	0,01	0,00	0,01	0,02	nicht erfüllt
13:23	x+7	0,02	0,03	0,00	0,02	0,04	nicht erfüllt
13:24	x+8	0,03	0,04	0,00	0,03	0,06	nicht erfüllt
13:26	x+10	0,04	0,06	0,00	0,04	0,08	nicht erfüllt
13:29	x+13	0,05	0,07	0,00	0,05	0,10	nicht erfüllt
13:31	x+15	0,06	0,09	0,00	0,06	0,12	nicht erfüllt
13:33	x+17	0,07	0,10	0,12	0,07	0,13	erfüllt
13:35	x+19	0,08	0,12	0,15	0,08	0,15	erfüllt
13:37	x+21	0,09	0,13	0,18	0,09	0,17	nicht erfüllt
13:39	x+23	0,10	<b>0,13</b>	0,20	0,09	0,17	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 22.02.2016

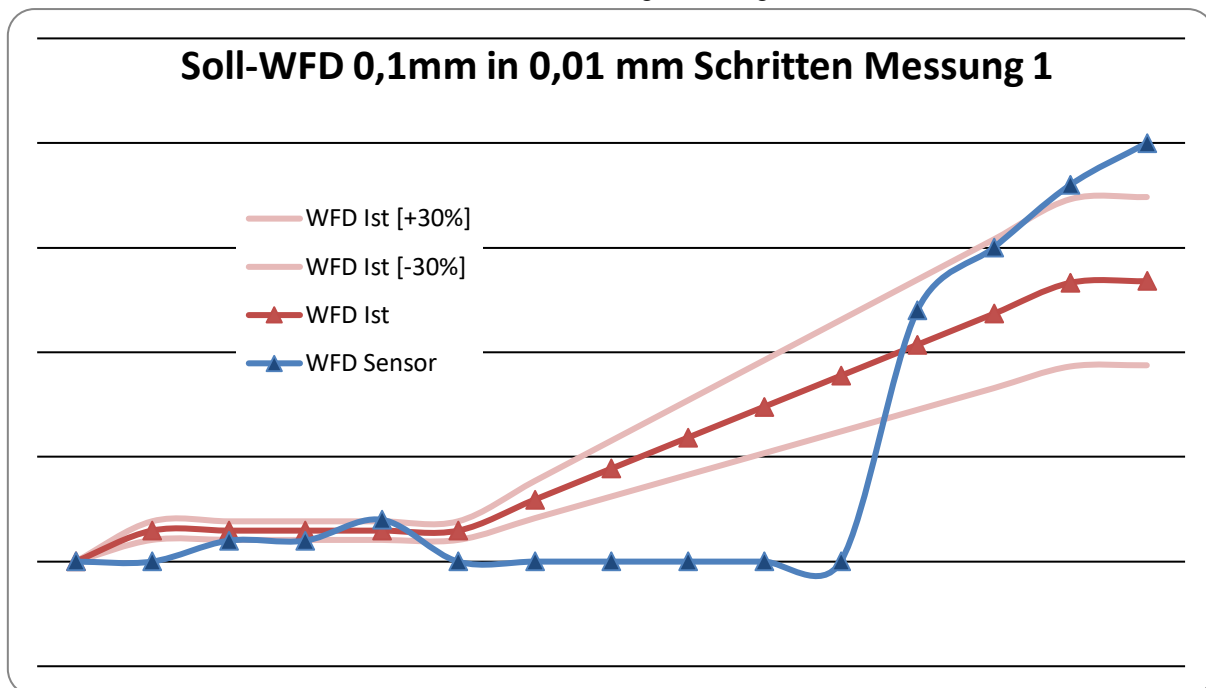


Diagramm: Messwerte Messung 1 am 22.02.2016

### 1.3.2.7 WFD 0,1 mm in 0,01 Schritten bei +5°C Messung 2

am 22.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +5°C bei 45% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	WFD Sensor	untere To-leranz-grenze [-30%]	obere To-leranz-grenze [+30%]	Bewertung: WFD
14:10	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
14:17	x	0,012-0,015	<b>0,01</b>	0,00	0,01	0,02	nicht erfüllt
14:18	x+1	0,012-0,015	0,01	0,01	0,01	0,02	erfüllt
14:19	x+2	0,012-0,015	0,01	0,02	0,01	0,02	erfüllt
14:20	x+3	0,012-0,015	0,01	0,00	0,01	0,02	nicht erfüllt
14:21	x+4	0,012-0,015	0,01	0,00	0,01	0,02	nicht erfüllt
14:24	x+7	0,02	0,02	0,00	0,02	0,03	nicht erfüllt
14:26	x+9	0,03	0,03	0,00	0,02	0,04	nicht erfüllt
14:28	x+11	0,04	0,05	0,00	0,03	0,05	nicht erfüllt
14:30	x+13	0,05	0,06	0,00	0,04	0,07	nicht erfüllt
14:32	x+15	0,06	0,07	0,10	0,05	0,08	nicht erfüllt
14:34	x+16	0,07	0,08	0,12	0,06	0,09	nicht erfüllt
14:36	x+18	0,08	0,09	0,15	0,06	0,10	nicht erfüllt
14:38	x+20	0,09	0,10	0,17	0,07	0,12	nicht erfüllt
14:40	x+22	0,10	<b>0,12</b>	0,20	0,09	0,16	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 22.02.2016

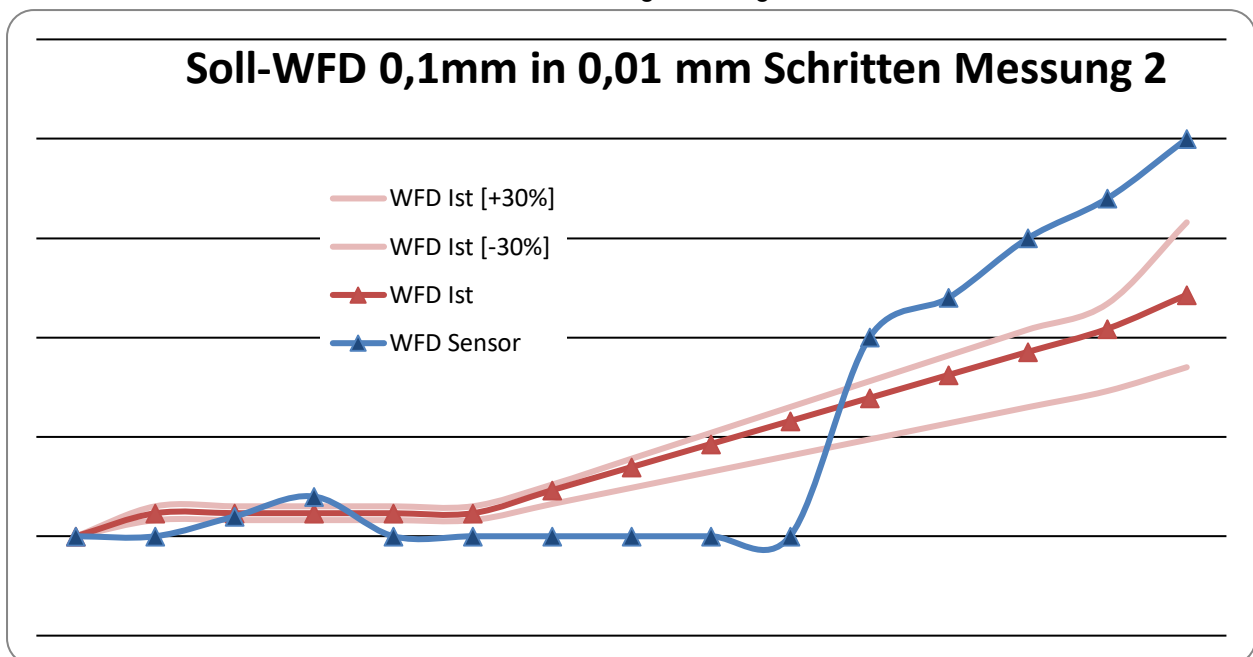


Diagramm: Messwerte Messung 2 am 22.02.2016

### 1.3.2.8 WFD bis 0,3 mm in 0,02 Schritten bei +5°C Messung 1

am 23.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +6°C bei 79% Luftfeuchtigkeit

Zur Anzeige des Übergangs vom Zustand „trocken“ nach „feucht“ wurde bei dieser Messung zuerst der Wert für eine Wasserfilmdicke von 0,02mm aufgetragen. Im Anschluss folgte durch mehrfaches Auftragen eine Erhöhung der Wasserfilmdicke, bis dass die geforderte Menge von 0,12mm erreicht wurde. Da dieser Vorgang einige Zeit benötigt, besteht zwischen der Messminute 0 und X ein größerer zeitlicher Abschnitt.

Uhrzeit	Mess-Mi- nute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	WFD Sensor	untere To- leranz- grenze [-30%]	obere Tole- ranz- grenze [+30%]	Bewer- tung: WFD
09:42	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
09:49	x	0,02	0,02	0,04	0,02	0,03	nicht er- füllt
09:53	x	0,12	<b>0,13</b>	0,07	0,09	0,17	nicht er- füllt
09:55	x+2	0,14	0,15	0,17	0,11	0,20	erfüllt
09:57	x+4	0,16	0,18	0,19	0,12	0,23	erfüllt
09:59	x+6	0,18	0,20	0,23	0,14	0,26	erfüllt
10:01	x+8	0,20	<b>0,22</b>	0,26	0,15	0,28	erfüllt
10:03	x+10	0,22	0,26	0,25	0,18	0,34	erfüllt
10:05	x+12	0,24	0,28	0,25	0,19	0,36	erfüllt
10:07	x+14	0,26	<b>0,29</b>	0,26	0,20	0,38	erfüllt
10:09	x+16	0,26	<b>0,29</b>	0,26	0,20	0,38	erfüllt
10:10	x+17	0,26	<b>0,29</b>	0,26	0,20	0,38	erfüllt
10:11	x+18	0,26	<b>0,29</b>	0,26	0,20	0,38	erfüllt
10:12	x+19	0,26	<b>0,29</b>	0,25	0,20	0,38	erfüllt
10:13	x+20	0,26	<b>0,29</b>	0,25	0,20	0,38	erfüllt
10:15	x+22	0,28	0,30	0,25	0,21	0,39	erfüllt
10:17	x+24	0,30	<b>0,32</b>	0,27	0,22	0,41	erfüllt
10:24	x+29	0,30	<b>0,31</b>	0,27	0,22	0,41	erfüllt
10:27	x+32	0,30	0,31	0,27	0,22	0,41	erfüllt
10:32	x+37	0,30	0,31	0,27	0,22	0,41	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 23.02.2016

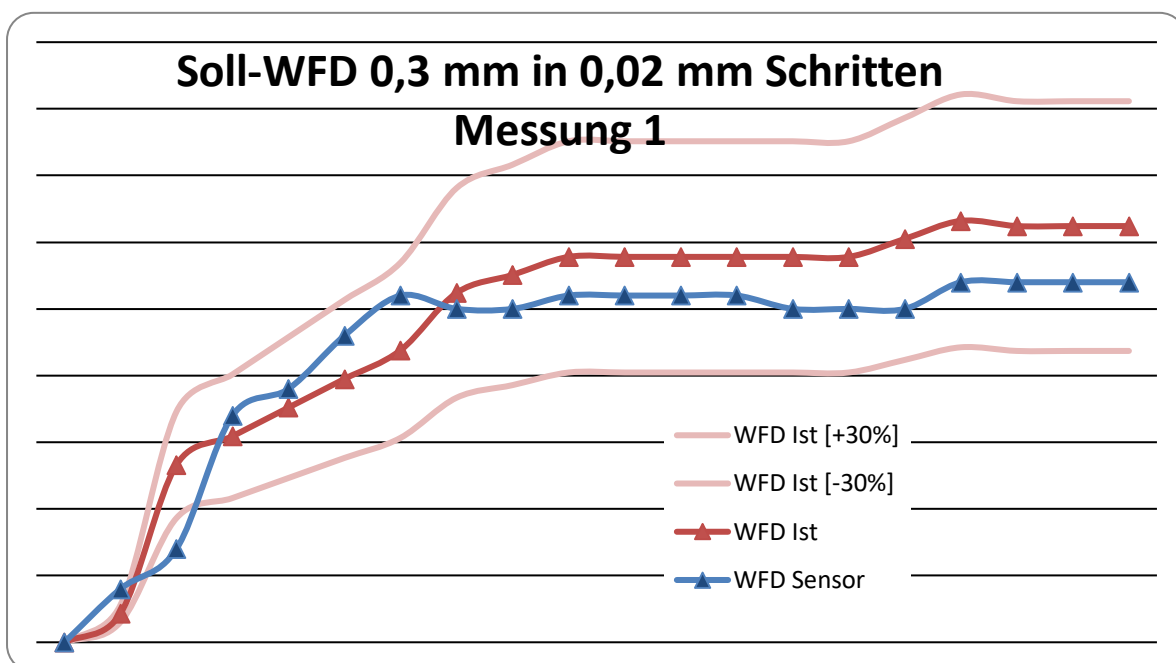


Diagramm: Messwerte Messung 1 am 23.02.2016

### 1.3.2.9 WFD bis 0,26 mm in 0,02 Schritten bei +5°C Messung 2

am 23.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +6°C bei 79% Luftfeuchtigkeit

Zur Anzeige des Übergangs vom Zustand „trocken“ nach „feucht“ wurde bei dieser Messung zuerst der Wert für eine Wasserfilmdicke von 0,02mm aufgetragen. Im Anschluss folgte durch mehrfaches Auftragen eine Erhöhung der Wasserfilmdicke, bis dass die geforderte Menge von 0,12mm erreicht wurde. Da dieser Vorgang einige Zeit benötigt, besteht zwischen der Messminute 0 und X ein größerer zeitlicher Abschnitt.

Uhrzeit	Mess-Mi- nute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	WFD Sensor	untere To- leranz- grenze [-30%]	obere Tole- ranz- grenze [+30%]	Bewer- tung: WFD
10:54	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
10:57	x	0,02	0,02	0,00	0,01	0,02	nicht er- füllt
11:02	x	0,12	<b>0,14</b>	0,13	0,10	0,18	erfüllt
11:05	x+3	0,14	0,16	0,20	0,11	0,20	erfüllt
11:07	x+5	0,16	0,18	0,22	0,12	0,23	erfüllt
11:09	x+7	0,18	0,19	0,25	0,14	0,25	erfüllt
11:11	x+9	0,20	<b>0,21</b>	0,03	0,15	0,27	nicht er- füllt
11:13	x+11	0,22	0,23	0,29	0,16	0,30	erfüllt
11:15	x+13	0,24	0,25	0,30	0,17	0,32	erfüllt
11:17	x+15	0,26	<b>0,27</b>	0,29	0,19	0,35	erfüllt
13:58	x+176	0,26	<b>0,21</b>	0,23	0,15	0,27	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 23.02.2016

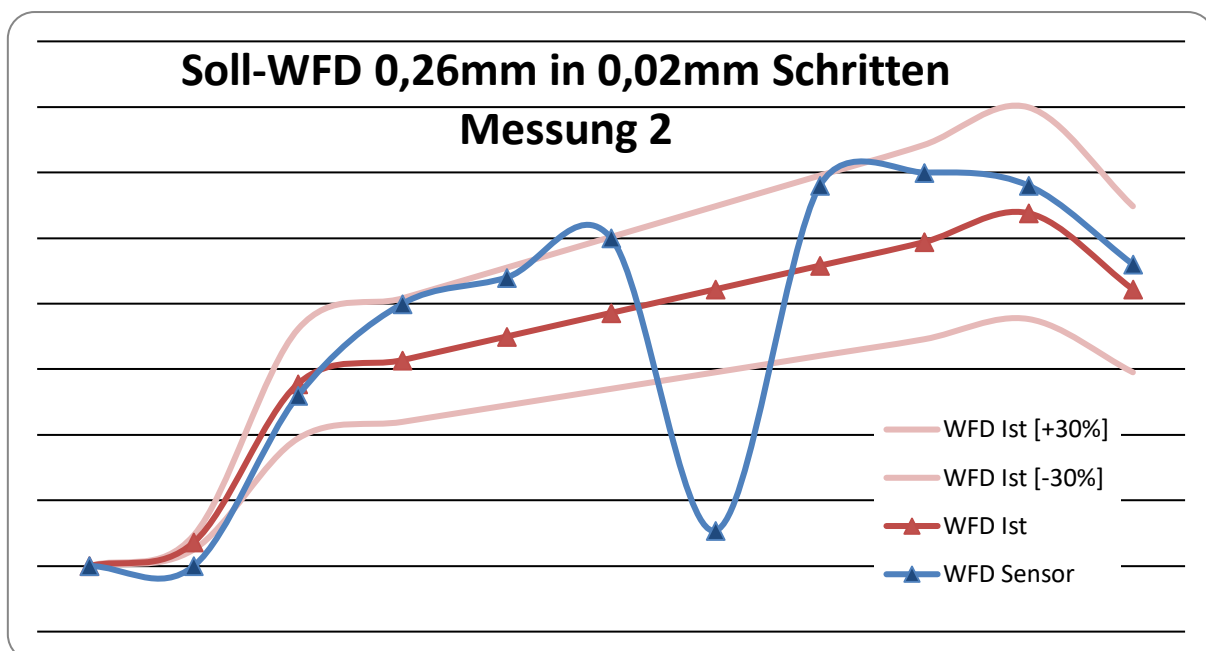


Diagramm: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 23.02.2016

### 1.3.2.10 WFD bis 0,1 mm bei Test der GT -3° C Messung 1

am 16.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl-Lösung; Klimakammer -1,4 °C bei 55% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Mi- nute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Sensor WFD [mm]	untere To- leranz- grenze [-30%]	obere To- leranz- grenze [+30%]	Bewer- tung: WFD
09:59	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
10:01	x	0,10	<b>0,10</b>	0,00	0,07	0,13	nicht erfüllt
10:03	x+1	0,10	<b>0,10</b>	0,00	0,07	0,13	nicht erfüllt
10:05	x+2	0,10	<b>0,10</b>	0,13	0,07	0,12	erfüllt
10:07	x+3	0,10	<b>0,09</b>	0,15	0,07	0,12	nicht erfüllt
10:09	x+4	0,10	<b>0,09</b>	0,16	0,07	0,12	nicht erfüllt
10:10	x+5	0,10	<b>0,09</b>	0,17	0,07	0,12	nicht erfüllt
10:11	x+6	0,10	<b>0,09</b>	0,16	0,07	0,12	nicht erfüllt
10:31	x+30	0,10	<b>0,09</b>	0,15	0,06	0,11	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 16.03.2016

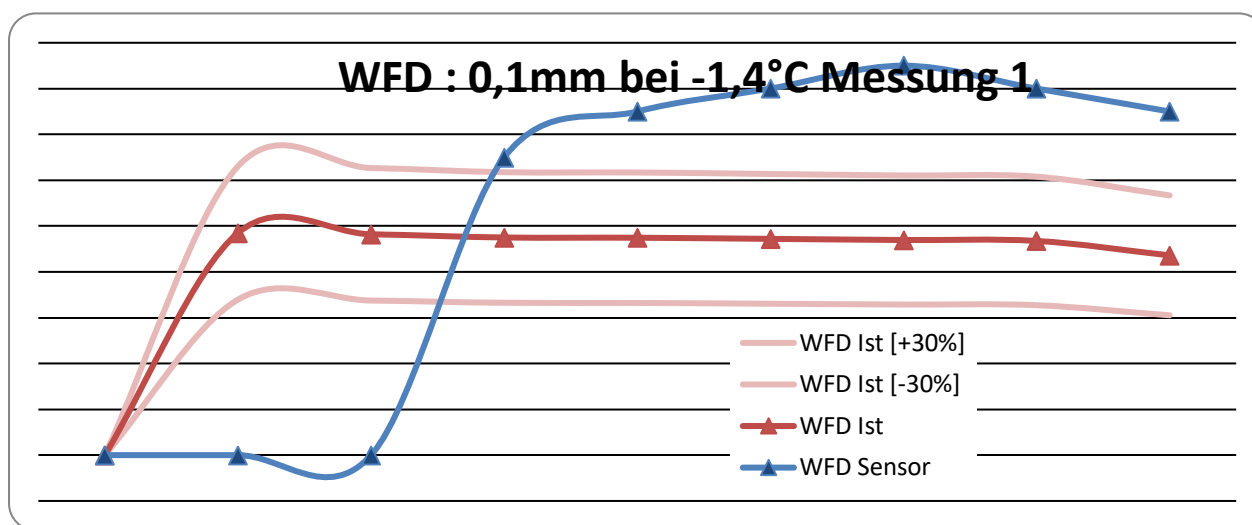


Diagramm: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 16.03.2016

### 1.3.2.11 WFD bis 0,1 mm bei Test der GT -3° C Messung 2

am 16.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl-Lösung; Klimakammer -1,7 °C bei 55% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Mi- nute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	WFD Sensor [mm]	untere Tole- ranz-grenze [-30%]	obere To- leranz- grenze [+30%]	Bewer- tung: WFD
10:58	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
11:02	x	0,10	<b>0,10</b>	0,08	0,07	0,12	erfüllt
11:03	x+1	0,10	<b>0,10</b>	0,12	0,07	0,12	erfüllt
11:04	x+2	0,10	<b>0,10</b>	0,12	0,07	0,12	erfüllt
11:05	x+3	0,10	<b>0,09</b>	0,14	0,07	0,12	nicht erfüllt
11:06	x+4	0,10	<b>0,09</b>	0,15	0,07	0,12	nicht erfüllt
11:07	x+5	0,10	<b>0,09</b>	0,16	0,07	0,12	nicht erfüllt
11:08	x+6	0,10	<b>0,09</b>	0,16	0,07	0,12	nicht erfüllt
11:27	x+25	0,10	<b>0,09</b>	0,15	0,06	0,11	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 16.03.2016

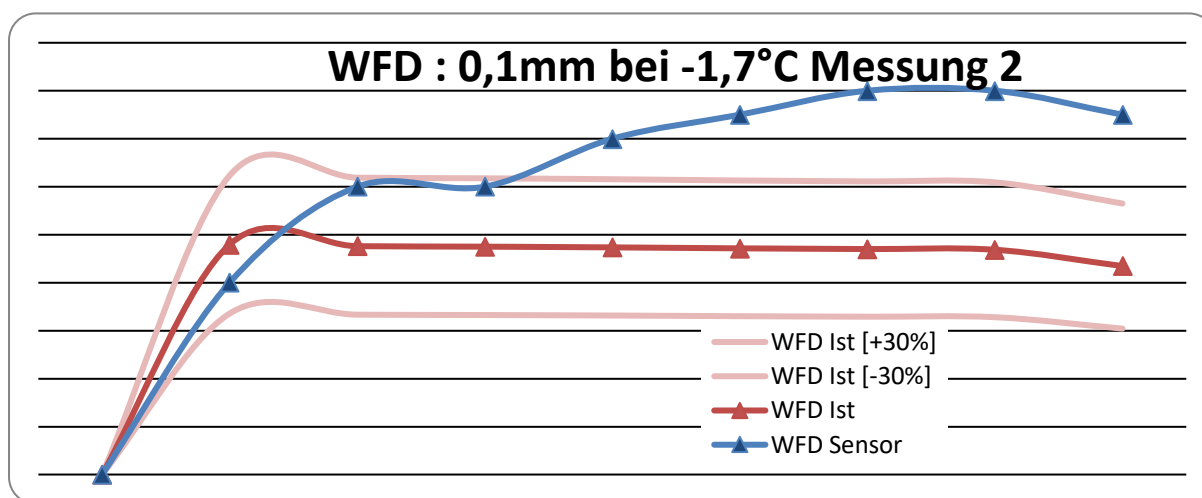


Diagramm: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 16.03.2016

### 1.3.2.12 WFD bis 0,1 mm bei Test der GT -3° C Messung 3

am 16.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl-Lösung; Klimakammer -1,3 °C bei 54% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	WFD Sensor [mm]	untere Toleranzgrenze [-30%]	obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung: WFD
14:45	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
14:53	x	0,10	<b>0,10</b>	0,00	0,07	0,12	nicht erfüllt
14:54	x+1	0,10	<b>0,10</b>	0,08	0,07	0,12	erfüllt
14:55	x+2	0,10	<b>0,10</b>	0,12	0,07	0,12	erfüllt
14:56	x+3	0,10	<b>0,09</b>	0,14	0,07	0,12	nicht erfüllt
14:57	x+4	0,10	<b>0,09</b>	0,14	0,07	0,12	nicht erfüllt
14:58	x+5	0,10	<b>0,09</b>	0,15	0,07	0,12	nicht erfüllt
14:59	x+6	0,10	<b>0,09</b>	0,16	0,07	0,12	nicht erfüllt
15:25	x+32	0,10	<b>0,09</b>	0,14	0,06	0,11	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 3 am 16.03.2016

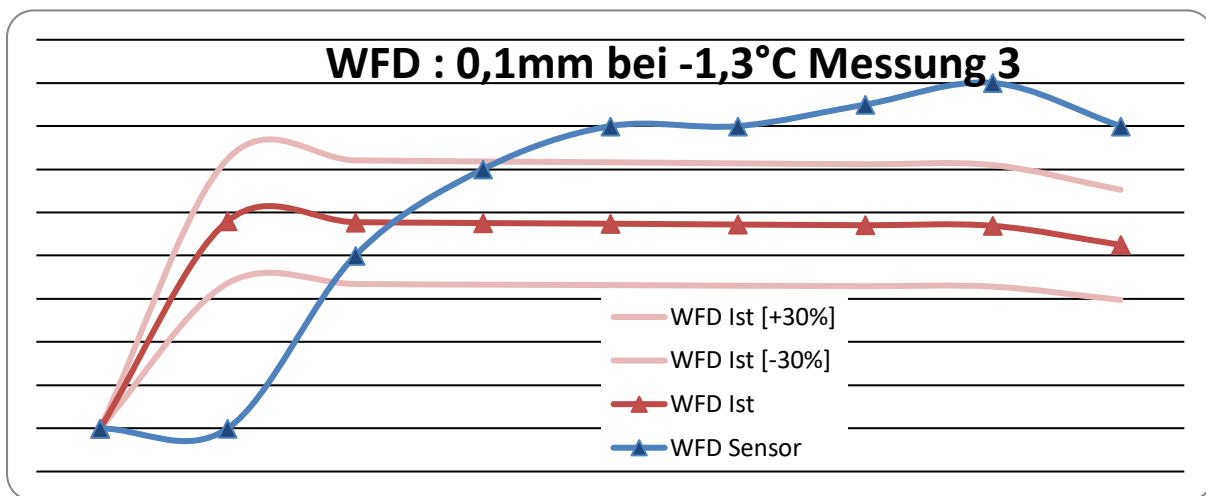


Diagramm: Messwerte mit Bewertung Messung 3 am 16.03.2016

### 1.3.2.13 WFD bis 0,2 mm bei Test der GT -3° C Messung 1

am 17.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl-Lösung; Klimakammer -0,66 °C bei 56 % Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	WFD Sensor [mm]	untere Toleranzgrenze [-30%]	obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung: WFD
13:24	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
13:30	x	0,20	<b>0,20</b>	0,11	0,14	0,27	nicht erfüllt
13:31	x+1	0,20	<b>0,20</b>	0,18	0,14	0,27	erfüllt
13:32	x+2	0,20	<b>0,20</b>	0,21	0,14	0,26	erfüllt
13:33	x+3	0,20	<b>0,20</b>	0,23	0,14	0,26	erfüllt
13:34	x+4	0,20	<b>0,20</b>	0,24	0,14	0,26	erfüllt
13:35	x+5	0,20	<b>0,20</b>	0,25	0,14	0,26	erfüllt
13:36	x+6	0,20	<b>0,20</b>	0,25	0,14	0,26	erfüllt
14:00	x+29	0,20	<b>0,19</b>	0,24	0,14	0,25	erfüllt
14:02	Stab	0,20	0,19	0,24	0,14	0,25	erfüllt
14:12	Stab +10	0,20	0,19	0,01	0,14	0,25	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 17.03.2016

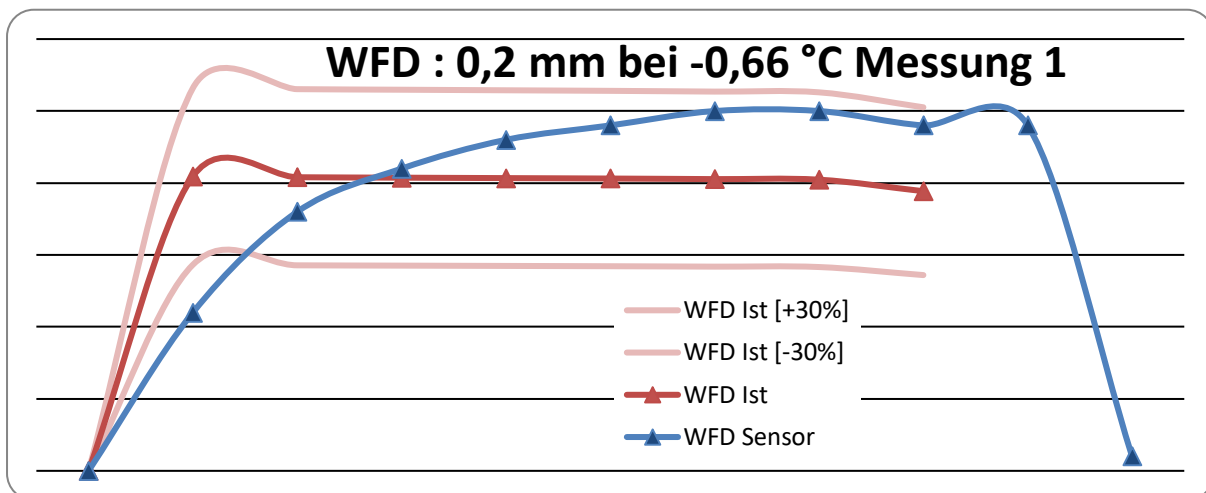


Diagramm: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 17.03.2016

### 1.3.2.14 WFD bis 0,2 mm bei Test der GT -12 °C Messung 1

am 17.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl-Lösung; Klimakammer -1,02 °C bei 55 % Luftfeuchtigkeit



Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Sensor WFD [mm]	untere Toleranzgrenze [-30%]	obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung: WFD
14:59	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
15:05	x	0,20	<b>0,19</b>	0,17	0,13	0,25	erfüllt
15:06	x+1	0,20	<b>0,19</b>	0,21	0,13	0,25	erfüllt
15:07	x+2	0,20	<b>0,19</b>	0,23	0,13	0,25	erfüllt
15:08	x+3	0,20	<b>0,19</b>	0,24	0,13	0,25	erfüllt
15:09	x+4	0,20	<b>0,19</b>	0,25	0,13	0,25	erfüllt
15:10	x+5	0,20	<b>0,19</b>	0,25	0,13	0,25	erfüllt
15:11	x+6	0,20	<b>0,19</b>	0,25	0,13	0,25	erfüllt
15:25	x+30	0,20	<b>0,19</b>	0,25	0,13	0,24	erfüllt
15:27	Stab	0,20	0,19	0,25	0,13	0,24	nicht erfüllt
15:37	Stab +10	0,20	0,19	0,32	0,13	0,24	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 17.03.2016

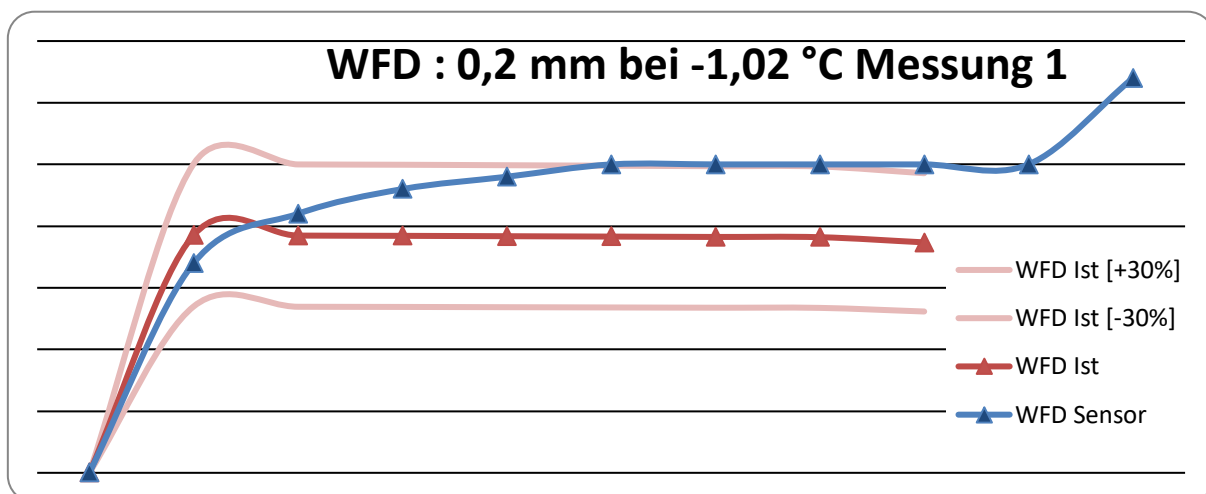


Diagramm: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 17.03.2016

### 1.3.3 Fazit: Wasserfilmdicke

#### WFD von 0,1mm

Bei einer Temperatur unter dem Gefrierpunkt in der Klimakammer wurde die WFD nicht entsprechend der Prüfvorschrift vom Sensor erfasst. Sie lag deutlich über der oberen Toleranzgrenze. Hier besteht Klärungsbedarf.

#### WFD von 0,2mm

Bei einer Temperatur von +5°C in der Klimakammer wurde die WFD von 0,2mm in drei von vier Fällen laut den Prüfvorschriften dargestellt. Bei der ersten Testmessung wanderte der Messwert während der Messung über den oberen Toleranzbereich hinaus. Bei Temperaturen <0 °C wurde die WFD gemäß der Prüfvorschrift erfasst. Der eine Ausweicher ist aus diesem Grund zu vernachlässigen.

### **WFD von 0,5mm**

Bei einer Temperatur von +5°C in der Klimakammer wurde die WFD von 0,5mm gemäß der Prüfvorschrift vom Sensor IT-Sens erfasst.

Messungen bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt wurden bisher nicht durchgeführt. Aufgrund der Problematik bei den Messergebnissen für eine WFD von 0,2mm sollte über diese jedoch nachgedacht werden.

### **Kontinuierliche Erhöhung der WFD mit 0,01mm Schritten bis zur WFD von 0,1mm**

Wurde vom Sensor IT-Sens nicht entsprechend der Prüfvorschrift erfasst.

Hier besteht Klärungsbedarf.

### **Kontinuierliche Erhöhung der WFD mit 0,02mm Schritten bis zur WFD von 0,3mm**

Wurde vom Sensor IT-Sens entsprechend der Prüfvorschrift erfasst. Aufgrund der Nähe an der oberen Toleranzgrenze und einem Ausreißer, sollte hier weitere Test durchgeführt werden, um das Ergebnis zu verifizieren.

## **1.4 Test: Gefriertemperatur (GT)**

### **1.4.1 Beschreibung der Testdurchführung**

Anhand von Natriumlösung, die mittels der Sprühmaschine mit einer Filmdicke von 0,1mm und 0,2 mm auf die Sensoroberfläche aufgetragen wird, wird die Gefriertemperatur in der Klimakammer erzeugt.

Laut DIN CEN/TS 15518-4 werden für diesen Test Lösungsansätze im Bereich von - 1 bis -5°C und von -10 bis -15 °C eingesetzt. Die tatsächlich aufgetragene Lösung liegt in diesem beiden Bereichen. Sie kann sich jedoch bei der jeweiligen Testmessung unterscheiden.

### **1.4.2 Ergebnisse der Tests für die Gefriertemperatur**

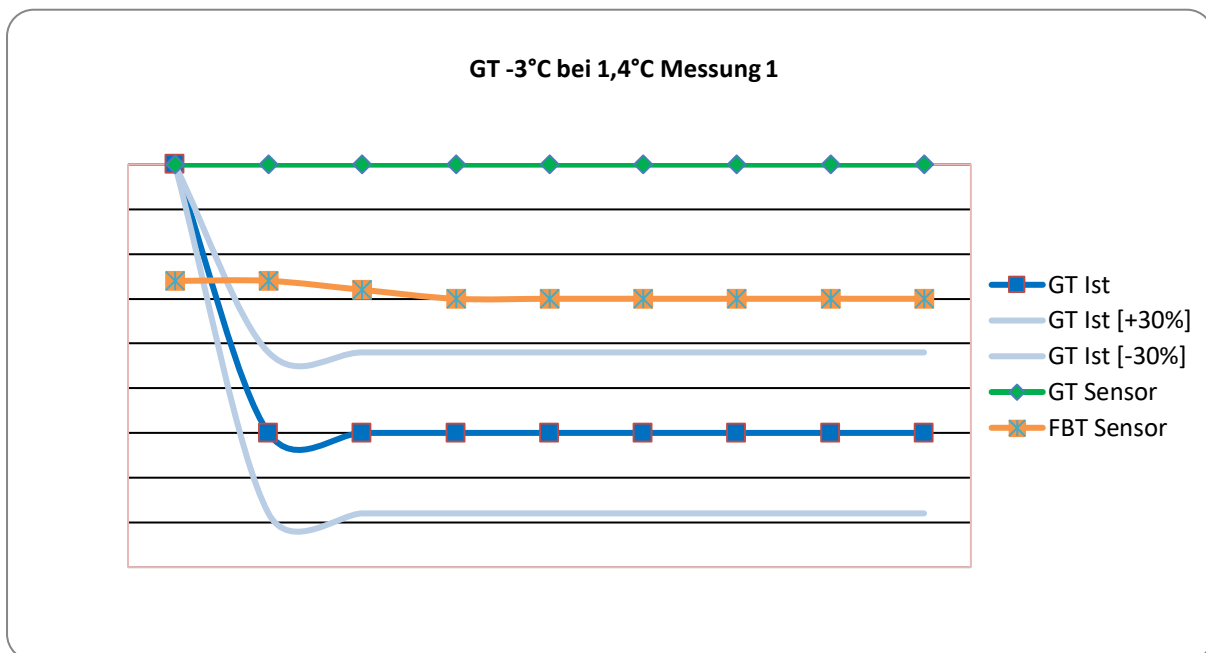
#### **1.4.2.1 Gefriertemperatur -3°C bei WFD 0,1mm Messung 1**

am 16.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkasten über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl-Lösung; Klimakammer -1,4 °C bei 55% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	FBT Sensor [°C]	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Soll GT Lösung [°C]	Sensor GT [°C]	GT untere Toleranzgrenze [-30%]	GT obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung: GT
09:59	0	-1,3	0,00	0,00	0	0	0	0	erfüllt
10:01	x	-1,3	0,10	<b>0,10</b>	-3	0	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
10:03	x+1	-1,4	0,10	<b>0,10</b>	-3	0	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
10:05	x+2	-1,5	0,10	<b>0,10</b>	-3	0	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
10:07	x+3	-1,5	0,10	<b>0,09</b>	-3	0	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
10:09	x+4	-1,5	0,10	<b>0,09</b>	-3	0	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
10:10	x+5	-1,5	0,10	<b>0,09</b>	-3	0	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
10:11	x+6	-1,5	0,10	<b>0,09</b>	-3	0	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
10:31	x+30	-1,5	0,10	<b>0,09</b>	-3	0	-2,1	-3,9	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 16.03.2016



#### 1.4.2.2 Gefriertemperatur -3°C bei WFD 0,1mm Messung 2

am 16.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl-Lösung; Klimakammer -1,7 °C bei 55% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	FBT Sensor [°C]	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Soll GT Lösung [°C]	Sensor GT [°C]	GT untere Toleranzgrenze [-30%]	GT obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung: GT
10:58	0	0	0,00	0,00	0	0	0	0	erfüllt
11:02	x	0,6	0,10	<b>0,10</b>	-3	0	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
11:03	x+1	7,9	0,10	<b>0,10</b>	-3	0	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
11:04	x+2	7,2	0,10	<b>0,10</b>	-3	0	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
11:05	x+3	6,2	0,10	<b>0,09</b>	-3	0	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
11:06	x+4	5,3	0,10	<b>0,09</b>	-3	0	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
11:07	x+5	4,5	0,10	<b>0,09</b>	-3	0	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
11:08	x+6	4,5	0,10	<b>0,09</b>	-3	0	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
11:27	x+25	-0,1	0,10	<b>0,09</b>	-3	-0,1	-2,1	-3,9	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 16.03.2016

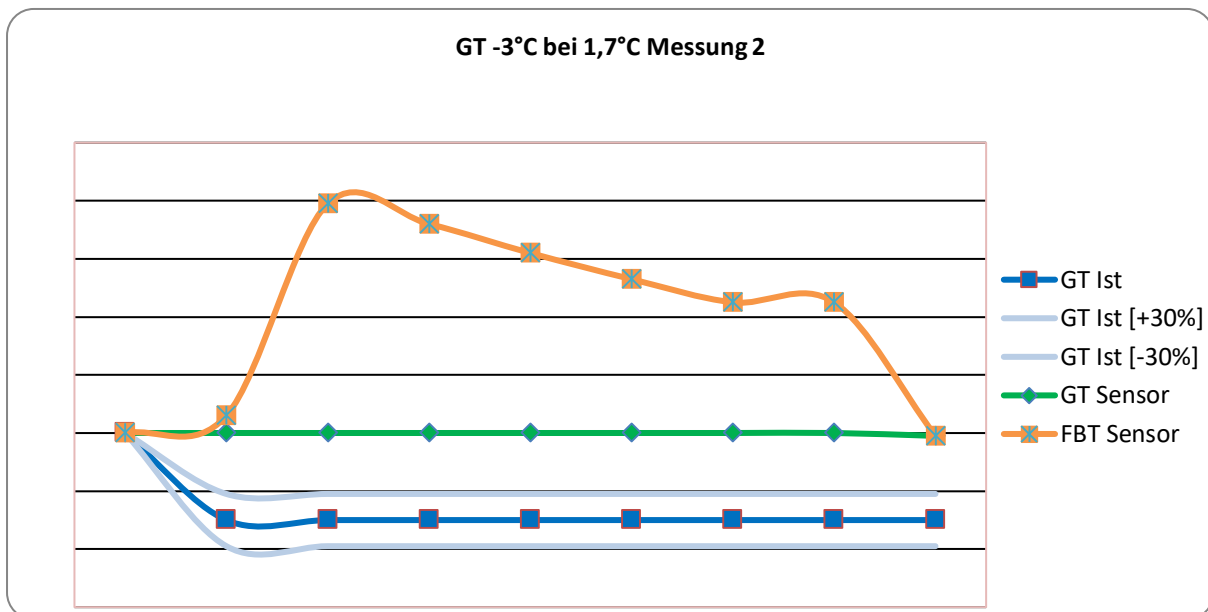


Diagramm: Messwerte Messung 2 am 16.03.2016

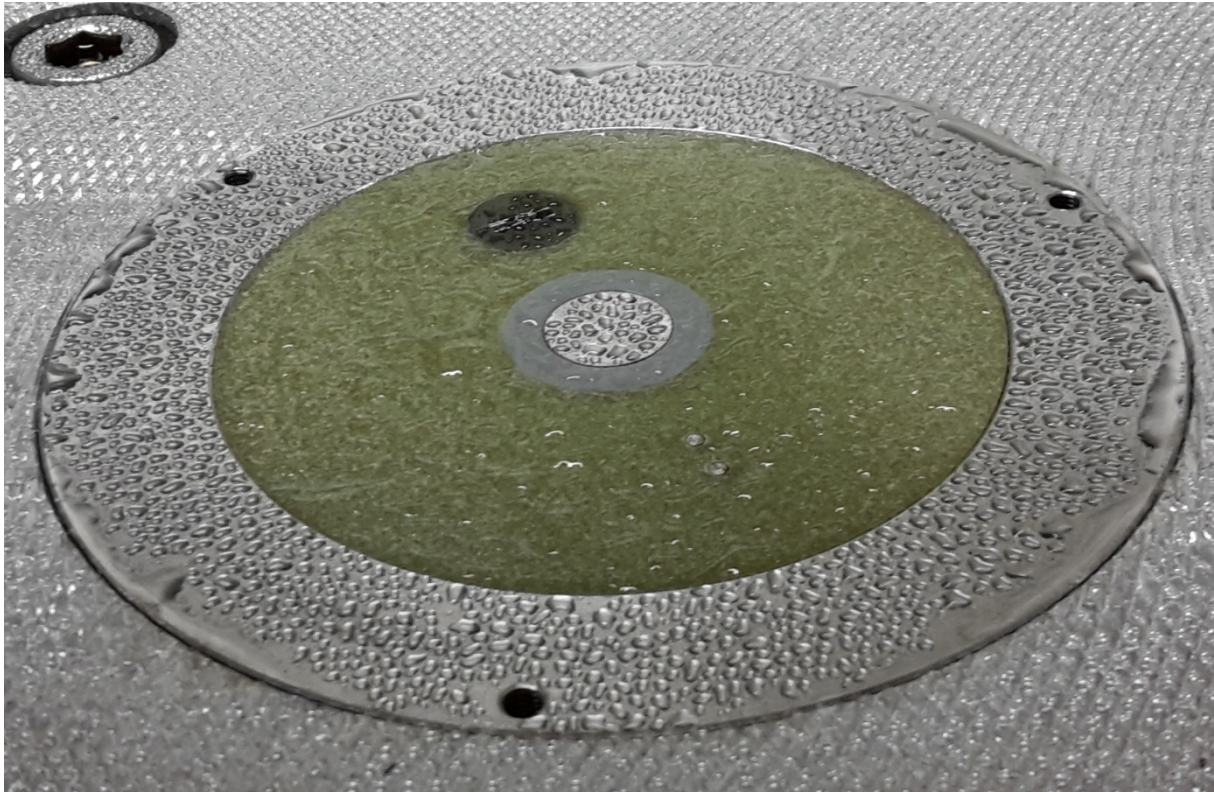


Bild: IT-Sens am 16.03.2016 ; Lösung NaCl für -3°C GT

### 1.4.2.3 Gefriertemperatur -3°C bei WFD 0,1mm Messung 3

am 16.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl-Lösung; Klimakammer -1,3 °C bei 54% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	FBT Sensor [°C]	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Soll GT Lösung [°C]	Sensor GT [°C]	GT untere Toleranzgrenze [-30%]	GT obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung: GT
14:45	0	-0,8	0,00	0,00	0	0	0	0	erfüllt
14:53	x	-1,0	0,10	<b>0,10</b>	-3	0	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
14:54	x+1	-1,0	0,10	<b>0,10</b>	-3	-0,1	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
14:55	x+2	-1,1	0,10	<b>0,10</b>	-3	-0,1	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
14:56	x+3	-1,1	0,10	<b>0,09</b>	-3	-0,1	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
14:57	x+4	-1,1	0,10	<b>0,09</b>	-3	-0,1	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
14:58	x+5	-1,1	0,10	<b>0,09</b>	-3	-0,1	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
14:59	x+6	-1,1	0,10	<b>0,09</b>	-3	-0,1	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
15:25	x+32	-1,1	0,10	<b>0,09</b>	-3	-0,1	-2,1	-3,9	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 3 am 16.03.2016

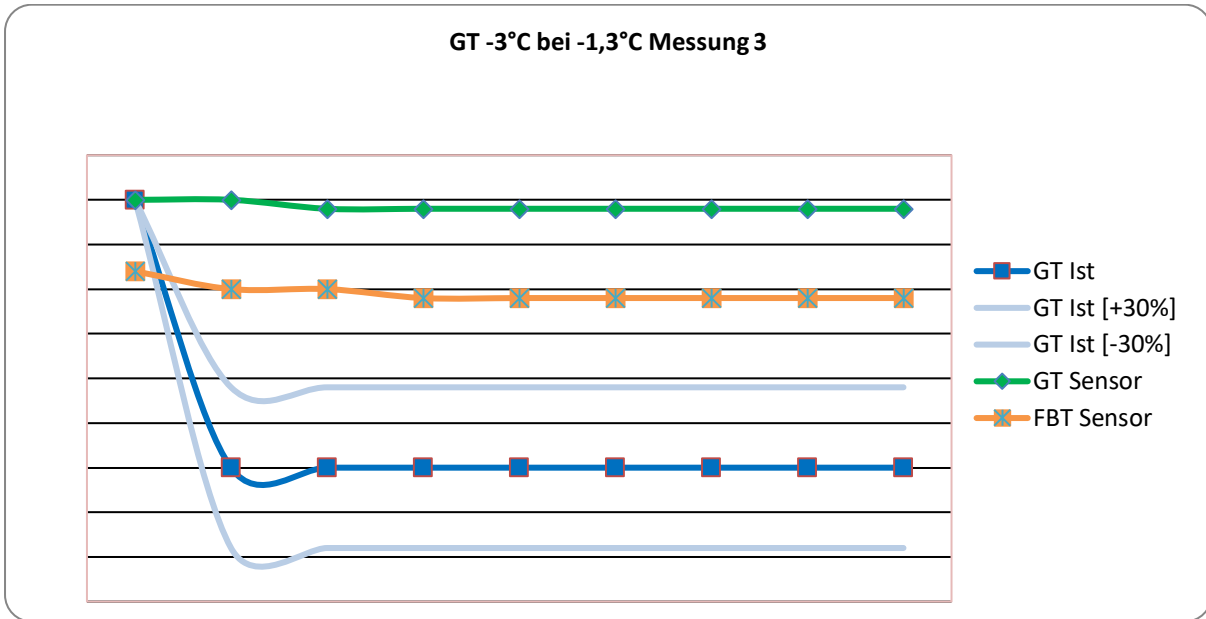


Diagramm: Messwerte Messung 3 am 16.03.2016

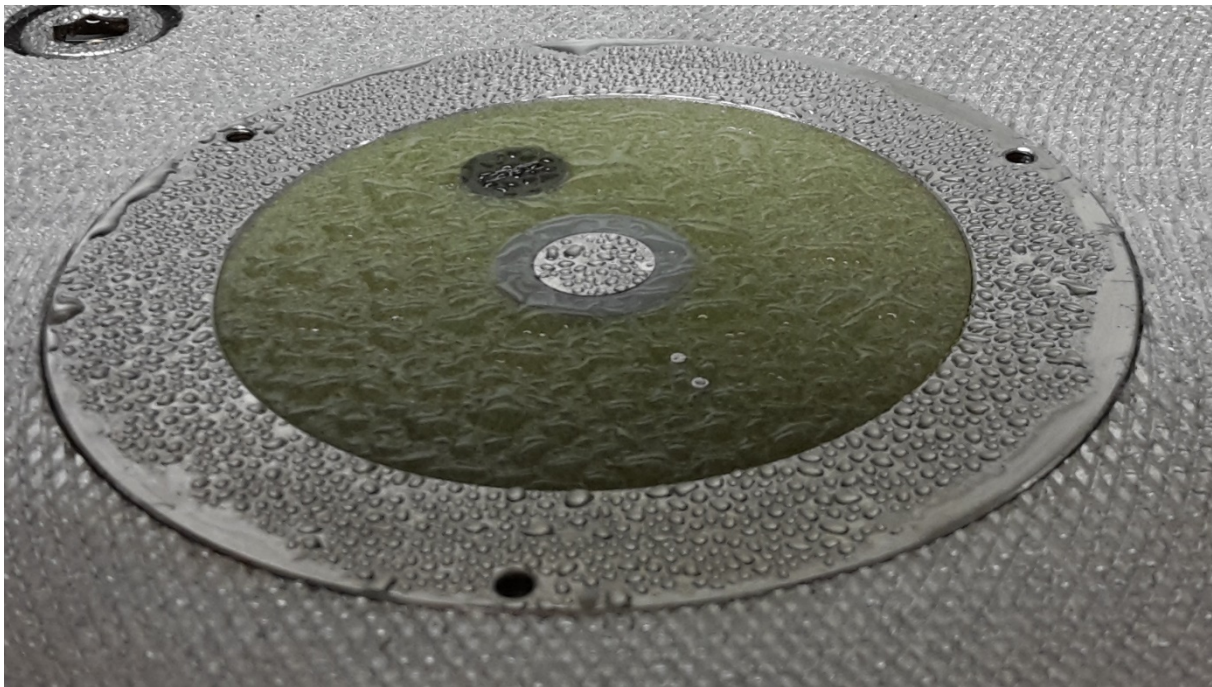


Bild: IT-Sens am 16.03.2016 ; Lösung NaCl für -3°C GT

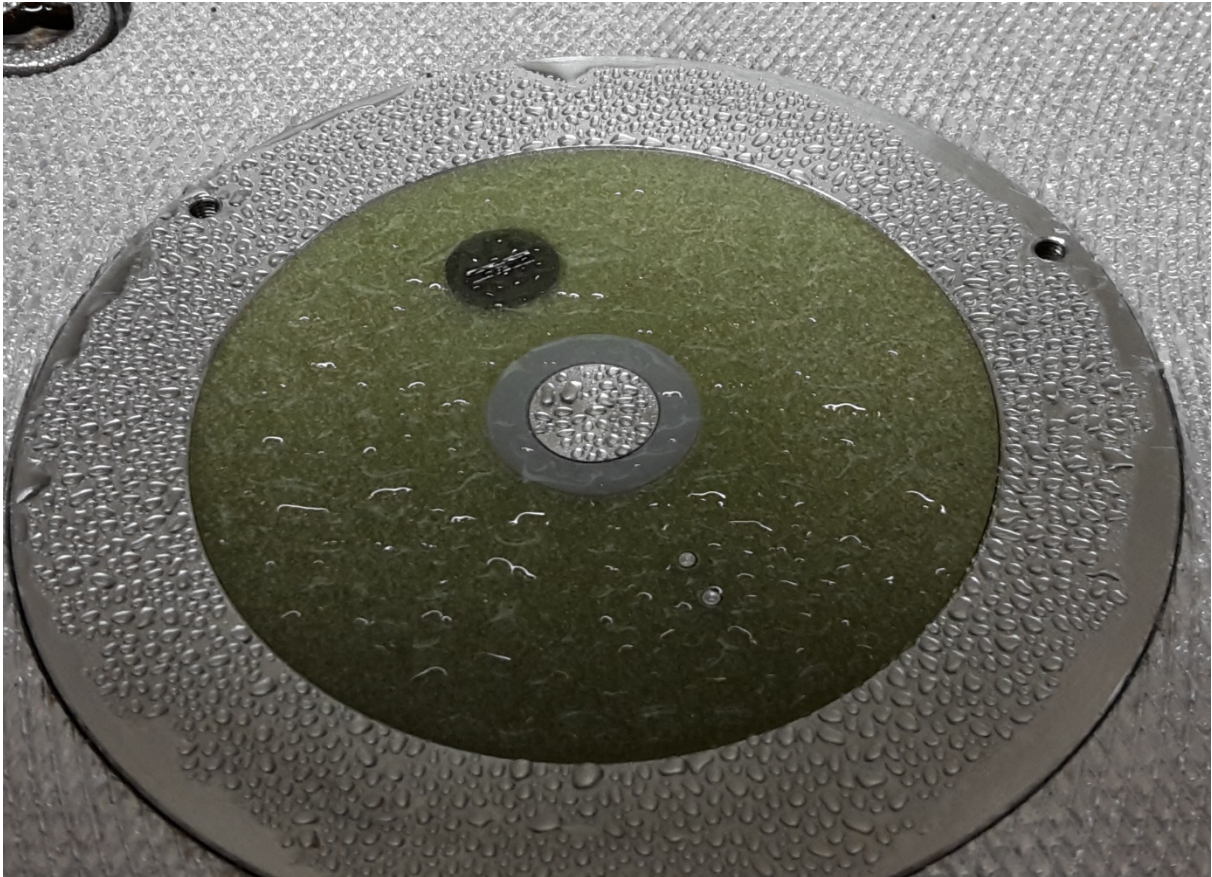


Bild: IT-Sens am 16.03.2016 ; Lösung NaCl für -3°C GT

**1.4.2.4 Gefriertemperatur -3°C bei WFD 0,2mm Messung 1**

am 17.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl-Lösung; Klimakammer -0,66 °C bei 56 % Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	FBT Sensor [°C]	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Soll GT Lösung [°C]	Sensor GT [°C]	GT untere To-leranz-grenze [-30%]	GT obere To-leranz-grenze [+30%]	Bewertung: GT
13:24	0	-1,5	0,00	0,00	0	0	0	0	erfüllt
13:30	x	-1,7	0,20	<b>0,20</b>	-3	-0,1	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
13:31	x+1	-1,8	0,20	<b>0,20</b>	-3	-0,1	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
13:32	x+2	-1,8	0,20	<b>0,20</b>	-3	-0,1	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
13:33	x+3	-1,8	0,20	<b>0,20</b>	-3	-0,1	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
13:34	x+4	-1,8	0,20	<b>0,20</b>	-3	-0,1	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
13:35	x+5	-1,8	0,20	<b>0,20</b>	-3	-0,1	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
13:36	x+6	-1,9	0,20	<b>0,20</b>	-3	-0,1	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
14:00	x+29	-2,0	0,20	<b>0,19</b>	-3	0	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
14:02	Stab	-2,0	0,20	0,19	-3	0	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
14:12	Stab +10	-1,8	0,20	0,19	-3	0	-2,1	-3,9	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 17.03.2016

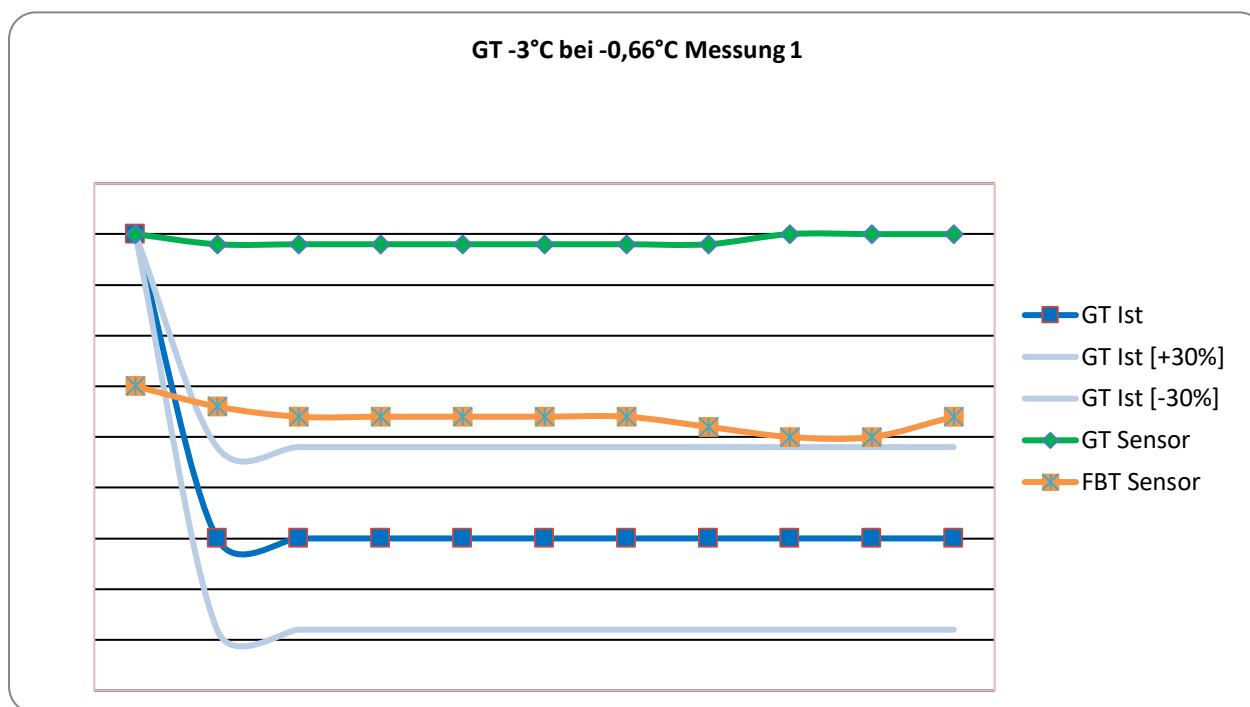


Diagramm: Messwerte Messung 1 am 17.03.2016



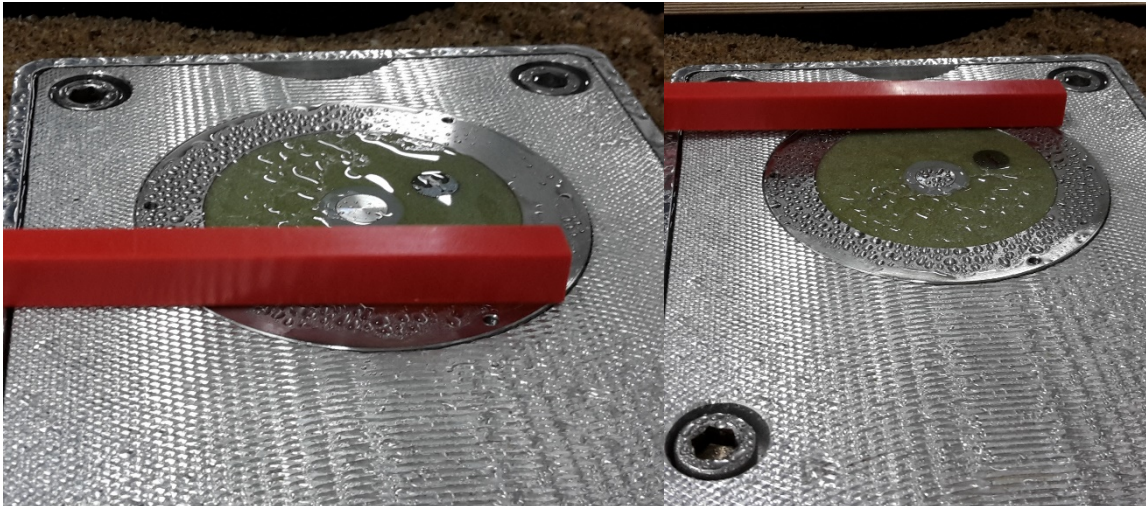


Bild: IT-Sens am 17.03.2016 um 14:02 Uhr, Einsatz Stab

#### 1.4.2.5 Gefriertemperatur -12°C bei WFD 0,2mm Messung 1

am 17.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl-Lösung; Klimakammer -1,02 °C bei 55 % Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	FBT Sensor [°C]	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Soll GT Lösung [°C]	Sensor GT [°C]	GT untere Toleranzgrenze [-30%]	GT obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung: GT
14:59	0	-1,1	0,00	0,00	0	0	0	0	erfüllt
15:05	x	-1,4	0,20	<b>0,19</b>	-12	-0,4	-8,4	-15,6	nicht erfüllt
15:06	x+1	-1,5	0,20	<b>0,19</b>	-12	-0,4	-8,4	-15,6	nicht erfüllt
15:07	x+2	-1,6	0,20	<b>0,19</b>	-12	-0,4	-8,4	-15,6	nicht erfüllt
15:08	x+3	-1,6	0,20	<b>0,19</b>	-12	-0,4	-8,4	-15,6	nicht erfüllt
15:09	x+4	-1,6	0,20	<b>0,19</b>	-12	-0,4	-8,4	-15,6	nicht erfüllt
15:10	x+5	-1,7	0,20	<b>0,19</b>	-12	-0,4	-8,4	-15,6	nicht erfüllt
15:11	x+6	-1,7	0,20	<b>0,19</b>	-12	-0,4	-8,4	-15,6	nicht erfüllt
15:25	x+30	-1,9	0,20	<b>0,19</b>	-12	-0,4	-8,4	-15,6	nicht erfüllt
15:27	Stab	-1,9	0,20	0,19	-12	-0,4	-8,4	-15,6	nicht erfüllt
15:37	Stab +10	-1,8	0,20	0,19	-12	-1,8	-8,4	-15,6	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 17.03.2016

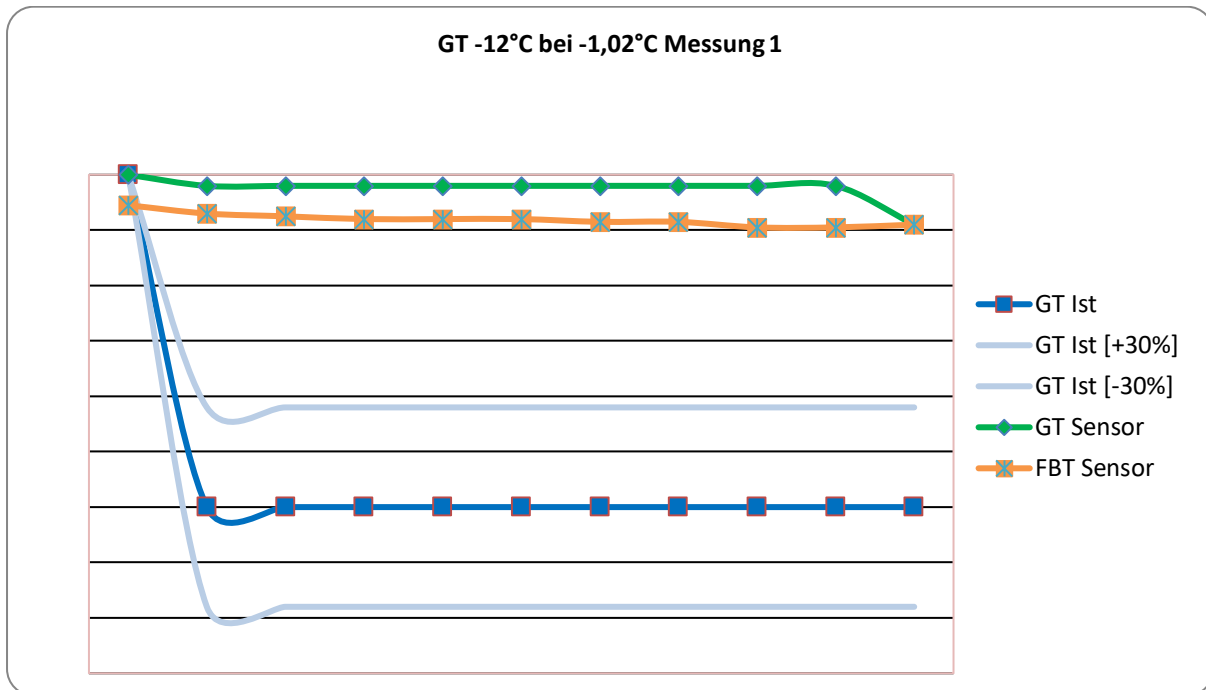


Diagramm: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 17.03.2016

### 1.4.3 Fazit: Gefriertemperatur

Eine ordnungsgemäße Darstellung der aufgetragenen Gefriertemperatur konnte bei keiner der durchgeführten Messungen vom Sensor IT-Sens dargestellt werden.

Auch durch die Verteilung der aufgetragenen Flüssigkeit mit einem Stab über den Sensor erbrachte hier keine Änderung bei den Messwerten.

Die Gefriertemperatur wurde bei allen durchgeführten Messungen nicht korrekt dargestellt. Bezüglich des Einflusses des vorhandenen Metallgehäuses um den Sensor sind weitere Test notwendig. Diese sollten nach Abstimmung mit dem Hersteller durchgeführt werden.

## **Testbericht über die Prüfung einer Bodensonde für die Parameter:**

**Wasserfilmdicke  
Fahrbahnzustand  
Gefriertemperatur**

Sondenbezeichnung: **DRS511**

Hersteller und Lieferant: **Vaisala**



### **Bundesanstalt für Straßenwesen**

Sandra Eimermacher  
Jens Mück  
Horst Badelt

**Prüfung in Anlehnung an CEN/TS 15518-4**

**Dieser Bericht stellt kein Zertifikat dar!**

Bergisch Gladbach, Mai 2016

## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorbemerkungen</b>	<b>45</b>
<b>2. Testdurchführung und Ergebnisse</b>	<b>45</b>
<b>2.1 Allgemeines</b>	<b>45</b>
2.1.1 Aufbau	45
2.1.2 Durchführung der Testmessungen	46
2.1.3 Sensor: Kalibrierung und Schleifen	47
2.1.3.1 Durchführung der Kalibrierung	47
2.1.3.2 Schleifen der Sensoroberfläche	49
2.1.3.3 Fazit zur Sensorkalibrierung	49
2.1.4 Sensor: Spülen / Reinigen	51
<b>2.2 Test: Fahrbahnzustand (FBZ)</b>	<b>52</b>
2.2.1 Fahrbahnzustand „trocken“	53
2.2.1.1 Beschreibung der Testdurchführung	53
2.2.1.2 Ergebnisse: FBZ „trocken“	53
2.2.1.3 Fazit: FBZ „trocken“	53
2.2.2 Fahrbahnzustände „feucht“ und „nass“	53
2.2.2.1 Beschreibung der Testdurchführung	53
2.2.2.2 Ergebnisse: FBZ „feucht“ und „nass“	53
2.2.2.2.1 FBZ „trocken – feucht“ Messung 1	53
2.2.2.2.2 FBZ „trocken – feucht“ Messung 2	54
2.2.2.2.3 FBZ „feucht – nass“ Messung 1	55
2.2.2.2.4 FBZ „feucht – nass“ Messung 2	56
2.2.2.2.5 FBZ „nass“ bei Test der WFD 0,2 mm Messung 1	57
2.2.2.2.6 FBZ „nass“ bei Test der WFD 0,2 mm Messung 1	58
2.2.2.2.7 FBZ „nass“ bei Test der WFD 0,2 mm Messung 2	58
2.2.2.2.8 FBZ „nass“ bei Test der WFD 0,5 mm Messung 1	59
2.2.2.2.9 FBZ „nass“ bei Test der WFD 0,5 mm Messung 2	59
2.2.2.2.10 FBZ „nass“ bei Test der WFD 0,5 mm Messung 3	60
2.2.2.2.11 FBZ „nass“ bei Test der WFD 0,5 mm Messung 4	60
2.2.2.2.12 FBZ „feucht“ bei Test der GT -3°C Messung 1	61
2.2.2.2.13 FBZ „feucht“ bei Test der GT -3°C Messung 2	61
2.2.2.2.14 FBZ „feucht“ bei Test der GT -3°C Messung 3	62
2.2.2.2.15 FBZ „nass“ bei Test der GT -3 °C Messung 1	63
2.2.2.2.16 FBZ „nass“ bei Test der -12 °C Messung 2	65
2.2.2.3 Fazit: FBZ „feucht“ und „nass“	66
<b>2.3 Test: Wasserfilmdicke (WFD)</b>	<b>67</b>
2.3.1 Beschreibung der Testdurchführung gemäß CEN/TS 15518-4	67
2.3.2 Ergebnisse der Tests für die WFD	67
2.3.2.1 WFD 0,2 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 1	67
2.3.2.2 WFD 0,2 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 1	68
2.3.2.3 WFD 0,2 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 2	69
2.3.2.4 WFD 0,5 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 1	70
2.3.2.5 WFD 0,5 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 2	71

2.3.2.6	WFD 0,5 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 3	72
2.3.2.7	WFD 0,5 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 4	72
2.3.2.8	WFD 0,1 mm in 0,01 Schritten bei +5°C Messung 1	73
2.3.2.9	WFD 0,1 mm in 0,01 Schritten bei +5°C Messung 2	74
2.3.2.10	WFD bis 0,3 mm in 0,02 Schritten bei +5°C Messung 1	76
2.3.2.11	WFD bis 0,26 mm in 0,02 Schritten bei +5°C Messung 2	77
2.3.2.12	WFD bis 0,1 mm bei Test der GT -3° C Messung 1	79
2.3.2.13	WFD bis 0,1 mm bei Test der GT -3° C Messung 2	80
2.3.2.14	WFD bis 0,1 mm bei Test der GT -3° C Messung 2	80
2.3.2.15	WFD bis 0,2 mm bei Test der GT -3° C Messung 1	81
2.3.2.16	WFD bis 0,2 mm bei Test der GT -12 °C Messung 1	82
2.3.3	Fazit: Wasserfilmdicke	83
<b>2.4</b>	<b>Test: Gefriertemperatur (GT)</b>	<b>84</b>
2.4.1	Beschreibung der Testdurchführung	84
2.4.2	Ergebnisse der Tests für die Gefriertemperatur	84
2.4.2.1	Gefriertemperatur -3°C bei WFD 0,1mm Messung 1	84
2.4.2.2	Gefriertemperatur -3°C bei WFD 0,1mm Messung 2	85
2.4.2.3	Gefriertemperatur -3°C bei WFD 0,1mm Messung 3	86
2.4.2.4	Gefriertemperatur -3°C bei WFD 0,2mm Messung 1	87
2.4.2.5	Gefriertemperatur -12°C bei WFD 0,2mm Messung 1	88
2.4.3	Fazit: Gefriertemperatur	89

## Vorbemerkungen

Im Rahmen des Forschungsprojektes „6514016 Neue Sensorbauarten GMA“ erfolgt vor dem Einbau des Bodensensors DRS511 in die Fahrbahn des Testfeldes A4 eine Funktionskontrolle in Anlehnung an die DIN CEN/TS 15518-4 in der BAST-Klimakammer.

Hierbei wurden die Parameter für den Fahrbahnzustand (FBZ), der Wasserfilmdicke (WFD) und der Gefriertemperatur (GT) anhand von Testmessungen entsprechend überprüft. Die Beschreibung der Messungen sowie die Ergebnisse mit einer Bewertung sind in den folgenden Punkten aufgeführt.

**Dieser Bericht stellt aufgrund der teilweisen Erprobung von Prüfverfahren keine Zulassung oder Zertifikat dar.**

## 2. Durchführung und Ergebnisse

### 2.1 Allgemeines

#### 2.1.1 Aufbau

Die Prüfungen wurden in der Klimakammer unter dem Spritzkasten mit folgendem Aufbau durchgeführt. Neben der Referenzplatte befindet sich unter dem Spritzkasten ein weiterer Bodensensor. Diese Anordnung wurde gewählt, um parallel Messungen durchführen zu können. Eine gegenseitige Beeinflussung der Sensoren ist bei diesem Testaufbau auszuschließen.

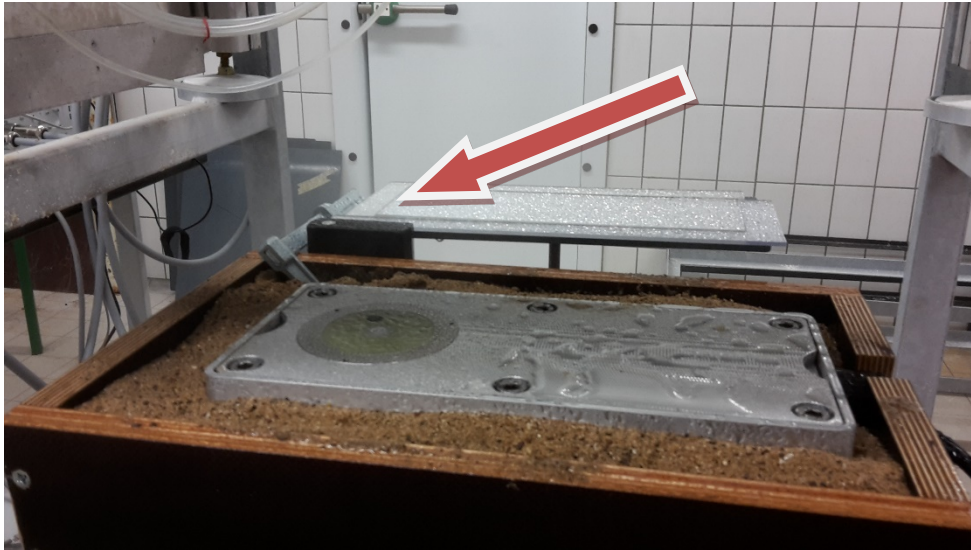


Bild: Aufbau Testumgebung unter dem Spritzkasten, Pfeil zeigt auf DRS511

### 2.1.2 Durchführung der Messungen

Für die Datenaufzeichnung der Messwerte des Sensors DRS511 wurde der BAST seitens des Herstellers folgendes Testequipment zur Verfügung gestellt:

- RoSA-Frame
- Laptop

Die Messwerte werden im herstellerspezifischen Datenformat MES14 und nicht nach TLS FG3 Protokoll erfasst. Für eine Bewertung muss eine manuelle Umrechnung im Anschluss der Erfassung erfolgen. Für die Datenaufzeichnung mit einem Intervall von 30 Sekunden wurde zwei Makros zur Verfügung gestellt.

Über den Befehl „fast“ kann an der RoSA eine beschleunigte Ausgabe der Messwerte eingestellt werden. Diese Einstellung wird jedoch nicht gespeichert und muss bei jedem Neustart der Anlage erneut eingegeben werden.

Aufgrund von nicht plausiblen Werten für die Wasserfilmdicke wurde vorgeschlagen den Sensor vor den weiteren Messungen zu kalibrieren und die Oberfläche abzuschleifen, um mögliche Beeinflussung durch Fingerabdrücke zu entfernen. Dieser Vorgang ist in den Punkten 1.1.3 und 1.1.4 ausführlich beschrieben.

Folgender Ablauf für eine korrekte Handhabung vor einer Messung wurde von Seiten des Herstellers empfohlen:

1. Sensor DRS511 mit Sandpapier schleifen
2. Sensor reinigen z.B. mit Isopropanol
3. Sensor mit NaCL-Lösung für 2-3 Stunden befeuchten
4. Sensor reinigen
5. Reset der RoSA und mind. 15min warten für einen stabilen trockenen Zustand
6. DRS511 mittels Kalibrator-Kit kalibrieren
7. RoSA Einstellung „Fast“

Punkte 4-7 sind nach dem Berühren der Sensoroberfläche mit dem Finger durchzuführen, Für Messungen des Wasserfilms ist Punkt 3 nicht notwendig, nach jeder Reinigung des Sensors sollte Punkt 5 durchgeführt werden.

In der Praxis, sowie auch in der DIN CEN/TS 15518-4 beschrieben, erfolgt kein Reset der Anlage vor neuen Witterungsereignissen, auch kann der Zustand „trocken“ über einen längeren Zeitraum im realen Betrieb auf der Fahrbahn nicht gewährleistet werden.

Aus diesem Grund wurden die durchgeführten Messungen mit verschiedenen Randbedingungen, die sich auf die Angaben des Herstellers und der DIN beziehen, durchgeführt.



### 2.1.3 Sensor: Kalibrierung und Schleifen

Bedingt durch die ersten Erfahrungen bei der Ermittlung der Wasserfilmdicke, wurde der BAST vom Hersteller ein Calibrator-Kit zur Verfügung gestellt, um den Sensor entsprechend vor den Test kalibrieren zu können.

„Calibrator Kit of DRS511“ bestehend aus:

- Sandpapier
- Flasche für destilliertes Wasser
- Adapter mit definierter Oberfläche
- Spezielles Tuch zur Oberflächenbehandlung






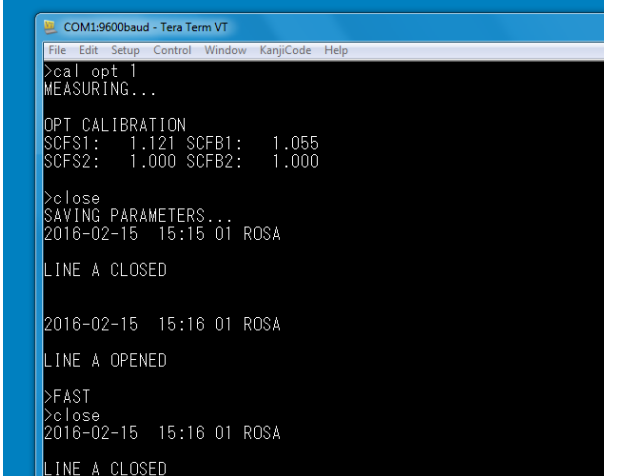
Bild: Vaisala Calibrator-Kit für DRS511

#### 2.1.3.1 Durchführung der Kalibrierung

##### Hinweis:

Bei dem Sensor vor Ort handelt es sich um eine Erstausslieferung direkt vom Hersteller (Werk). Aus diesem Grund wurde zuerst eine Kalibrierung, ohne wie im Punkt 1.1.2 beschriebenen Schleifvorgang, durchgeführt. Da die reine Kalibrierung keinen positiven Einfluss auf die

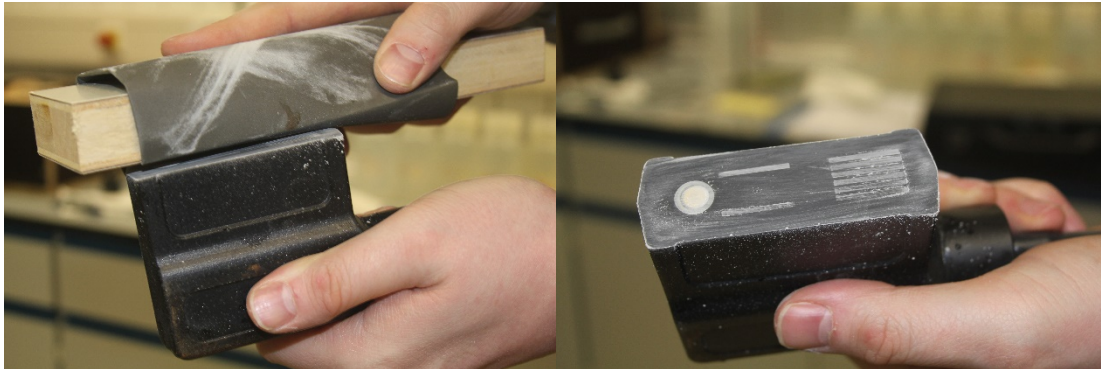
Ergebnisse der Messungen zeigte wurde anschließend der Sensor mit dem Sandpapier geschliffen, entsprechend gereinigt und eine weitere Kalibrierung durchgeführt.

<p>Schritt 1: Sensor mit destilliertem Wasser abgespült</p>	
<p>Schritt 2: Mit gelieferten Tuch abgetrocknet</p>	
<p>Schritt 3: Adapter auf Sensoroberfläche gestellt</p>	
<p>Schritt 4: Kalibration über die ROSA gestartet</p>	



### 2.1.3.2 Schleifen der Sensoroberfläche

Mit dem mitgelieferten Schleifpapier wurde die Oberfläche des Sensors abgeschliffen.



Im Anschluss an das Schleifen der Sensoroberfläche wurde die Kalibrierung in den Schritten 1 bis 4 wie unter dem Punkt 1.1.3.1 beschrieben durchgeführt.

### 2.1.3.3 Fazit zur Sensorkalibrierung

Durch das Schleifen des Sensors konnte keine stetige Verbesserung der Darstellung des Wasserfilms auf der Sensoroberfläche festgestellt werden. Aus diesem Grund findet eine weitere derartige Bearbeitung des Sensors im Verlauf der weiteren Messungen seitens der BAST nicht statt.

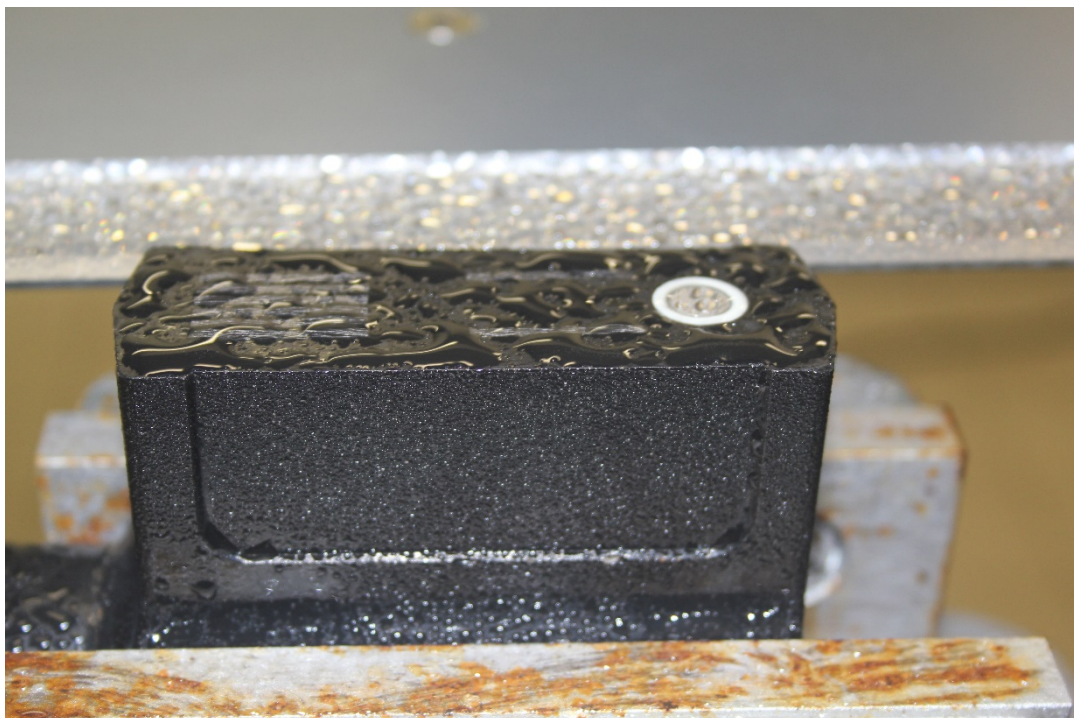


Bild: Sensor vor dem Schleifen und Kalibrieren



Bild: Sensor nach dem Schleifen und Kalibrieren  
Ergebnis WFD-Messung: Anforderung erfüllt



Bild: Nach Abtrocknung mit Tuch, kein Fingerkontakt, zweiter Sprühvorgang  
Ergebnis WFD-Messung: Anforderungen nicht erfüllt



Bild: Nach Abtrocknung mit Tuch, kein Fingerkontakt, dritter Sprühvorgang  
Ergebnis WFD-Messung: Anforderungen nicht erfüllt

#### 2.1.4 Sensor: Spülen / Reinigen

Nach Durchführung der Testmessung wird der Sensor mit destilliertem Wasser abgespült und mit dem Tuch aus dem Calibrator-Kit getrocknet.



Bild: Reinigung mit Sprühflasche

## 2.2 Prüfung: Fahrbahnzustand (FBZ)

Der Fahrbahnzustand (FBZ) wurde anhand der manuellen Abfrage über die RoSA in Form eines MES14 - Datensatz (Herstellerspezifischer Diagrammtyp) ermittelt. Eine Zuordnung zu dem geforderten TLS Protokoll (DE79) wurde aus der Tabelle (USER'S GUIDE Surface Analyzer) entnommen und in der Tabelle mit den Messwerten in der Spalte „Sensor Zustand [TLS Code]“ entsprechend übersetzt.

### Surface Status

Surface status contains three types of information, that is, the **Warning** state, the **Rain** state, and the **Surface** state. Correspondingly, the surface status forms a three digit number (WRS), see Table 15 below.

**Table 15 Surface Status WRS code**

W	Warning	R	Rain	S	Surface
Sp or 0	NO WARNING	0	NO RAIN	0	SHORT
1	ICE WARNING	1	RAIN	1	DRY
2	ICE ALARM	2	CLOUDY	2	MOIST
3	FROST WARNING	3	CLEAR	3	WET
4	RAIN WARNING			4	WET AND CHEMICAL
				5	FROSTY
				6	SNOWY
				7	ICY
				8	MOIST AND CHEMICAL

USER'S GUIDE Surface Analyzer for Roads and Runways RoSA, DM32 Version

Codierung	Fahrbahnzustand	Definition
0	Trocken	Die Fahrbahnoberfläche ist visuell trocken.
16	Feucht	Auf der Fahrbahnoberfläche ist ein Wasserfilm von mindestens 0,01 mm vorhanden.
32	Nass	Auf der Fahrbahnoberfläche ist ein Wasserfilm von mindestens 0,2 mm vorhanden.
48	Extrem Nass	Auf der Fahrbahnoberfläche ist ein Wasserfilm von mindestens 2 mm vorhanden
64	Glatt	Eis, Schnee und Reif bzw. wässrige Lösungen im festen Zustand auch neben Wasser bzw. wässrigen Lösungen befinden sich auf der Fahrbahnoberfläche.

**Tabelle 6-163: Messwertcodierung im DE-Typ 79: „Zustand der Fahrbahnoberfläche für den Winterdienst nach DIN EN 15 518“ (FZW)**

Auszug TLS 2012: Fahrbahnzustand DE-Typ 79

### Hinweis zur Bewertung des Fahrbahnzustandes

In der Tabelle der Messwerte erfolgt in der Spalte „WFD Toleranz [ $\pm 30\%$ ]“ die Berechnung des Toleranzbereiches für die Zuordnung des Fahrbahnzustandes anhand den von der Sprühmaschine aufgetragenen und gemessenen Ist-Wertes.

Für Messwerte bei einer Wasserfilmhöhe  $< 0,20$  mm liegt die obere Toleranzgrenze bei 130% des aufgetragenen Ist-Wertes, bei einer Wasserfilmhöhe  $\geq 0,20$  mm wird die untere Toleranzgrenze mit 70% des Ist-Wertes ermittelt. Dieser zulässige Toleranzbereich fließt in

die Bewertung mit ein. Besondere Fälle sind in den jeweiligen Messwerttabellen grau hinterlegt und anschließend im Fazit beschrieben.

## **2.2.1 Fahrbahnzustand „trocken“**

### **2.2.1.1 Beschreibung der Durchführung: FBZ „trocken“**

Der Fahrbahnzustand „trocken“ wurde gemäß DIN CEN/TS 15518-4 durch Abwischen durch das im Calibrator-Kit enthaltene Tuch vorgenommen.

### **2.2.1.2 Ergebnisse: FBZ „trocken“**

Nach dem Abspülen des Sensors mit destilliertem Wasser und anschließender Trocknung hat der Sensor den Fahrbahnzustand „trocken“ über mehrere Stunden auch bei höheren Luftfeuchten bei einer Temperatur von 5°C bis 7°C angezeigt.

### **2.2.1.3 Fazit: FBZ „trocken“**

Gemäß der vorliegenden Prüfungsvorschrift (Trocknen des Sensors durch Abwischen mit einem Papiertuch und durch Einsatz eines Gebläses) hat der Sensor die Prüfung für eine Temperatur von +5°C erfüllt, es ist jedoch zu beachten, dass anstelle des Papiertuches und dem Gebläse nur das vom Hersteller mitgelieferte Tuch hierzu verwendet wurde.

## **2.2.2 Fahrbahnzustände „feucht“ und „nass“**

### **2.2.2.1 Beschreibung der Durchführung: FBZ „feucht“ und „nass“**

Für die Feststellung der Fahrbahnzustände „feucht“ und „nass“ kam eine Sprüheinrichtung (maschinell geführtes Sprühventil) zum Einsatz. Mit ihr wurden definierte Filmdicken mit einer sehr gleichmäßigen Verteilung aufgetragen.

Bedingt durch die benötigte Zeit für das maschinelle Auftragen der Wasserfilmdicke, wurde für die Messwerte ein Zeitintervall von 2 min anstatt der in der Prüfvorschrift von 1 min berücksichtigt.

Die Tests wurden mit unterschiedlicher Randbedingungen, bezogen auf die Vorgaben aus der Norm sowie Herstellerangaben, in der Klimakammer durchgeführt.

### **2.2.2.2 Ergebnisse: FBZ „feucht“ und „nass“**

In den folgenden Unterkapiteln sind die einzelnen Testmessungen mit ihren jeweiligen Randbedingungen beschrieben.

Hierbei wurden die Messergebnisse von den Testmessungen für die Wasserfilmdicke und die Gefriertemperatur berücksichtigt.

#### **2.2.2.2.1 FBZ „trocken – feucht“ Messung 1**

am 22.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 10:53 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +7,1°C bei 93% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Mi-nute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Toleranz [±30%]	WFD Sensor [mm]	FBZ Sensor [MES14]	FBZ Sensor [TLS Code]	FBZ Soll [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
13:15	0	0	0	0,00	0,00	21	trocken	trocken	erfüllt
13:16	x	0,012-0,015	<b>0,01</b>	0,02	0,00	21	trocken	feucht	nicht erfüllt
13:17	x+1	0,012-0,015	0,01	0,02	0,00	21	trocken	feucht	nicht erfüllt
13:18	x+2	0,012-0,015	0,01	0,02	0,00	21	trocken	feucht	nicht erfüllt
13:19	x+3	0,012-0,015	0,01	0,02	0,00	21	trocken	feucht	nicht erfüllt
13:20	x+4	0,012-0,015	0,01	0,02	0,00	21	trocken	feucht	nicht erfüllt
13:23	x+7	0,02	0,03	0,04	0,00	21	trocken	feucht	nicht erfüllt
13:24	x+8	0,03	0,04	0,06	0,27	22	feucht	feucht	erfüllt
13:26	x+10	0,04	0,06	0,08	0,18	23	nass	feucht	nicht erfüllt
13:29	x+13	0,05	0,07	0,10	0,12	23	nass	feucht	nicht erfüllt
13:31	x+15	0,06	0,09	0,12	0,24	23	nass	feucht	nicht erfüllt
13:33	x+17	0,07	0,10	0,13	0,16	23	nass	feucht	nicht erfüllt
13:35	x+19	0,08	0,12	0,15	0,13	23	nass	feucht	erfüllt
13:37	x+21	0,09	0,13	0,17	0,23	23	nass	feucht	erfüllt
13:39	x+23	0,1	<b>0,13</b>	0,17	0,23	23	nass	feucht	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 22.02.2016

#### 2.2.2.2.2 FBZ „trocken – feucht“ Messung 2

am 22.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 13:59 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +5°C bei 45% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Toleranz [±30%]	WFD Sensor [mm]	FBZ Sensor [MES14]	FBZ Sensor [TLS Code]	FBZ Soll [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
14:14	0	0	0,00	0,00	0,00	21	trocken	trocken	erfüllt
14:16	x	0,012-0,015	<b>0,01</b>	0,02	0,00	21	trocken	feucht	nicht erfüllt
14:17	x+1	0,012-0,015	0,01	0,02	0,00	21	trocken	feucht	nicht erfüllt
14:18	x+2	0,012-0,015	0,01	0,02	0,00	21	trocken	feucht	nicht erfüllt
14:19	x+3	0,012-0,015	0,01	0,02	0,00	21	trocken	feucht	nicht erfüllt
14:20	x+4	0,012-0,015	0,01	0,02	0,00	21	trocken	feucht	nicht erfüllt
14:23	x+7	0,02	0,02	0,03	0,00	21	trocken	feucht	nicht erfüllt
14:25	x+9	0,03	0,03	0,05	0,47	23	nass	feucht	nicht erfüllt
14:27	x+11	0,04	0,05	0,06	0,15	23	nass	feucht	nicht erfüllt
14:29	x+13	0,05	0,06	0,08	0,21	23	nass	feucht	nicht erfüllt
14:31	x+15	0,06	0,07	0,09	0,29	23	nass	feucht	nicht erfüllt
14:33	x+17	0,07	0,08	0,11	0,14	23	nass	feucht	nicht erfüllt
14:35	x+19	0,08	0,09	0,12	0,12	23	nass	feucht	nicht erfüllt
14:37	x+21	0,09	0,10	0,14	0,16	23	nass	feucht	erfüllt
14:39	x+23	0,1	<b>0,12</b>	0,16	0,31	23	nass	feucht	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 22.02.2016

### 2.2.2.2.3 FBZ „feucht – nass“ Messung 1

am 23.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Kein „Reset“ an der RoSA, Anlage lief über die ganze Nacht
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +6°C bei 79% Luftfeuchtigkeit

Zur Anzeige des Übergangs vom Zustand „trocken“ nach „feucht“ wurde bei dieser Messung zuerst der Wert für eine Wasserfilmdicke von 0,02 mm aufgetragen. Im Anschluss folgte durch mehrfaches Auftragen eine Erhöhung der Wasserfilmdicke, bis dass die geforderte Menge von 0,12 mm erreicht wurde. Dieser Vorgang benötigt einige Zeit, sodass bis zur Erreichung der Soll Wasserfilmdicke und anschließender Ablesung der Messwerte ein größerer zeitlicher Abschnitt besteht. Im Anschluss erfolgt die turnusmäßige Erhöhung der Wasserfilmdicke um jeweils 0,02 mm.

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Toleranz [±30%]	WFD Sensor [mm]	FBZ Sensor [MES14]	FBZ Sensor [TLS Code]	FBZ Soll [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
09:42	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21	trocken	trocken	erfüllt
09:44	x	0,02	0,02	0,03	0,00	23	nass	feucht	nicht erfüllt
09:52	x	0,12	<b>0,13</b>	0,17	0,14	23	nass	feucht	nicht erfüllt
09:54	x+2	0,14	0,15	0,20	0,30	23	nass	feucht	nicht erfüllt*)
09:56	x+4	0,16	0,18	0,23	0,23	23	nass	feucht	nicht erfüllt*)
09:58	x+6	0,18	0,20	0,26	0,12	23	nass	nass	erfüllt*)
10:00	x+8	0,20	<b>0,22</b>	0,15	0,39	23	nass	nass	erfüllt
10:02	x+10	0,22	0,26	0,18	0,40	23	nass	nass	erfüllt
10:04	x+12	0,24	0,28	0,20	0,58	23	nass	nass	erfüllt
10:06	x+14	0,26	<b>0,29</b>	0,20	0,19	23	nass	nass	erfüllt
10:09	x+16	0,26	<b>0,29</b>	0,20	0,20	23	nass	nass	erfüllt
10:10	x+17	0,26	<b>0,29</b>	0,20	0,20	23	nass	nass	erfüllt
10:11	x+18	0,26	<b>0,29</b>	0,20	0,19	23	nass	nass	erfüllt
10:12	x+19	0,26	<b>0,29</b>	0,20	0,18	23	nass	nass	erfüllt
10:13	x+20	0,26	<b>0,29</b>	0,20	0,19	23	nass	nass	erfüllt
10:14	x+24	0,28	0,30	0,21	0,19	23	nass	nass	erfüllt
10:16	x+26	0,30	<b>0,32</b>	0,22	0,29	23	nass	nass	erfüllt
10:23	x+33	0,30	<b>0,31</b>	0,22	0,25	23	nass	nass	erfüllt
10:26	x+36	0,30	0,31	0,22	0,23	23	nass	nass	erfüllt
10:31	x+41	0,30	0,31	0,22	0,19	23	nass	nass	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 23.02.2016

\*) Angaben von Wasserfilmdicke und Fahrbahnzustand sind widersprüchlich



Bild: DRS511 vom 23.02.2016 mit WFD von 0,3 mm

#### 2.2.2.2.4 FBZ „feucht – nass“ Messung 2

am 23.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 10:37 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Anzeige Zustand „trocken“ ab 10:36 Uhr
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +6°C bei 79% Luftfeuchtigkeit

Zur Anzeige des Übergangs vom Zustand „trocken“ nach „feucht“ wurde bei dieser Messung zuerst der Wert für eine Wasserfilmdicke von 0,02 mm aufgetragen. Im Anschluss folgte durch



mehrfaches Auftragen eine Erhöhung der Wasserfilmdicke, bis dass die geforderte Menge von 0,12 mm erreicht wurde. Dieser Vorgang benötigt einige Zeit, sodass bis zur Erreichung der Soll Wasserfilmdicke und anschließender Ablesung der Messwerte ein größerer zeitlicher Abschnitt besteht. Im Anschluss erfolgt die turnusmäßige Erhöhung der Wasserfilmdicke um jeweils 0,02 mm.

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Toleranz [±30%]	WFD Sensor [mm]	FBZ Sensor [MES14]	FBZ Sensor [TLS Code]	FBZ Soll [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
10:53	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21	trocken	trocken	erfüllt
10:56	x	0,02	0,02	0,02	0,00	23	nass	feucht	nicht erfüllt
11:01	x	0,12	<b>0,14</b>	0,18	0,14	23	nass	feucht	nicht erfüllt
11:04	x+3	0,14	0,16	0,20	0,30	23	nass	feucht	nicht erfüllt
11:06	x+5	0,16	0,18	0,23	0,23	23	nass	feucht	erfüllt
11:08	x+7	0,18	0,19	0,25	0,12	23	nass	feucht	erfüllt
11:10	x+9	0,20	<b>0,21</b>	0,15	0,39	23	nass	nass	erfüllt
11:12	x+11	0,22	0,23	0,16	0,40	23	nass	nass	erfüllt
11:14	x+13	0,24	0,25	0,17	0,58	23	nass	nass	erfüllt
11:16	x+15	0,26	<b>0,27</b>	0,19	0,19	23	nass	nass	erfüllt
13:57	x+161	0,26	<b>0,21</b>	0,15	0,20	23	nass	nass	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 23.02.2016



Bild: DRS511 vom 23.02.2016 mit WFD von 0,26mm

#### 2.2.2.2.5 FBZ „nass“ bei WFD 0,2 mm Messung 1

am 16.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Kein Reset an der RoSA durchgeführt
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +4,5°C bei 40% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Toleranz [±30%]	WFD Sensor [mm]	FBZ Sensor [MES14]	FBZ Sensor [TLS Code]	FBZ Soll [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
14:25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21	trocken	trocken	erfüllt
14:28	x	0,20	<b>0,24</b>	0,17	0,00	21	trocken	nass	nicht erfüllt
14:29	x+1	0,20	0,24	0,17	0,15	22	feucht	nass	nicht erfüllt
14:30	x+2	0,20	0,24	0,17	0,15	23	nass	nass	erfüllt
14:31	x+3	0,20	0,24	0,17	0,15	23	nass	nass	erfüllt
14:32	x+4	0,20	0,24	0,17	0,15	23	nass	nass	erfüllt
14:33	x+5	0,20	0,24	0,17	0,15	23	nass	nass	erfüllt
14:34	x+6	0,20	<b>0,23</b>	0,16	0,15	23	nass	nass	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 16.02.2016

#### 2.2.2.2.6 FBZ „nass“ bei WFD 0,2 mm Messung 1

am 17.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Kein Reset an der RoSA durchgeführt
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +4,6°C bei 68% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Toleranz [±30%]	WFD Sensor [mm]	FBZ Sensor [MES14]	FBZ Sensor [TLS Code]	FBZ Soll [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
10:45	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21	trocken	trocken	erfüllt
10:48	x	0,20	<b>0,22</b>	0,15	0,00	21	trocken	nass	nicht erfüllt
10:49	x+1	0,20	0,26	0,18	0,16	22	feucht	nass	nicht erfüllt
10:50	x+2	0,20	0,26	0,18	0,15	23	nass	nass	erfüllt
10:51	x+3	0,20	0,26	0,18	0,15	23	nass	nass	erfüllt
10:52	x+4	0,20	0,26	0,18	0,15	23	nass	nass	erfüllt
10:53	x+5	0,20	0,26	0,18	0,15	23	nass	nass	erfüllt
10:54	x+6	0,20	<b>0,21</b>	0,15	0,15	23	nass	nass	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 17.02.2016

#### 2.2.2.2.7 FBZ „nass“ bei WFD 0,2 mm Messung 2

am 17.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Kein Reset an der RoSA durchgeführt
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +5°C bei 64% Luftfeuchtigkeit
- Bei x+7 wurde mit einem Stab der Wasserfilm auf der Sensoroberfläche verteilt

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Toleranz [±30%]	WFD Sensor [mm]	FBZ Sensor [MES14]	FBZ Sensor [TLS Code]	FBZ Soll [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
13:59	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21	trocken	trocken	erfüllt
14:04	x	0,20	<b>0,23</b>	0,16	0,18	32	feucht	nass	nicht erfüllt
14:05	x+1	0,20	0,23	0,16	0,18	33	nass	nass	erfüllt
14:06	x+2	0,20	0,23	0,16	0,18	33	nass	nass	erfüllt
14:07	x+3	0,20	0,23	0,16	0,18	33	nass	nass	erfüllt
14:08	x+4	0,20	0,23	0,16	0,17	33	nass	nass	erfüllt
14:09	x+5	0,20	0,23	0,16	0,17	33	nass	nass	erfüllt
14:10	x+6	0,20	0,23	0,16	0,17	33	nass	nass	erfüllt
14:11	x+7	0,20	0,23	0,16	0,17	33	nass	nass	erfüllt
14:12	x+8	0,20	0,23	0,16	0,16	33	nass	nass	erfüllt
14:13	x+9	0,20	0,23	0,16	0,13	33	nass	nass	erfüllt
14:14	x+10	0,20	<b>0,23</b>	0,16	0,12	33	nass	nass	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 17.02.2016

#### 2.2.2.2.8 FBZ „nass“ bei WFD 0,5 mm Messung 1

am 18.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Kein Reset an der RoSA durchgeführt
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +5°C bei 64% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Toleranz [±30%]	WFD Sensor [mm]	FBZ Sensor [MES14]	FBZ Sensor [TLS Code]	FBZ Soll [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
10:23	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21	trocken	trocken	erfüllt
10:39	x	0,50	<b>0,54</b>	0,38	0,14	23	nass	nass	erfüllt
10:40	x+1	0,50	0,54	0,38	0,12	23	nass	nass	erfüllt
10:41	x+2	0,50	0,54	0,38	0,12	23	nass	nass	erfüllt
10:42	x+3	0,50	0,54	0,38	0,12	23	nass	nass	erfüllt
10:43	x+4	0,50	0,54	0,38	0,12	23	nass	nass	erfüllt
10:44	x+5	0,50	0,54	0,38	0,12	23	nass	nass	erfüllt
10:45	x+6	0,50	<b>0,54</b>	0,38	0,12	23	nass	nass	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 18.02.2016

#### 2.2.2.2.9 FBZ „nass“ bei WFD 0,5 mm Messung 2

am 18.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Kein Reset an der RoSA durchgeführt
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +4,9°C bei 64% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Toleranz [±30%]	WFD Sensor [mm]	FBZ Sensor [MES14]	FBZ Sensor [TLS Code]	FBZ Soll [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
10:57	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21	trocken	trocken	erfüllt
11:11	x	0,50	<b>0,50</b>	0,35	0,12	23	nass	nass	erfüllt
11:12	x+1	0,50	0,54	0,38	0,12	23	nass	nass	erfüllt
11:13	x+2	0,50	0,54	0,38	0,12	23	nass	nass	erfüllt
11:14	x+3	0,50	0,54	0,38	0,12	23	nass	nass	erfüllt
11:15	x+4	0,50	0,54	0,38	0,12	23	nass	nass	erfüllt
11:16	x+5	0,50	0,54	0,38	0,12	23	nass	nass	erfüllt
11:17	x+6	0,50	<b>0,50</b>	0,35	0,12	23	nass	nass	erfüllt
11:28	x+17	0,50	<b>0,43</b>	0,30	0,12	23	nass	nass	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 18.02.2016

#### 2.2.2.2.10 FBZ „nass“ bei WFD 0,5 mm Messung 3

am 18.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 13:43 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Plastikabdeckung des Sprühkasten über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +5°C bei 64% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Toleranz [±30%]	WFD Sensor [mm]	FBZ Sensor [MES14]	FBZ Sensor [TLS Code]	FBZ Soll [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
13:45	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21	trocken	trocken	erfüllt
14:05	x	0,50	<b>0,51</b>	0,39	0,56	23	nass	nass	erfüllt
14:06	x+1	0,50	0,51	0,39	0,56	23	nass	nass	erfüllt
14:07	x+2	0,50	0,51	0,39	0,56	23	nass	nass	erfüllt
14:08	x+3	0,50	0,51	0,39	0,56	23	nass	nass	erfüllt
14:09	x+4	0,50	0,51	0,39	0,56	23	nass	nass	erfüllt
14:10	x+5	0,50	0,51	0,40	0,57	23	nass	nass	erfüllt
14:11	x+6	0,50	<b>0,51</b>	0,40	0,57	23	nass	nass	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 3 am 18.02.2016

#### 2.2.2.2.11 FBZ „nass“ bei WFD 0,5 mm Messung 4

am 18.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 14:12 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Plastikabdeckung des Sprühkasten über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +5°C bei 64% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Toleranz [±30%]	WFD Sensor [mm]	FBZ Sensor [MES14]	FBZ Sensor [TLS Code]	FBZ Soll [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
14:33	0	0	0	0,00	0,00	21	trocken	trocken	erfüllt
14:39	x	0,50	<b>0,53</b>	0,37	0,40	23	nass	nass	erfüllt
14:40	x+1	0,50	0,53	0,37	0,19	23	nass	nass	erfüllt
14:41	x+2	0,50	0,53	0,37	0,19	23	nass	nass	erfüllt
14:42	x+3	0,50	0,53	0,37	0,19	23	nass	nass	erfüllt
14:43	x+4	0,50	0,53	0,37	0,18	23	nass	nass	erfüllt
14:44	x+5	0,50	0,53	0,37	0,18	23	nass	nass	erfüllt
14:45	x+6	0,50	<b>0,53</b>	0,37	0,18	23	nass	nass	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 4 am 18.02.2016

### 2.2.2.2.12 FBZ „feucht“ bei GT -3°C Messung 1

am 16.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 09:39 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Anzeige Zustand „trocken“ ab 09:40 Uhr
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl-Lösung; Klimakammer -1,4 °C bei 55% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Toleranz [±30%]	WFD Sensor [mm]	FBZ Sensor [MES14]	FBZ Sensor [TLS Code]	FBZ Soll [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
09:59	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21	trocken	trocken	erfüllt
10:01	x	0,10	<b>0,10</b>	0,13	0,00	21	trocken	feucht	nicht erfüllt
10:03	x+2	0,10	<b>0,10</b>	0,13	0,12	122	feucht	feucht	erfüllt
10:05	x+4	0,10	<b>0,10</b>	0,12	0,12	122	feucht	feucht	erfüllt
10:07	x+6	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,12	122	feucht	feucht	erfüllt
10:09	x+8	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,12	122	feucht	feucht	erfüllt
10:10	x+9	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,12	122	feucht	feucht	erfüllt
10:11	x+10	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,12	122	feucht	feucht	erfüllt
10:31	x+30	0,10	<b>0,09</b>	0,11	0,13	122	feucht	feucht	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 16.03.2016

### 2.2.2.2.13 FBZ „feucht“ bei GT -3°C Messung 2

am 16.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- **Kein** RoSA-Reset
- Anzeige Zustand „trocken“ ab 10:50 Uhr
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl-Lösung; Klimakammer -1,7 °C bei 55% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD To-leranz [±30%]	WFD Sensor [mm]	FBZ Sensor [MES14]	FBZ Sensor [TLS Code]	FBZ Soll [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
10:58	0	0,00	0,00	0,00	0,00	31	trocken	trocken	erfüllt
11:02	x	0,10	<b>0,10</b>	0,12	0,15	32	feucht	feucht	erfüllt
11:03	x+1	0,10	<b>0,10</b>	0,12	0,14	33	nass	feucht	nicht erfüllt
11:04	x+2	0,10	<b>0,10</b>	0,12	0,14	33	nass	feucht	nicht erfüllt
11:05	x+3	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,14	32	feucht	feucht	erfüllt
11:06	x+4	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,14	22	feucht	feucht	erfüllt
11:07	x+5	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,14	22	feucht	feucht	erfüllt
11:08	x+6	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,14	22	feucht	feucht	erfüllt
11:27	x+25	0,10	<b>0,09</b>	0,11	0,13	122	feucht	feucht	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 16.03.2016

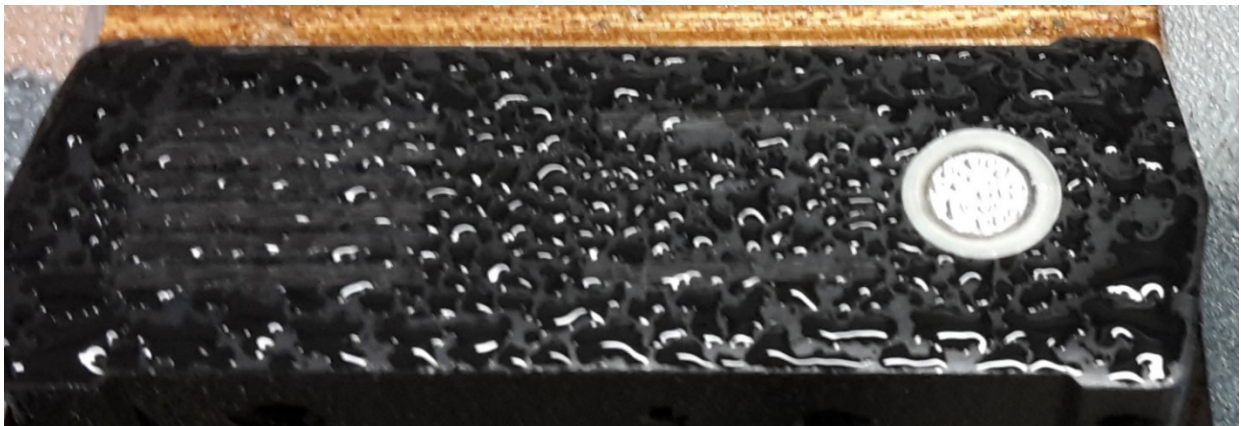


Bild: DRS511 vom 16.03.2016 mit WFD von 0,09 mm

#### 2.2.2.2.14 FBZ „feucht“ bei GT -3°C Messung 3

am 16.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 14:40 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Anzeige Zustand „trocken“ ab 14:42 Uhr
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl; Klimakammer -1,3 °C bei 54% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Toleranz [±30%]	WFD Sensor [mm]	FBZ Sensor [MES14]	FBZ Sensor [TLS Code]	FBZ Soll [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
14:45	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21	trocken	trocken	erfüllt
14:53	x	0,10	<b>0,10</b>	0,12	0,19	122	feucht	feucht	erfüllt
14:54	x+1	0,10	<b>0,10</b>	0,12	0,14	122	feucht	feucht	erfüllt
14:55	x+2	0,10	<b>0,10</b>	0,12	0,12	122	feucht	feucht	erfüllt
14:56	x+3	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,12	122	feucht	feucht	erfüllt
14:57	x+4	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,12	122	feucht	feucht	erfüllt
14:58	x+5	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,12	122	feucht	feucht	erfüllt
14:59	x+6	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,11	122	feucht	feucht	erfüllt
15:25	x+32	0,10	<b>0,09</b>	0,11	0,11	122	feucht	feucht	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 3 am 16.03.2016



Bild: DRS511 vom 16.03.2016 mit WFD von 0,09 mm

#### 2.2.2.2.15 FBZ „nass“ bei GT -3 °C Messung 1

am 17.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 13:20 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Anzeige Zustand „trocken“ ab 13:24 Uhr
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl-Lösung; Klimakammer -0,66 °C bei 56 % Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Toleranz [±30%]	WFD Sensor [mm]	FBZ Sensor [MES14]	FBZ Sensor [TLS Code]	FBZ Soll [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
13:24	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21	trocken	trocken	erfüllt
13:30	x	0,20	<b>0,20</b>	0,14	0,23	127	eis	nass	nicht erfüllt
13:31	x+1	0,20	<b>0,20</b>	0,14	0,13	127	eis	nass	nicht erfüllt
13:32	x+2	0,20	<b>0,20</b>	0,14	0,12	127	eis	nass	nicht erfüllt
13:33	x+3	0,20	<b>0,20</b>	0,14	0,12	127	eis	nass	nicht erfüllt
13:34	x+4	0,20	<b>0,20</b>	0,14	0,12	127	eis	nass	nicht erfüllt
13:35	x+5	0,20	<b>0,20</b>	0,14	0,12	127	eis	nass	nicht erfüllt
13:36	x+6	0,20	<b>0,20</b>	0,14	0,12	127	eis	nass	nicht erfüllt
14:00	x+30	0,20	<b>0,19</b>	0,25	0,11	127	eis	feucht	nicht erfüllt
14:02	Stab	0,20	0,19	0,25	0,11	24	chem nass	feucht	nicht erfüllt
14:12	Stab +10	0,20	0,19	0,25	0,24	24	chem nass	feucht	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 17.03.2016



Bild: DRS511 vom 17.03.2016 mit WFD von 0,2 mm



Bild: DRS511 vom 17.03.2016 Verteilung der WFD 0,09 mm mit Stab



### 2.2.2.2.16 FBZ „nass“ bei -12 °C Messung 2

am 17.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 14:18 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Anzeige Zustand „trocken“ ab 14:20 Uhr
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl-Lösung; Klimakammer -1,02 °C bei 55 % Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Toleranz [±30%]	WFD Sensor [mm]	FBZ Sensor [MES14]	FBZ Sensor [TLS Code]	FBZ Soll [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
14:59	0	0,00	0,00	0,00	0,00	21	trocken	trocken	erfüllt
15:05	x	0,20	<b>0,19</b>	0,25	0,11	24	chem. nass	feucht	nicht erfüllt
15:06	x+1	0,20	<b>0,19</b>	0,25	0,11	24	chem. nass	feucht	nicht erfüllt
15:07	x+2	0,20	<b>0,19</b>	0,25	0,11	24	chem. nass	feucht	nicht erfüllt
15:08	x+3	0,20	<b>0,19</b>	0,25	0,11	24	chem. nass	feucht	nicht erfüllt
15:09	x+4	0,20	<b>0,19</b>	0,25	0,11	24	chem. nass	feucht	nicht erfüllt
15:10	x+5	0,20	<b>0,19</b>	0,25	0,11	24	chem. nass	feucht	nicht erfüllt
15:11	x+6	0,20	<b>0,19</b>	0,25	0,11	24	chem. nass	feucht	nicht erfüllt
15:25	x+30	0,20	<b>0,19</b>	0,24	0,11	28	chem. feucht	feucht	erfüllt
15:27	Stab	0,20	0,19	0,24	0,24	24	chem. nass	feucht	erfüllt
15:37	Stab +10	0,20	0,19	0,24	0,23	24	chem. nass	feucht	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 17.03.2016



Bild: DRS511 vom 17.03.2016 mit WFD von 0,2 mm



Bild: DRS511 vom 17.03.2016 mit WFD von 0,2 mm nach Glättung mit Stab

### 2.2.2.3 Fazit: FBZ „feucht“ und „nass“

Der Übergang der Fahrbahnzustände von „feucht“ nach „nass“ durch eine kontinuierliche Erhöhung der Wasserfilmdicke konnte in den vorgegeben Zeitraum gemäß der DIN CEN/TS 15518-4 vom Sensor DRS511 nicht nachvollzogen werden. Der Sensor bewertet selbstgemessene WFD anders, als dies in der EN 15518-3 definiert ist. Des Weiteren treten durch aufgrund von falschen Messungen für die WFD teilweise falsche Angaben bei dem FZW auf.

Beim Auftrag einer Wasserfilmhöhe von 0,1mm erfolgte bei den Temperaturen im Bereich von 5°C und -2°C in der Klimakammer eine korrekte Anzeige des Fahrbahnzustandes „feucht“ vom DRS511. Bei den Wasserfilmhöhen von 0,2mm und 0,5mm für Temperaturen über 0°C wurde der Fahrbahnzustand „nass“ entsprechend der Vorschrift korrekt ermittelt. Bei Temperaturen unter 0°C erfolgte dies meist nicht ordnungsgemäß.

Bei der Beachtung des Toleranzbereiches für die aufgetragene Wasserfilmhöhe im Hinblick auf die vom Sensor DRS511 gemessene Wasserfilmhöhe (untere Toleranzgrenze bei einer WFD < 0,20 mm von 130% und obere Toleranzgrenze bei einer WFD ≥ 0,20 mm von 70%) erfolgte die Bewertung des Fahrbahnzustandes in der jeweiligen letzten Spalte der Tabelle. Die aufgrund der Toleranzgrenze korrigierten Werte wurden „grau“ eingefärbt und „erfüllt“ weiterhin in roter Schriftfarbe hinterlegt, um die Abweichung ersichtlicher zu machen.

Die interne Zuordnung des Fahrbahnzustandes zu der vom Sensor gemessenen Wasserfilmhöhe stimmt nicht in allen Fällen überein.

#### Beispiele:

Bei einer zu niedrigen gemessenen Wasserfilmhöhe von Sensor DRS511 fand eine korrekte Zuordnung des Fahrbahnzustandes statt:

Messung 1 am 17.02.2016: WFD Sensor 0,15mm (unter Toleranz 0,18mm) FBZ „nass“

Messung 2 am 17.02.2016: WFD Sensor 0,13mm (unter Toleranz 0,16mm) FBZ „nass“

Messung 1 am 18.02.2016: WFD Sensor 0,12mm (unter Toleranz 0,38mm) FBZ „nass“

Bei keiner Änderung der Wasserfilmhöhe zeigt der Sensor DRS511 während einer Messung (keine Änderung der Wasserfilmhöhe) zwei unterschiedliche Zustände an.

Messung 2 am 16.03.2016: WFD Sensor 0,14mm mit FBZ „nass“ und „feucht“

Weiterhin besteht bei der Zuordnung des Fahrbahnzustandes Abweichungen zwischen dem Hersteller Protokoll MES14 und dem TLS2012 Protokoll (siehe Kapitel 1.2).

Die Zuordnung chem. Nass aus MES14 ist laut TLS 2012 nicht definiert. Auch bei einer entsprechenden Änderung auf „Nass“ wurde der Fahrbahnzustand bei der Messung nicht korrekt vom Sensor DRS511 erfasst.

Der laut MES14 Protokoll gemeldete Zustand „Eis“ ist in der TLS2012 nicht definiert.

Bei der Messung des FBZ besteht aus Sicht der BAST noch einiges Verbesserungspotenzial, derzeit liefert der Sensor DRS511 keine plausiblen Messergebnisse.

## 2.3 Prüfung: Wasserfilmdicke (WFD)

### 2.3.1 Beschreibung der Durchführung gemäß CEN/TS 15518-4

Für die Prüfung der Wasserfilmdicke wurden Wasserfilme von 0,2 mm und 0,5 mm mit dem maschinell geführten Sprühventil (Spritzkasten) auf die Sensoroberfläche aufgetragen.

Beim Aufsprühen ergab sich die Referenzmessung anhand der aufgefangenen Wassermenge auf der Referenzplatte neben dem Sensor. Die tatsächlich ermittelten Werte von der Referenzplatte sind in den Tabellen fett dargestellt.

Bedingt durch die benötigte Zeit für das maschinelle Auftragen der Wasserfilmdicke, wurde für die Messwerte ein Zeitintervall von 2min anstatt der in der Prüfvorschrift (DIN CEN/TS 15518-4) von 1min berücksichtigt.

Die Prüfungen wurden mit unterschiedlicher Randbedingung (nach der Norm DIN CEN/TS 15518-4 und herstellereigenen Angaben) in der Klimakammer durchgeführt.

### 2.3.2 Ergebnisse der Prüfung für die WFD

Hierbei sind Messergebnisse, die bei der Durchführung der Prüfung für den Fahrbahnzustand und der Gefriertemperatur ermittelt wurden, mitberücksichtigt.

#### 2.3.2.1 WFD 0,2 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 1

am 16.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Kein Reset an der RoSA durchgeführt
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +4,5°C bei 40% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Sensor [mm]	Untere Toleranzgrenze [-30%]	obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung: WFD
14:25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
14:28	x	0,20	<b>0,24</b>	0,00	0,17	0,31	nicht erfüllt
14:29	x+1	0,20	0,24	0,15	0,17	0,31	nicht erfüllt
14:30	x+2	0,20	0,24	0,15	0,17	0,31	nicht erfüllt
14:31	x+3	0,20	0,24	0,15	0,17	0,31	nicht erfüllt
14:32	x+4	0,20	0,24	0,15	0,17	0,31	nicht erfüllt
14:33	x+5	0,20	0,24	0,15	0,17	0,31	nicht erfüllt
14:34	x+6	0,20	<b>0,23</b>	0,15	0,16	0,30	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 16.02.2016

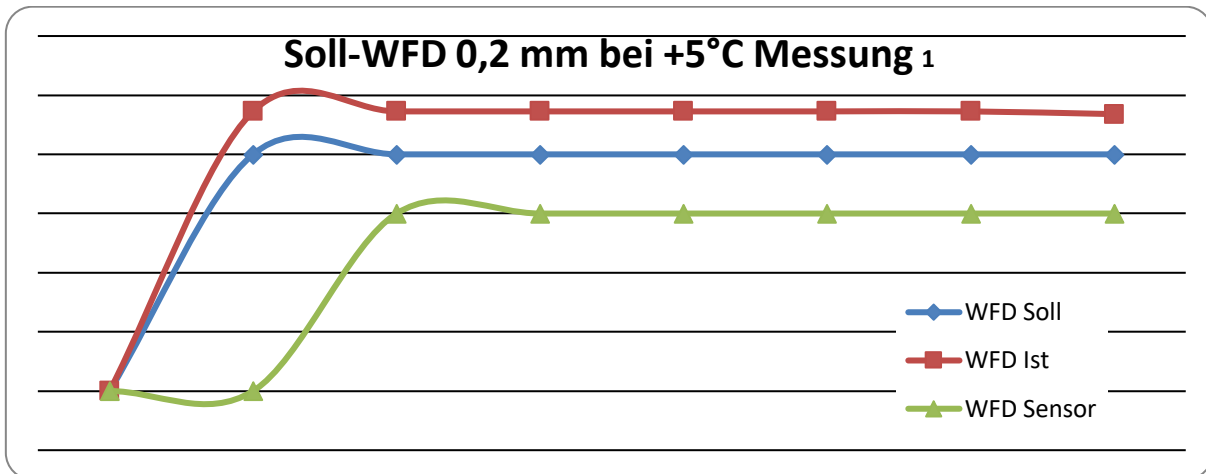


Diagramm: Messwerte Messung 1 am 16.02.2016

### 2.3.2.2 WFD 0,2 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 1

am 17.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Kein Reset an der RoSA durchgeführt
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +4,6°C bei 68% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Mi-nute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Sensor [mm]	untere Toleranzgrenze [-30%]	obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung: WFD
10:45	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
10:48	x	0,20	<b>0,22</b>	0,00	0,15	0,28	nicht erfüllt
10:49	x+1	0,20	0,26	0,16	0,18	0,34	nicht erfüllt
10:50	x+2	0,20	0,26	0,15	0,18	0,34	nicht erfüllt
10:51	x+3	0,20	0,26	0,15	0,18	0,34	nicht erfüllt
10:52	x+4	0,20	0,26	0,15	0,18	0,34	nicht erfüllt
10:53	x+5	0,20	0,26	0,15	0,18	0,34	nicht erfüllt
10:54	x+6	0,20	<b>0,21</b>	0,15	0,15	0,28	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 17.02.2016

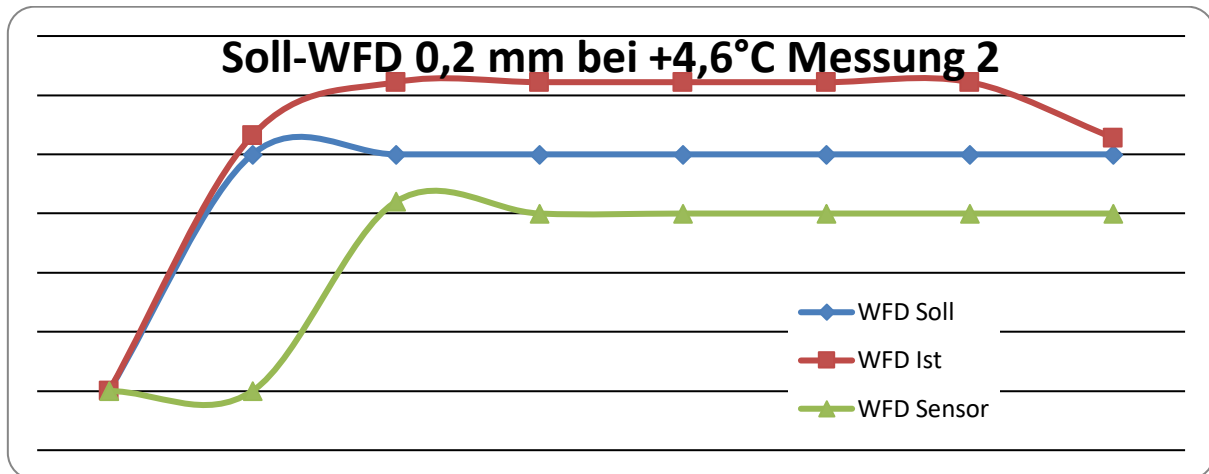


Diagramm: Messwerte Messung 1 am 17.02.2016

### 2.3.2.3 WFD 0,2 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 2

am 17.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Kein Reset an der RoSA durchgeführt
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +5°C bei 64% Luftfeuchtigkeit
- Bei x+7 wurde mit einem Stab der Wasserfilm auf der Sensoroberfläche verteilt

Uhrzeit	Mess-Mi- nute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Sensor [mm]	untere Toleranz- grenze [-30%]	obere Tole- ranz- grenze [+30%]	Bewertung: WFD
13:59	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
14:04	x	0,20	<b>0,23</b>	0,18	0,16	0,30	erfüllt
14:05	x+1	0,20	0,23	0,18	0,16	0,30	erfüllt
14:06	x+2	0,20	0,23	0,18	0,16	0,30	erfüllt
14:07	x+3	0,20	0,23	0,18	0,16	0,30	erfüllt
14:08	x+4	0,20	0,23	0,17	0,16	0,30	erfüllt
14:09	x+5	0,20	0,23	0,17	0,16	0,30	erfüllt
14:10	x+6	0,20	0,23	0,17	0,16	0,30	erfüllt
14:11	x+7	0,20	0,23	0,17	0,16	0,30	erfüllt
14:12	x+8	0,20	0,23	0,16	0,16	0,30	nicht erfüllt
14:13	x+9	0,20	0,23	0,13	0,16	0,30	nicht erfüllt
14:14	x+10	0,20	<b>0,23</b>	0,12	0,16	0,30	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 17.02.2016

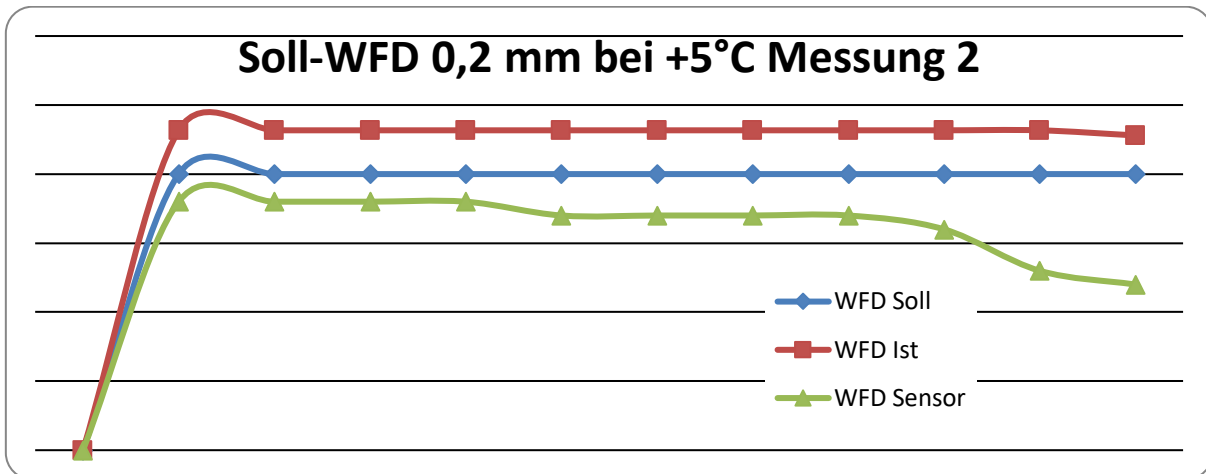


Diagramm: Messwerte Messung 2 am 17.02.2016

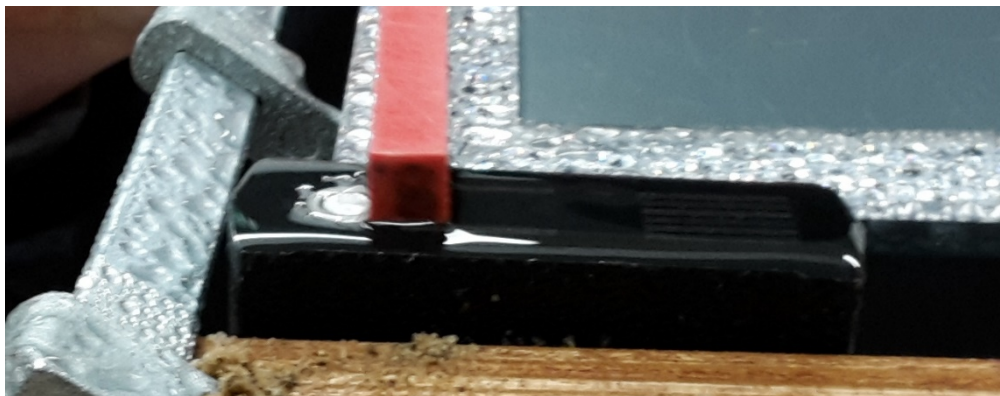


Bild: Verteilung des Wasserfilms auf der Sensoroberfläche

### 2.3.2.4 WFD 0,5 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 1

am 18.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Kein Reset an der RoSA durchgeführt
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +5°C bei 64% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Mi-nute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Sensor [mm]	untere To-leranz-grenze [-30%]	obere To-leranz-grenze [+30%]	Bewertung: WFD
10:23	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
10:39	x	0,50	<b>0,54</b>	0,14	0,38	0,70	nicht erfüllt
10:40	x+1	0,50	0,54	0,12	0,38	0,70	nicht erfüllt
10:41	x+2	0,50	0,54	0,12	0,38	0,70	nicht erfüllt
10:42	x+3	0,50	0,54	0,12	0,38	0,70	nicht erfüllt
10:43	x+4	0,50	0,54	0,12	0,38	0,70	nicht erfüllt
10:44	x+5	0,50	0,54	0,12	0,38	0,70	nicht erfüllt
10:45	x+6	0,50	<b>0,54</b>	0,12	0,38	0,70	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 18.02.2016

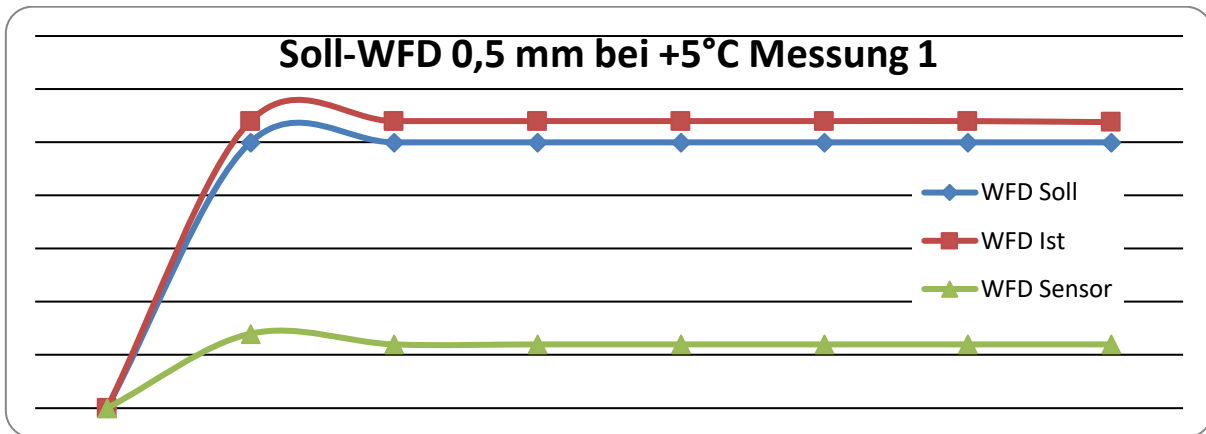


Diagramm: Messwerte Messung 1 am 18.02.2016

### 2.3.2.5 WFD 0,5 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 2

am 18.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Kein Reset an der RoSA durchgeführt
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +4,9°C bei 64% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Mi-nute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Sensor [mm]	untere To-leranz-grenze [-30%]	obere To-leranz-grenze [+30%]	Bewertung: WFD
10:57	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
11:11	x	0,50	<b>0,50</b>	0,12	0,35	0,65	nicht erfüllt
11:12	x+1	0,50	0,54	0,12	0,38	0,70	nicht erfüllt
11:13	x+2	0,50	0,54	0,12	0,38	0,70	nicht erfüllt
11:14	x+3	0,50	0,54	0,12	0,38	0,70	nicht erfüllt
11:15	x+4	0,50	0,54	0,12	0,38	0,70	nicht erfüllt
11:16	x+5	0,50	0,54	0,12	0,38	0,70	nicht erfüllt
11:17	x+6	0,50	<b>0,50</b>	0,12	0,35	0,65	nicht erfüllt
11:28	x+17	0,50	<b>0,43</b>	0,12	0,30	0,56	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 18.02.2016

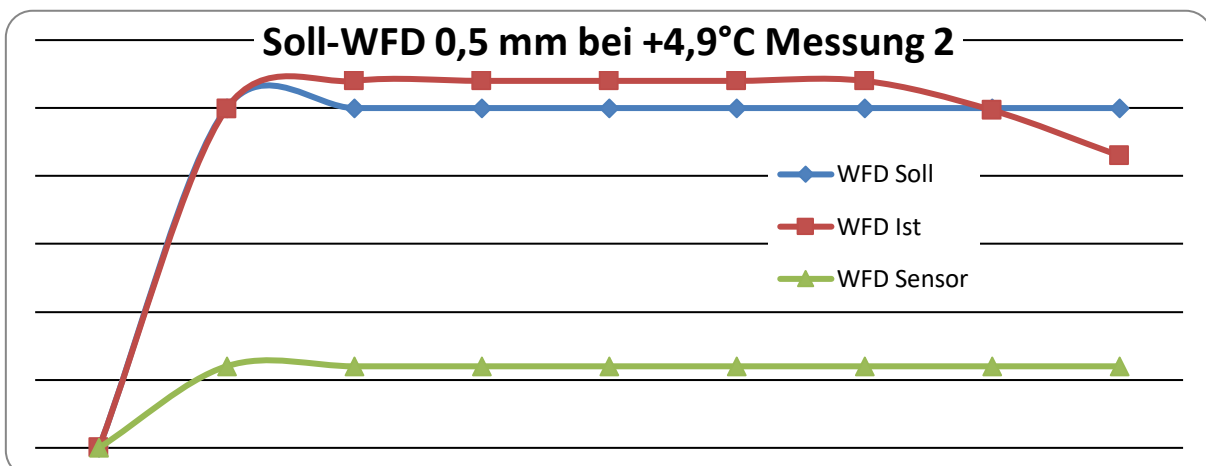


Diagramm: Messwerte Messung 2 am 18.02.2016

**2.3.2.6 WFD 0,5 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 3**

am 18.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 13:43 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +5°C bei 64% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Sensor [mm]	untere Toleranzgrenze [-30%]	obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung: WFD
13:45	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
14:05	x	0,50	<b>0,51</b>	0,56	0,36	0,66	erfüllt
14:06	x+1	0,50	0,51	0,56	0,36	0,66	erfüllt
14:07	x+2	0,50	0,51	0,56	0,36	0,66	erfüllt
14:08	x+3	0,50	0,51	0,56	0,36	0,66	erfüllt
14:09	x+4	0,50	0,51	0,56	0,36	0,66	erfüllt
14:10	x+5	0,50	0,51	0,57	0,36	0,66	erfüllt
14:11	x+6	0,50	<b>0,51</b>	0,57	0,35	0,66	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 3 am 18.02.2016

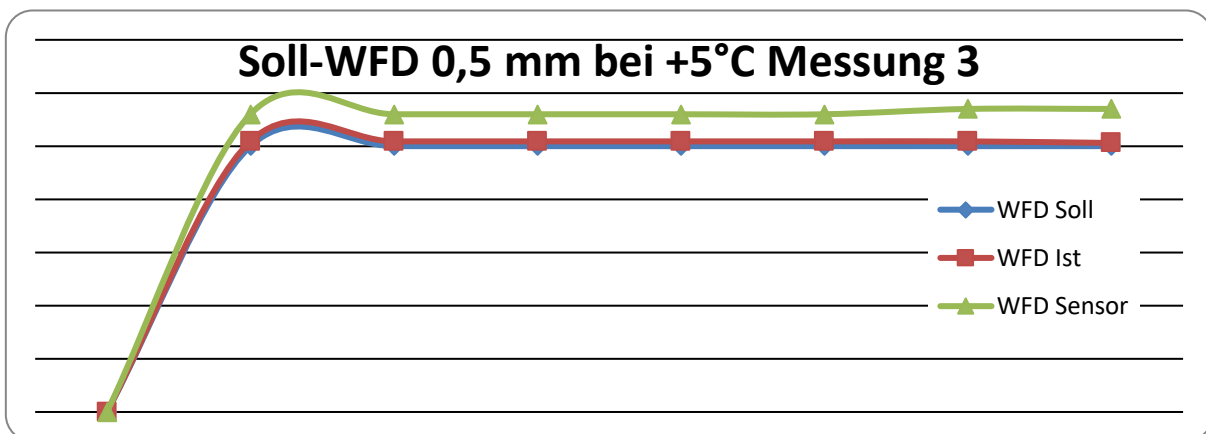


Diagramm: Messwerte Messung 3 am 18.02.2016

**2.3.2.7 WFD 0,5 mm bei +5°C in der Klimakammer Messung 4**

am 18.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 14:12 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +5°C bei 64% Luftfeuchtigkeit



Uhrzeit	Mess-Mi- nute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Sensor [mm]	untere Toleranz- grenze [-30%]	obere To- leranz- grenze [+30%]	Bewertung: WFD
14:33	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
14:39	x	0,50	<b>0,53</b>	0,40	0,37	0,69	erfüllt
14:40	x+1	0,50	0,53	0,19	0,37	0,69	nicht erfüllt
14:41	x+2	0,50	0,53	0,19	0,37	0,69	nicht erfüllt
14:42	x+3	0,50	0,53	0,19	0,37	0,69	nicht erfüllt
14:43	x+4	0,50	0,53	0,18	0,37	0,69	nicht erfüllt
14:44	x+5	0,50	0,53	0,18	0,37	0,69	nicht erfüllt
14:45	x+6	0,50	<b>0,53</b>	0,18	0,37	0,69	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 4 am 18.02.2016

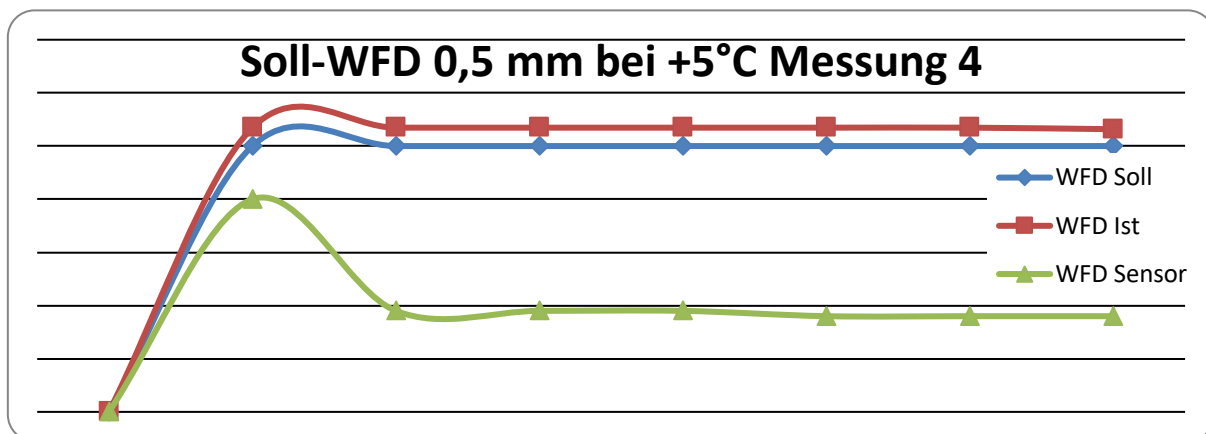


Diagramm: Messwerte Messung 4 am 18.02.2016

### 2.3.2.8 WFD 0,1 mm in 0,01 Schritten bei +5°C Messung 1

am 22.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 10:53 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +7,1°C bei 93% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Mi- nute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Sensor [mm]	untere Toleranz- grenze [-30%]	obere To- leranz- grenze [+30%]	Bewertung: WFD
13:15	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
13:16	x	0,012-0,015	<b>0,01</b>	0,00	0,01	0,02	nicht erfüllt
13:17	x+1	0,012-0,015	0,01	0,00	0,01	0,02	nicht erfüllt
13:18	x+2	0,012-0,015	0,01	0,00	0,01	0,02	nicht erfüllt
13:19	x+3	0,012-0,015	0,01	0,00	0,01	0,02	nicht erfüllt
13:20	x+4	0,012-0,015	0,01	0,00	0,01	0,02	nicht erfüllt
13:23	x+7	0,02	0,03	0,00	0,02	0,04	nicht erfüllt
13:24	x+8	0,03	0,04	0,27	0,03	0,06	nicht erfüllt
13:26	x+10	0,04	0,06	0,18	0,04	0,08	nicht erfüllt
13:29	x+13	0,05	0,07	0,12	0,05	0,10	nicht erfüllt
13:31	x+15	0,06	0,09	0,24	0,06	0,12	nicht erfüllt
13:33	x+17	0,07	0,10	0,16	0,07	0,13	nicht erfüllt
13:35	x+19	0,08	0,12	0,13	0,08	0,15	erfüllt
13:37	x+21	0,09	0,13	0,23	0,09	0,17	nicht erfüllt
13:39	x+23	0,1	<b>0,13</b>	0,23	0,09	0,17	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 22.02.2016

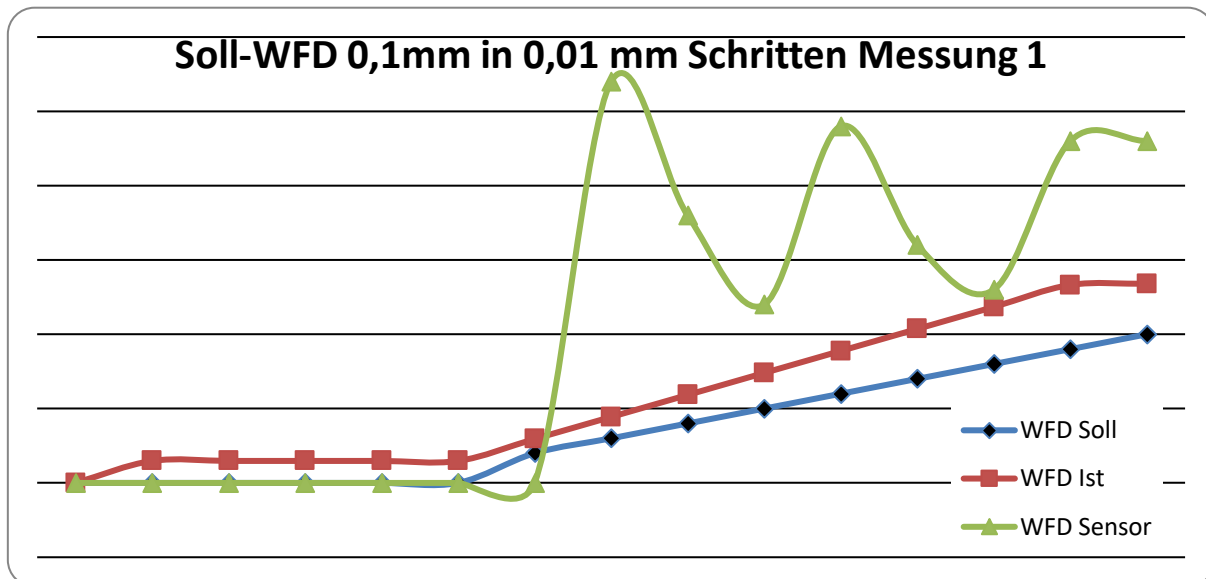


Diagramm: Messwerte Messung 1 am 22.02.2016

### 2.3.2.9 WFD 0,1 mm in 0,01 Schritten bei +5°C Messung 2

am 22.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 13:59 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +5°C bei 45% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Sensor [mm]	untere Toleranzgrenze [-30%]	obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung WFD
14:14	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
14:16	x	0,012-0,015	<b>0,01</b>	0,00	0,01	0,02	nicht erfüllt
14:17	x+1	0,012-0,015	0,01	0,00	0,01	0,02	nicht erfüllt
14:18	x+2	0,012-0,015	0,01	0,00	0,01	0,02	nicht erfüllt
14:19	x+3	0,012-0,015	0,01	0,00	0,01	0,02	nicht erfüllt
14:20	x+4	0,012-0,015	0,01	0,00	0,01	0,02	nicht erfüllt
14:23	x+7	0,02	0,02	0,00	0,02	0,03	nicht erfüllt
14:25	x+9	0,03	0,03	0,47	0,02	0,04	nicht erfüllt
14:27	x+11	0,04	0,05	0,15	0,03	0,05	nicht erfüllt
14:29	x+13	0,05	0,06	0,21	0,04	0,07	nicht erfüllt
14:31	x+15	0,06	0,07	0,29	0,05	0,08	nicht erfüllt
14:33	x+17	0,07	0,08	0,14	0,06	0,09	nicht erfüllt
14:35	x+19	0,08	0,09	0,12	0,06	0,10	nicht erfüllt
14:37	x+21	0,09	0,10	0,16	0,07	0,12	nicht erfüllt
14:39	x+23	0,1	<b>0,12</b>	0,31	0,09	0,16	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 22.02.2016

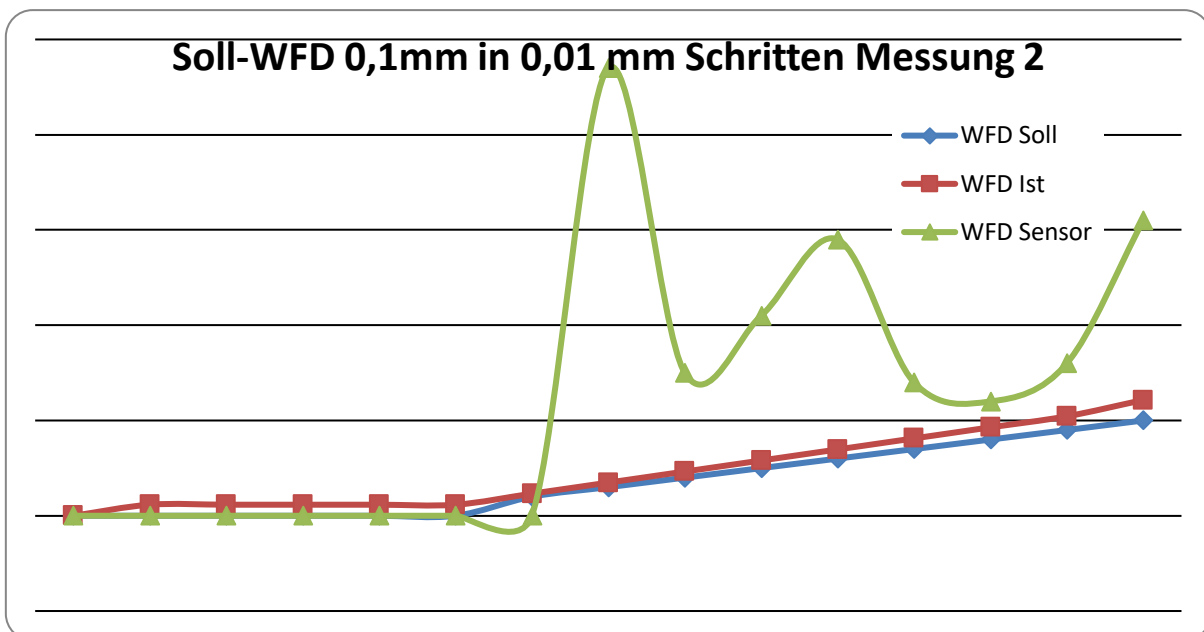


Diagramm: Messwerte Messung 2 am 22.02.2016

### 2.3.2.10 WFD bis 0,3 mm in 0,02 Schritten bei +5°C Messung 1

am 23.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- Kein „Reset“ an der RoSA, Anlage lief über die ganze Nacht
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +6°C bei 79% Luftfeuchtigkeit

Zur Anzeige des Übergangs vom Zustand „trocken“ nach „feucht“ wurde bei dieser Messung zuerst der Wert für eine Wasserfilmdicke von 0,02mm aufgetragen. Im Anschluss folgte durch mehrfaches auftragen eine Erhöhung der Wasserfilmdicke, bis dass die geforderte Menge von 0,12mm erreicht wurde. Da dieser Vorgang einige Zeit benötigt, besteht zwischen der Messminute 0 und X ein größerer zeitlicher Abschnitt.

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Sensor [mm]	untere Toleranzgrenze [-30%]	obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung: WFD
09:42	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
09:44	x	0,02	0,02	0,00	0,02	0,03	nicht erfüllt
09:52	x	0,12	<b>0,13</b>	0,14	0,09	0,17	erfüllt
09:54	x+2	0,14	0,15	0,30	0,11	0,20	nicht erfüllt
09:56	x+4	0,16	0,18	0,23	0,12	0,23	nicht erfüllt
09:58	x+6	0,18	0,20	0,12	0,14	0,26	nicht erfüllt
10:00	x+8	0,20	<b>0,22</b>	0,39	0,15	0,28	nicht erfüllt
10:02	x+10	0,22	0,26	0,40	0,18	0,34	nicht erfüllt
10:04	x+12	0,24	0,28	0,58	0,19	0,36	nicht erfüllt
10:06	x+14	0,26	<b>0,29</b>	0,19	0,20	0,38	nicht erfüllt
10:09	x+16	0,26	<b>0,29</b>	0,20	0,20	0,38	nicht erfüllt
10:10	x+17	0,26	<b>0,29</b>	0,20	0,20	0,38	nicht erfüllt
10:11	x+18	0,26	<b>0,29</b>	0,19	0,20	0,38	nicht erfüllt
10:12	x+19	0,26	<b>0,29</b>	0,18	0,20	0,38	nicht erfüllt
10:13	x+20	0,26	<b>0,29</b>	0,19	0,20	0,38	nicht erfüllt
10:14	x+24	0,28	0,30	0,19	0,21	0,39	nicht erfüllt
10:16	x+26	0,30	<b>0,32</b>	0,29	0,22	0,41	erfüllt
10:23	x+33	0,30	<b>0,31</b>	0,25	0,22	0,41	erfüllt
10:26	x+36	0,30	0,31	0,23	0,22	0,41	erfüllt
10:31	x+41	0,30	0,31	0,19	0,22	0,41	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 23.02.2016

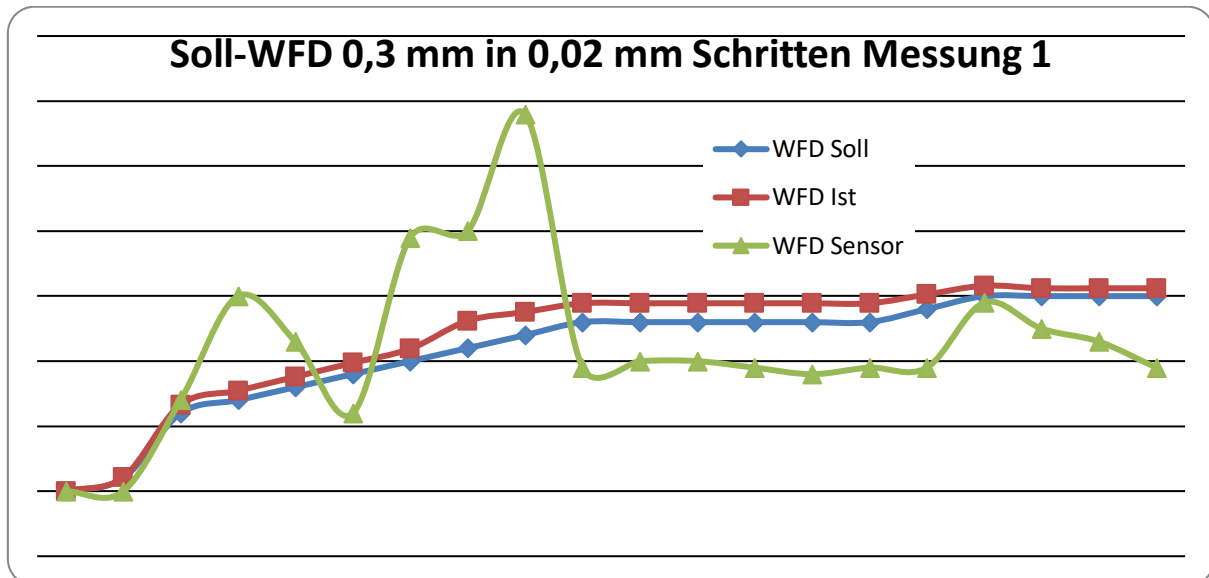


Diagramm: Messwerte Messung 1 am 23.02.2016



Bild: DRS511 vom 23.02.2016 mit WFD von 0,3 mm

### 2.3.2.11 WFD bis 0,26 mm in 0,02 Schritten bei +5°C Messung 2

am 23.02.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 10:37 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Anzeige Zustand „trocken“ ab 10:36 Uhr
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: Regenwasser; Klimakammer +6°C bei 79% Luftfeuchtigkeit

Zur Anzeige des Übergangs vom Zustand „trocken“ nach „feucht“ wurde bei dieser Messung zuerst der Wert für eine Wasserfilmdicke von 0,02mm aufgetragen. Im Anschluss folgte durch mehrfaches auftragen eine Erhöhung der Wasserfilmdicke, bis dass die geforderte Menge von

0,12mm erreicht wurde. Da dieser Vorgang einige Zeit benötigt, besteht zwischen der Messminute 0 und X ein größerer zeitlicher Abschnitt.

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Sensor [mm]	untere Toleranzgrenze [-30%]	obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung: WFD
10:53	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
10:56	x	0,02	0,02	0,00	0,01	0,02	nicht erfüllt
11:01	x	0,12	<b>0,14</b>	0,14	0,10	0,18	erfüllt
11:04	x+3	0,14	0,16	0,30	0,11	0,20	nicht erfüllt
11:06	x+5	0,16	0,18	0,23	0,12	0,23	nicht erfüllt
11:08	x+7	0,18	0,19	0,12	0,14	0,25	nicht erfüllt
11:10	x+9	0,20	<b>0,21</b>	0,39	0,15	0,27	nicht erfüllt
11:12	x+11	0,22	0,23	0,40	0,16	0,30	nicht erfüllt
11:14	x+13	0,24	0,25	0,58	0,17	0,32	nicht erfüllt
11:16	x+15	0,26	<b>0,27</b>	0,19	0,19	0,35	erfüllt
13:57	x+161	0,26	<b>0,21</b>	0,20	0,15	0,27	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 23.02.2016

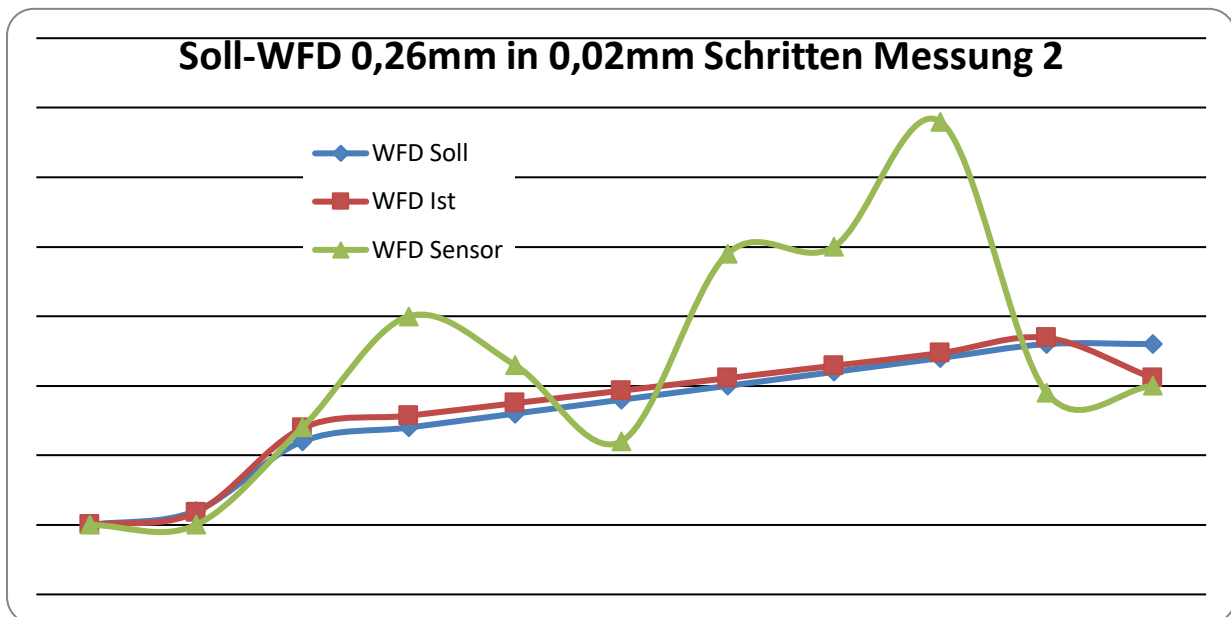


Diagramm: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 23.02.2016



Bild: DRS511 vom 23.02.2016 mit WFD von 0,26mm

### 2.3.2.12 WFD bis 0,1 mm bei GT -3° C Messung 1

am 16.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 09:39 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Anzeige Zustand „trocken“ ab 09:40 Uhr
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl; Klimakammer -1,4 °C bei 55% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Mi-nute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Sensor [mm]	untere Toleranz-grenze [-30%]	obere To-leranz-grenze [+30%]	Bewertung: WFD
09:59	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
10:01	x	0,10	<b>0,10</b>	0,00	0,07	0,13	nicht erfüllt
10:03	x+2	0,10	<b>0,10</b>	0,12	0,07	0,13	erfüllt
10:05	x+4	0,10	<b>0,10</b>	0,12	0,07	0,12	erfüllt
10:07	x+6	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,07	0,12	erfüllt
10:09	x+8	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,07	0,12	erfüllt
10:10	x+9	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,07	0,12	erfüllt
10:11	x+10	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,07	0,12	erfüllt
10:31	x+30	0,10	<b>0,09</b>	0,13	0,06	0,11	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 16.03.2016

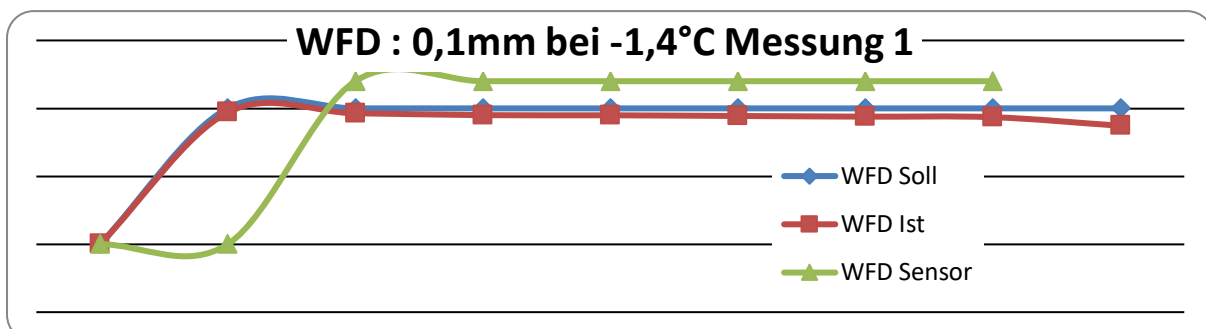


Diagramm: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 16.03.2016

### 2.3.2.13 WFD bis 0,1 mm bei Prüfung der GT -3° C Messung 2

am 16.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- **Kein** RoSA-Reset
- Anzeige Zustand „trocken“ ab 10:50 Uhr
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl; Klimakammer -1,7 °C bei 55% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Mi-nute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Sensor [mm]	untere To-leranz-grenze [-30%]	obere To-leranz-grenze [+30%]	Bewertung: WFD
10:58	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
11:02	x	0,10	<b>0,10</b>	0,15	0,07	0,12	nicht erfüllt
11:03	x+1	0,10	<b>0,10</b>	0,14	0,07	0,12	nicht erfüllt
11:04	x+2	0,10	<b>0,10</b>	0,14	0,07	0,12	nicht erfüllt
11:05	x+3	0,10	<b>0,09</b>	0,14	0,07	0,12	nicht erfüllt
11:06	x+4	0,10	<b>0,09</b>	0,14	0,07	0,12	nicht erfüllt
11:07	x+5	0,10	<b>0,09</b>	0,14	0,07	0,12	nicht erfüllt
11:08	x+6	0,10	<b>0,09</b>	0,14	0,07	0,12	nicht erfüllt
11:27	x+25	0,10	<b>0,09</b>	0,13	0,06	0,11	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 16.03.2016

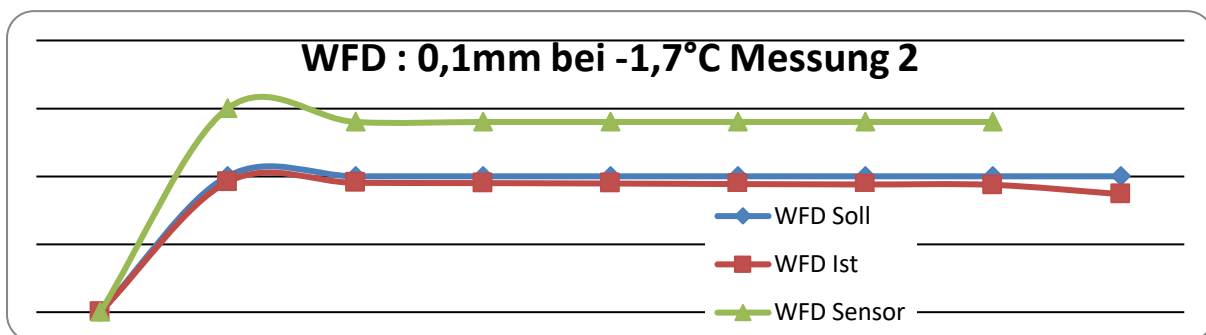


Diagramm: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 16.03.2016

### 2.3.2.14 WFD bis 0,1 mm bei GT -3° C Messung 2

am 16.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 14:40 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Anzeige Zustand „trocken“ ab 14:42 Uhr
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl; Klimakammer -1,3 °C bei 54% Luftfeuchtigkeit



Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Sensor [mm]	untere Toleranzgrenze [-30%]	obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung: WFD
14:45	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
14:53	x	0,10	<b>0,10</b>	0,19	0,07	0,12	nicht erfüllt
14:54	x+1	0,10	<b>0,10</b>	0,14	0,07	0,12	nicht erfüllt
14:55	x+2	0,10	<b>0,10</b>	0,12	0,07	0,12	erfüllt
14:56	x+3	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,07	0,12	erfüllt
14:57	x+4	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,07	0,12	erfüllt
14:58	x+5	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,07	0,12	erfüllt
14:59	x+6	0,10	<b>0,09</b>	0,11	0,07	0,12	erfüllt
15:25	x+32	0,10	<b>0,09</b>	0,11	0,06	0,11	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 16.03.2016

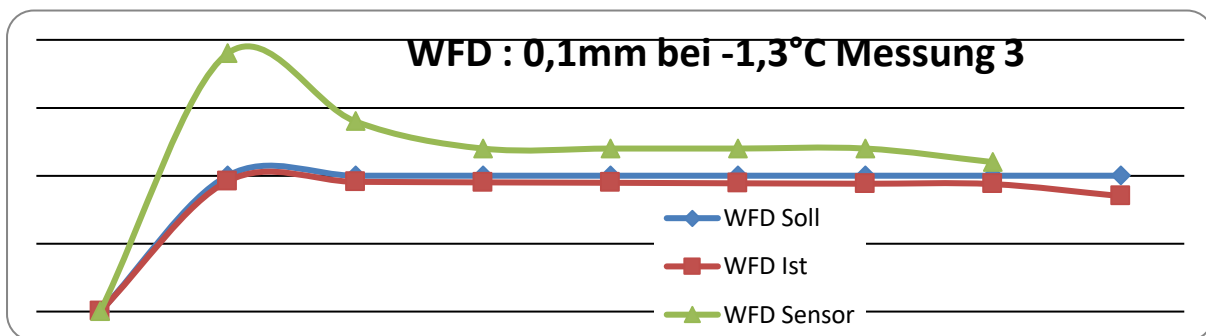


Diagramm: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 16.03.2016

### 2.3.2.15 WFD bis 0,2 mm bei GT -3° C Messung 1

am 17.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 13:20 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Anzeige Zustand „trocken“ ab 13:24 Uhr
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl; Klimakammer -0,66 °C bei 56 % Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Mi- nute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Sensor [mm]	untere To- leranz- grenze [-30%]	obere To- leranz- grenze [+30%]	Bewertung: WFD
13:24	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
13:30	x	0,20	<b>0,20</b>	0,23	0,14	0,27	erfüllt
13:31	x+1	0,20	<b>0,20</b>	0,13	0,14	0,27	nicht erfüllt
13:32	x+2	0,20	<b>0,20</b>	0,12	0,14	0,26	nicht erfüllt
13:33	x+3	0,20	<b>0,20</b>	0,12	0,14	0,26	nicht erfüllt
13:34	x+4	0,20	<b>0,20</b>	0,12	0,14	0,26	nicht erfüllt
13:35	x+5	0,20	<b>0,20</b>	0,12	0,14	0,26	nicht erfüllt
13:36	x+6	0,20	<b>0,20</b>	0,12	0,14	0,26	nicht erfüllt
14:00	x+30	0,20	<b>0,19</b>	0,11	0,14	0,25	nicht erfüllt
14:02	Stab	0,20	0,19	0,11	0,14	0,25	nicht erfüllt
14:12	Stab +10	0,20	0,19	0,24	0,14	0,25	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 17.03.2016

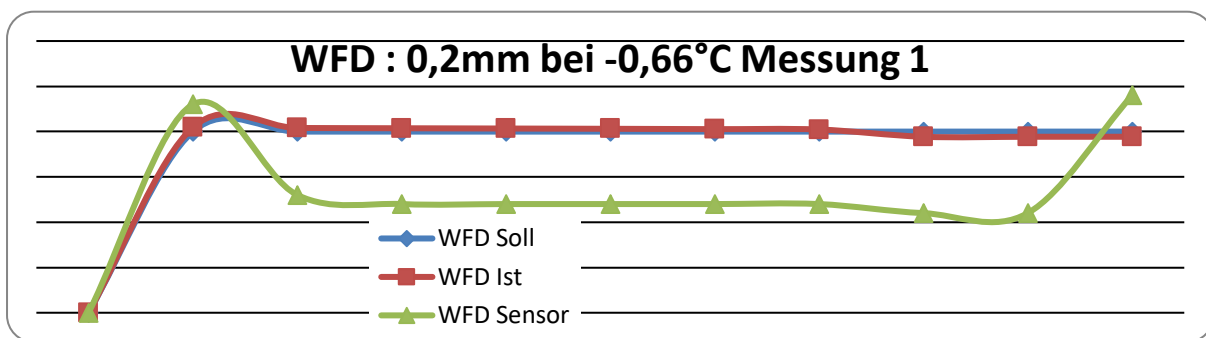


Diagramm: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 17.03.2016

### 2.3.2.16 WFD bis 0,2 mm bei GT -12 °C Messung 1

am 17.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 14:18 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Anzeige Zustand „trocken“ ab 14:20 Uhr
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl; Klimakammer -1,02 °C bei 55 % Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Mi- minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Sensor [mm]	untere To- leranz- grenze [-30%]	obere To- leranz- grenze [+30%]	Bewertung: WFD
14:59	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	erfüllt
15:05	x	0,20	<b>0,19</b>	0,11	0,13	0,25	nicht erfüllt
15:06	x+1	0,20	<b>0,19</b>	0,11	0,13	0,25	nicht erfüllt
15:07	x+2	0,20	<b>0,19</b>	0,11	0,13	0,25	nicht erfüllt
15:08	x+3	0,20	<b>0,19</b>	0,11	0,13	0,25	nicht erfüllt
15:09	x+4	0,20	<b>0,19</b>	0,11	0,13	0,25	nicht erfüllt
15:10	x+5	0,20	<b>0,19</b>	0,11	0,13	0,25	nicht erfüllt
15:11	x+6	0,20	<b>0,19</b>	0,11	0,13	0,25	nicht erfüllt
15:25	x+30	0,20	<b>0,19</b>	0,11	0,13	0,24	nicht erfüllt
15:27	Stab	0,20	0,19	0,24	0,13	0,24	erfüllt
15:37	Stab +10	0,20	0,19	0,23	0,13	0,24	erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 17.03.2016

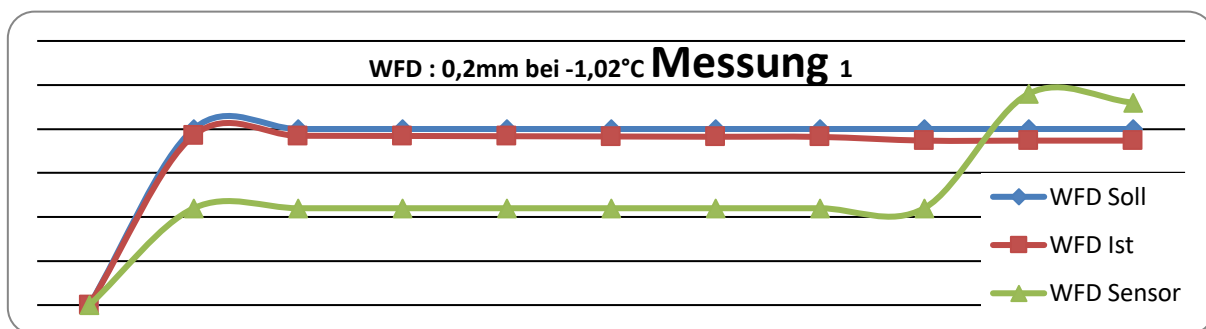


Diagramm: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 17.03.2016

### 2.3.3 Fazit: Wasserfilmdicke

Die vom Hersteller empfohlene Behandlung der Sensoroberfläche (Schleifen, Kalibrieren, und Verwendung des speziellen Tuches für die Trocknung) wurde im Vorfeld und während der Durchführung der Messungen beachtet.

Die Wasserfilmdicke wird von Sensor DRS511 nicht gemäß DIN CEN/TS 15518-4 für die Höhen von 0,2 mm und 0,5 mm auf dem Sensor angezeigt.

Durch den Einsatz eines Stabes zur gleichmäßigen Verteilung der Wasserfilmdicke konnte nur bei einer Messung eine Verbesserung des Messwertes beobachtet werden.

Bei der Verwendung von Natriumchloridlösung und Temperaturen kleiner 0°C zeigte der Sensor DRS511 nach der Reinigung und Trocknung einen Wert von 0,11mm an. Dieser blieb über einen längeren Zeitraum konstant erhalten. Erst durch ein Reset der RoSA wurde für die WFD der Wert 0,00 (trocken) angezeigt. Dies erfolgte sofort nach dem Neustart, ohne eine längere Wartezeit. Bei der Verwendung von Regenwasser und Temperaturen größer 0°C war ein Reset der RoSA nicht notwendig. Hier zeigte der Sensor noch einigen Minuten den Wert 0,00 für die WFD an.

## 2.4 Prüfung: Gefriertemperatur (GT)

### 2.4.1 Beschreibung der Durchführung

Anhand von Natriumlösung, die mittels der Sprühmaschine mit einer Filmdicke von 0,1 mm und 0,2 mm auf die Sensoroberfläche aufgetragen wird, wird die Gefriertemperatur in der Klimakammer erzeugt.

Laut DIN CEN/TS 15518-4 werden für diese Prüfung Lösungsansätze im Bereich von -1 bis -5 °C und von -10 bis -15 °C eingesetzt. Die tatsächlich aufgetragene Lösung liegt in diesen beiden Bereichen. Sie kann sich jedoch bei der jeweiligen Messung unterscheiden.

### 2.4.2 Ergebnisse der Prüfung für die Gefriertemperatur

Für die Gefriertemperatur wird der Messwert -0,0 von der RoSA angezeigt. Dieser ist in den nachfolgenden Tabellen jeweils „rot“ markiert.

#### 2.4.2.1 Gefriertemperatur -3°C bei WFD 0,1mm Messung 1

am 16.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 09:39 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Anzeige Zustand „trocken“ ab 09:40 Uhr
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl; Klimakammer -1,4 °C bei 55% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Toleranz [±30%]	WFD Sensor [mm]	GT Sensor [°C]	GT Ist [°C]	FBT Sensor [°C]	untere Toleranz-grenze [-30%]	obere Toleranz-grenze [+30%]	Bewertung: GT
09:59	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	-2,3	0	0	erfüllt
10:01	x	0,10	<b>0,10</b>	0,13	0,00	0,0	-3	-2,5	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
10:03	x+2	0,10	<b>0,10</b>	0,13	0,12	<b>-0,0</b>	-3	-2,5	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
10:05	x+4	0,10	<b>0,10</b>	0,12	0,12	<b>-0,0</b>	-3	-2,6	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
10:07	x+6	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,12	<b>-0,0</b>	-3	-2,7	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
10:09	x+8	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,12	<b>-0,0</b>	-3	-2,7	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
10:10	x+9	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,12	<b>-0,0</b>	-3	-2,8	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
10:11	x+10	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,12	<b>-0,0</b>	-3	-2,8	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
10:31	x+30	0,10	<b>0,09</b>	0,11	0,13	<b>-0,0</b>	-3	-3	-2,1	-3,9	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 16.03.2016

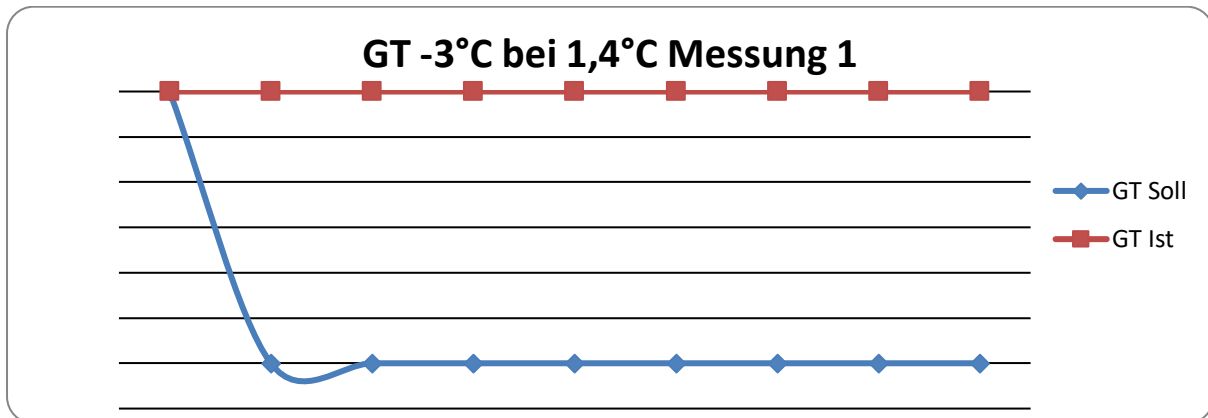


Diagramm: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 16.03.2016

### 2.4.2.2 Gefriertemperatur -3°C bei WFD 0,1mm Messung 2

am 16.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- **Kein** RoSA-Reset
- Anzeige Zustand „trocken“ ab 10:50 Uhr
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl; Klimakammer -1,7 °C bei 55% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Toleranz [±30%]	WFD Sensor [mm]	GT Sensor [°C]	GT Ist [°C]	FBT Sensor [°C]	untere Toleranzgrenze [-30%]	obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung: GT
10:58	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0	-0,5	0	0	erfüllt
11:02	x	0,10	<b>0,10</b>	0,12	0,15	<b>0,0</b>	-3	-0,1	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
11:03	x+1	0,10	<b>0,10</b>	0,12	0,14	<b>0,0</b>	-3	-0,2	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
11:04	x+2	0,10	<b>0,10</b>	0,12	0,14	<b>0,0</b>	-3	-0,3	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
11:05	x+3	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,14	<b>0,0</b>	-3	-0,4	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
11:06	x+4	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,14	<b>0,0</b>	-3	-0,5	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
11:07	x+5	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,14	<b>0,0</b>	-3	-0,6	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
11:08	x+6	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,14	<b>0,0</b>	-3	-0,7	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
11:27	x+25	0,10	<b>0,09</b>	0,11	0,13	<b>0,0</b>	-3	-1,9	-2,1	-3,9	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 16.03.2016

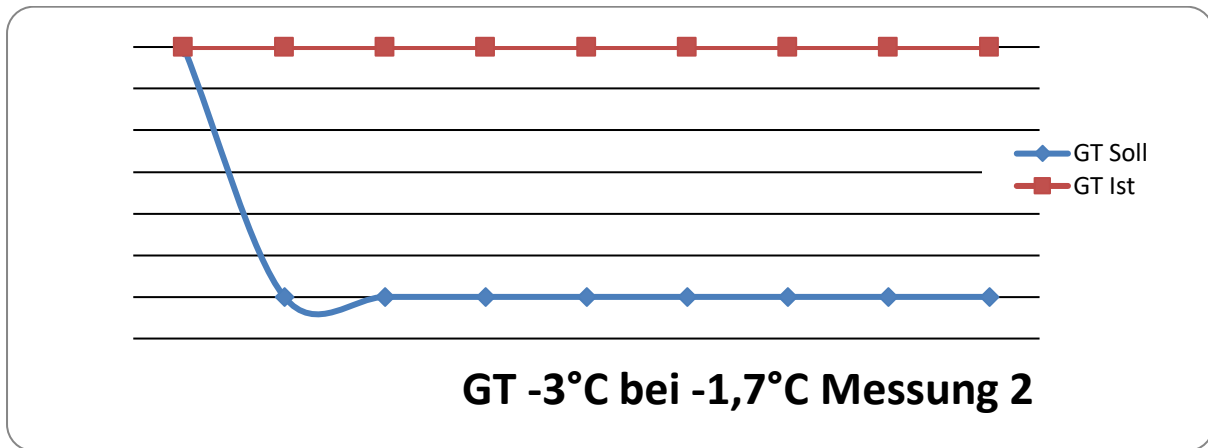


Diagramm: Messwerte mit Bewertung Messung 2 am 16.03.2016

### 2.4.2.3 Gefriertemperatur -3°C bei WFD 0,1mm Messung 3

am 16.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 14:40 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Anzeige Zustand „trocken“ ab 14:42 Uhr
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl; Klimakammer -1,3 °C bei 54% Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Toleranz [±30%]	WFD Sensor [mm]	GT Sensor [°C]	GT Ist [°C]	FBT Sensor [°C]	untere Toleranzgrenze [-30%]	obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung: GT
14:45	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	-2,3	0	0	erfüllt
14:53	x	0,10	<b>0,10</b>	0,12	0,19	0	-3	-2,3	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
14:54	x+1	0,10	<b>0,10</b>	0,12	0,14	-0,1	-3	-2,4	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
14:55	x+2	0,10	<b>0,10</b>	0,12	0,12	-0,1	-3	-2,4	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
14:56	x+3	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,12	-0,1	-3	-2,4	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
14:57	x+4	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,12	-0,1	-3	-2,5	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
14:58	x+5	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,12	0	-3	-2,5	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
14:59	x+6	0,10	<b>0,09</b>	0,12	0,11	0	-3	-2,5	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
15:25	x+32	0,10	<b>0,09</b>	0,11	0,11	0	-3	-2,8	-2,1	-3,9	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 3 am 16.03.2016

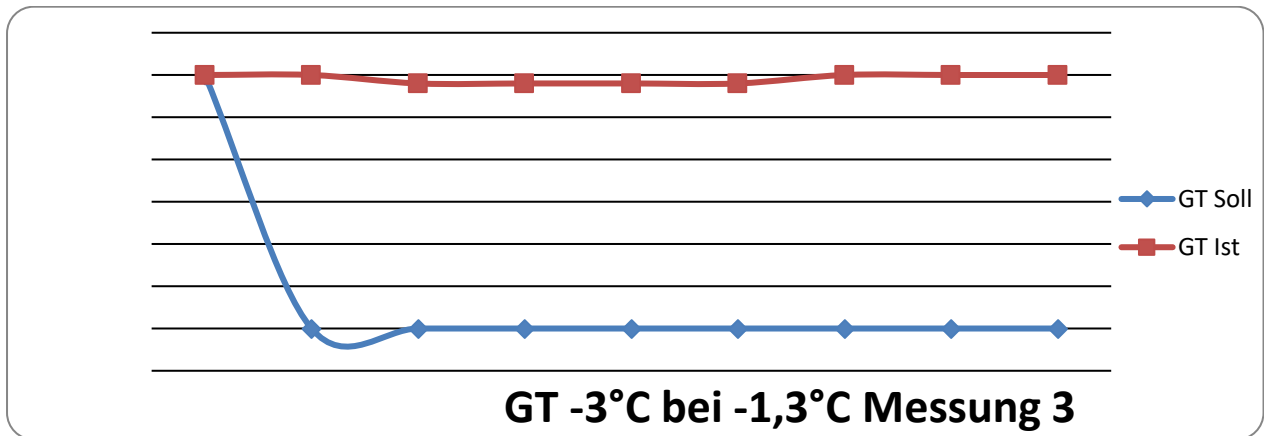


Diagramm: Messwerte mit Bewertung Messung 3 am 16.03.2016

**2.4.2.4 Gefriertemperatur -3°C bei WFD 0,2mm Messung 1**

am 17.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 13:20 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Anzeige Zustand „trocken“ ab 13:24 Uhr
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl; Klimakammer -0,66 °C bei 56 % Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Toleranz [±30%]	WFD Sensor [mm]	GT Sensor [°C]	GT Ist [°C]	FBT Sensor [°C]	untere Toleranzgrenze [-30%]	obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung: GT
13:24	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	-1,7	0	0	erfüllt
13:30	x	0,20	<b>0,20</b>	0,14	0,23	-0,1	-3	-2,3	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
13:31	x+1	0,20	<b>0,20</b>	0,14	0,13	-0,1	-3	-2,4	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
13:32	x+2	0,20	<b>0,20</b>	0,14	0,12	-0,1	-3	-2,4	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
13:33	x+3	0,20	<b>0,20</b>	0,14	0,12	-0,1	-3	-2,4	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
13:34	x+4	0,20	<b>0,20</b>	0,14	0,12	-0,1	-3	-2,5	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
13:35	x+5	0,20	<b>0,20</b>	0,14	0,12	-0,1	-3	-2,5	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
13:36	x+6	0,20	<b>0,20</b>	0,14	0,12	-0,1	-3	-2,5	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
14:00	x+30	0,20	<b>0,19</b>	0,25	0,11	-0,1	-3	-3,1	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
14:02	Stab	0,20	0,19	0,25	0,11	-6,6	-3	-2,9	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
14:12	Stab +10	0,20	0,19	0,25	0,24	-20,9	-3	-2,7	-2,1	-3,9	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 17.03.2016

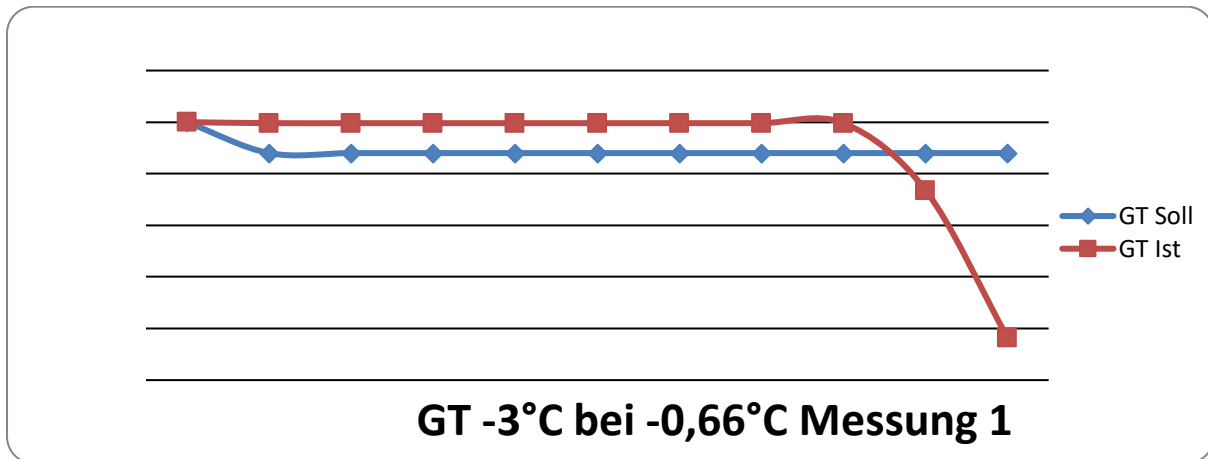


Diagramm: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 17.03.2016

**2.4.2.5 Gefriertemperatur -12°C bei WFD 0,2mm Messung 1**

am 17.03.2016 mit folgenden Randbedingungen:

- RoSA-Reset um 14:18 Uhr im Anschluss wurde der Befehl „Fast“ eingegeben
- Anzeige Zustand „trocken“ ab 14:20 Uhr
- Plastikabdeckung des Sprühkastens über der Sensoroberfläche nicht vorhanden
- Medium: NaCl; Klimakammer -1,02 °C bei 55 % Luftfeuchtigkeit

Uhrzeit	Mess-Minute	WFD Soll [mm]	WFD Ist [mm]	WFD Toleranz [±30%]	WFD Sensor [mm]	GT Sensor [°C]	GT Ist [°C]	FBT Sensor [°C]	untere Toleranzgrenze [-30%]	obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung: GT
14:59	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	-1,9	0	0	erfüllt
15:05	x	0,20	<b>0,19</b>	0,25	0,11	-3	-12	-2,2	-8,4	-15,6	nicht erfüllt
15:06	x+1	0,20	<b>0,19</b>	0,25	0,11	-2,4	-12	-2,3	-8,4	-15,6	nicht erfüllt
15:07	x+2	0,20	<b>0,19</b>	0,25	0,11	-2,3	-12	-2,3	-8,4	-15,6	nicht erfüllt
15:08	x+3	0,20	<b>0,19</b>	0,25	0,11	-2,2	-12	-2,3	-8,4	-15,6	nicht erfüllt
15:09	x+4	0,20	<b>0,19</b>	0,25	0,11	-2,2	-12	-2,3	-8,4	-15,6	nicht erfüllt
15:10	x+5	0,20	<b>0,19</b>	0,25	0,11	-2,2	-12	-2,3	-8,4	-15,6	nicht erfüllt
15:11	x+6	0,20	<b>0,19</b>	0,25	0,11	-2,2	-12	-2,3	-8,4	-15,6	nicht erfüllt
15:25	x+30	0,20	<b>0,19</b>	0,24	0,11	-2,1	-12	-2,7	-8,4	-15,6	nicht erfüllt
15:27	Stab	0,20	0,19	0,24	0,24	-21,1	-12	-2,7	-8,4	-15,6	nicht erfüllt
15:37	Stab +10	0,20	0,19	0,24	0,23	-21,1	-12	-2,7	-8,4	-15,6	nicht erfüllt

Tabelle: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 17.03.2016



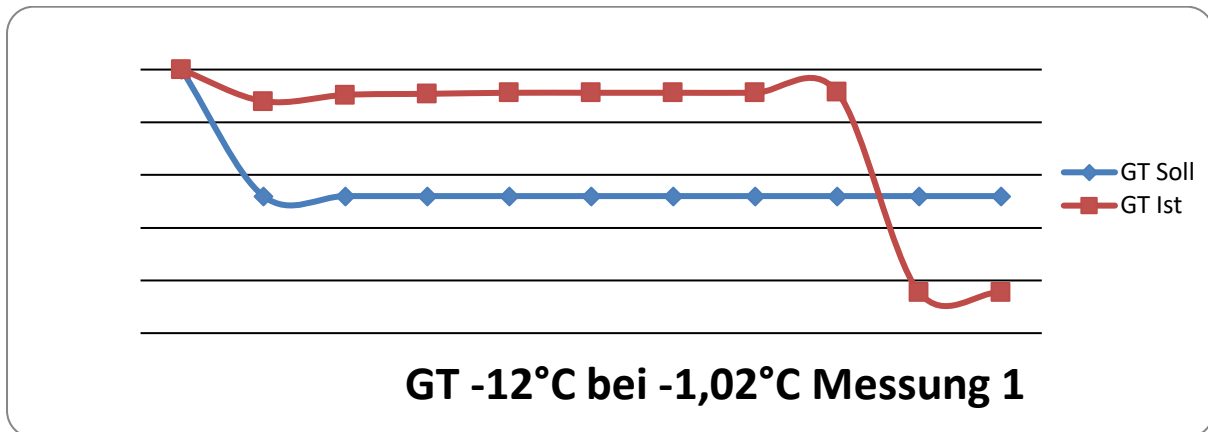


Diagramm: Messwerte mit Bewertung Messung 1 am 17.03.2016

### 2.4.3 Fazit: Gefriertemperatur

Unabhängig von der aufgetragenen Wasserfilmdicke (0,1mm und 0,2mm) konvergierte der vom DRS511 ermittelte Wert für die Gefriertemperatur nicht mit der Vorgabe durch die Natriumchloridlösung. Dieser Zustand wurde über einen längeren Zeitraum beobachtet.

Durch den Einsatz eines Stabes zur gleichmäßigen Verteilung der Lösung auf der Sensoroberfläche, änderte sich die Gefriertemperatur in einen extremen niedrigen Wert  $< -20\text{ °C}$ . Eine Abhängigkeit zur aufgetragenen Ausgangslösung von  $-3\text{ °C}$  und  $-12\text{ °C}$  konnte in keinem Fall festgestellt werden.

Vom DRS511 werden als Messwert 0,0 und -0,0 angezeigt. Eine Antwort bezüglich des Unterschiedes dieser beiden Werte ist von seitens des Herstellers noch offen.

# Bericht über die Testmessungen von Bodensensoren

Hersteller und Lieferant:

**Vaisala GmbH**

Bezeichnung:

**DRS511**

## Zusammenstellung der Testergebnisse:

	<b>DRS511-1</b>	<b>DRS511-2</b>
<b>Fahrbahntemperatur (FBT):</b>	erfüllt	erfüllt
<b>Wasserfilmdicke (WFD):</b>	nicht erfüllt	nicht erfüllt
<b>Fahrbahnzustand (FZW):</b>	nicht erfüllt	nicht erfüllt

Die durchgeführten Tests erfolgten in Anlehnung an CEN/TS 15518-4

Dieser Bericht stellt kein Zertifikat dar!



**Bundesanstalt für Straßenwesen**

Sandra Eimermacher

Bergisch Gladbach, November 2017

## **Vorbemerkungen**

Im Rahmen des Forschungsprojektes „6514016 Neue Sensorbauarten GMA“ erfolgt vor dem Einbau der Bodensensoren DRS511-1 und DRS511-2 in die Fahrbahn des Testfeldes A4 eine Funktionskontrolle in Anlehnung an die DIN CEN/TS 15518-4 in der BASt.

Hierbei wurden die Parameter für den Fahrbahnzustand (FZW), der Wasserfilmdicke (WFD) und der Fahrbahntemperatur (FBT) anhand von Testmessungen entsprechend überprüft.

Die Gefriertemperatur (GT) konnte aufgrund der fehlenden Datenaufzeichnung im RWS (Vaisala GMA-System) nicht überprüft bzw. kontrolliert werden.

Die Beschreibung der Messungen sowie die Ergebnisse mit einer Bewertung sind in den folgenden Punkten aufgeführt.

**Dieser Bericht stellt aufgrund der teilweisen Erprobung  
von Prüfverfahren keine Zulassung oder Zertifikat dar.**

### **Mitwirkende bei den durchgeführten Testmessungen**

Herr Mück (BASt)

Herr Badelt (BASt)

Herr Dickau (Vaisala GmbH)

## Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkungen	91
3. Aufbau	93
4. Fahrbahntemperatur	94
4.1 Beschreibung der Durchführung	94
5. Fahrbahnzustand (FZW)	95
5.1 Fahrbahnzustände „trocken“ bis „nass“ ohne NS-Sensor	95
5.2 Fahrbahnzustände „trocken“ bis „nass“ mit NS-Sensor	96
6. Wasserfilmdicke (WFD)	97
6.1 Beschreibung der Durchführung gemäß CEN/TS 15518-4	97
6.2 WFD ohne NS-Sensor	97
6.3 WFD mit NS-Sensor	98

### 3. Aufbau

Die Testmessungen wurden für die Fahrbahntemperatur (FBT) im Wasserbad und für die Wasserfilmdicke (WFD) und den Fahrbahnzustand (FZW) in der BAST-Klimakammer unter dem Sprühkasten mit folgendem Aufbau (siehe Abb. 1) durchgeführt. Hierbei befinden sich neben der Referenzplatte die beiden Bodensensoren DRS511 unter dem Spritzkasten. Temporär wurde der Niederschlagssensor DRD11A für Messungen deaktiviert.

Die Anordnung des Aufbaues unter dem Spritzkasten wurde so gewählt, dass Messungen für beide Bodensensoren parallel durchführen werden konnten, ohne eine gegenseitige Beeinflussung.

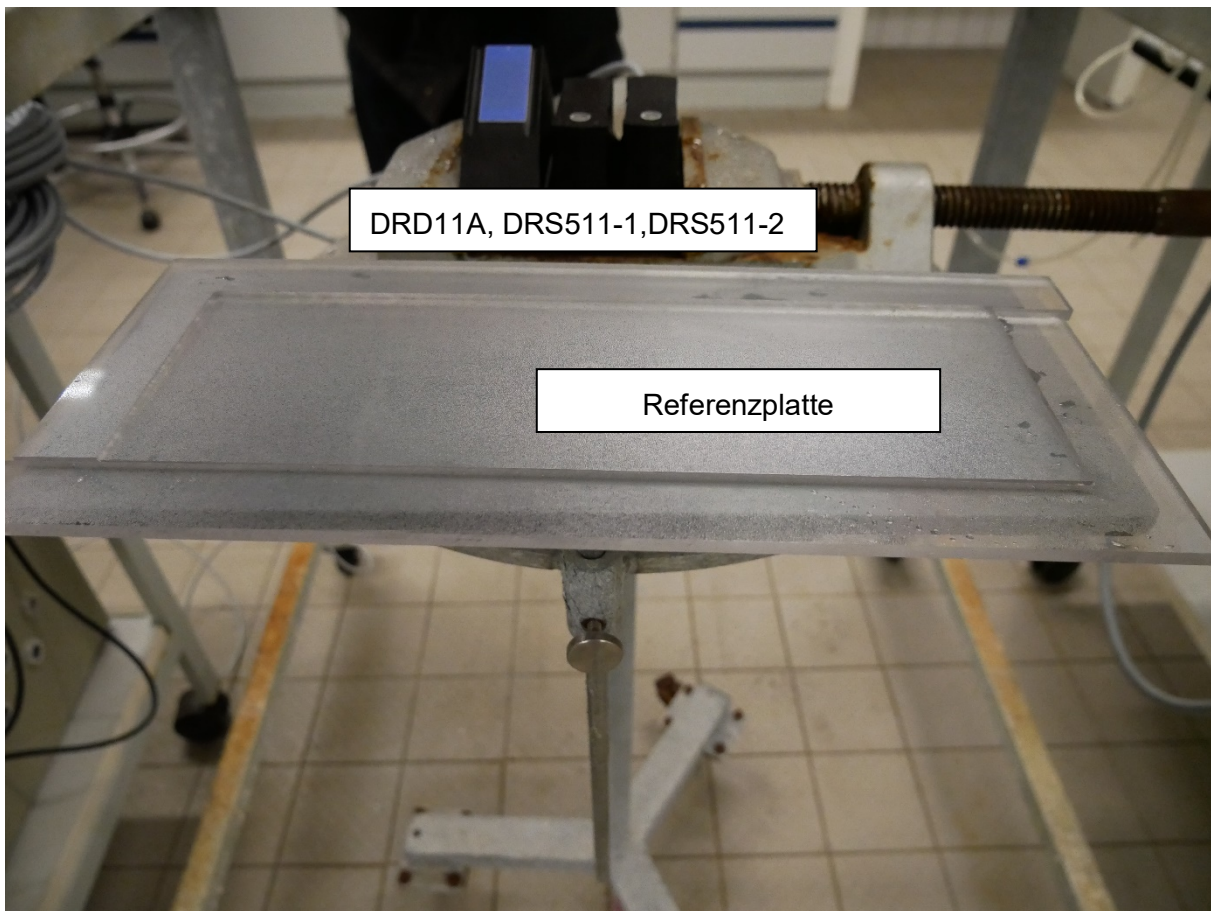


Abb. 1: Testaufbau unter dem Sprühkasten mit NS-Sensor

## 4. Fahrbahntemperatur (FBT)

### 4.1 Beschreibung der Durchführung

Die Kontrolle der Fahrbahntemperatur (FBT) erfolgt mittels eines Wasserbades. In diesem werden die beiden Sensoren eingetaucht und verbleiben dort, ohne eine Berührung untereinander bzw. mit Umrandung des Wasserbades.

Die Referenztemperatur des Wasserbades wurde durch ein PT100 Sensor ermittelt.

Zeit (MEZ)	DRS511-1 FT	DRS511-2 FT	Referenz [°C]	untere Toleranz [-0,2 °C]	obere Toleranz [+0,2 °C]	Bewertung DRS511-1	Bewertung DRS511-2
15:44	24,7	24,9	24,8	24,6	25,0	erfüllt	erfüllt
15:45	24,8	25,0	24,8	24,6	25,0	erfüllt	erfüllt
15:46	24,8	25,0	24,8	24,6	25,0	erfüllt	erfüllt
15:47	24,9	25,0	24,8	24,6	25,0	erfüllt	erfüllt
15:48	24,9	25,0	24,8	24,6	25,0	erfüllt	erfüllt
15:49	24,9	25,0	24,8	24,6	25,0	erfüllt	erfüllt
15:50	24,8	24,9	24,8	24,6	25,0	erfüllt	erfüllt
15:51	24,8	24,9	24,8	24,6	25,0	erfüllt	erfüllt
15:52	24,8	24,9	24,8	24,6	25,0	erfüllt	erfüllt
15:53	24,8	24,9	24,8	24,6	25,0	erfüllt	erfüllt
15:54	24,8	24,9	24,8	24,6	25,0	erfüllt	erfüllt

Tabelle 1: RWS Daten FBT-TLS49 mit Bewertung

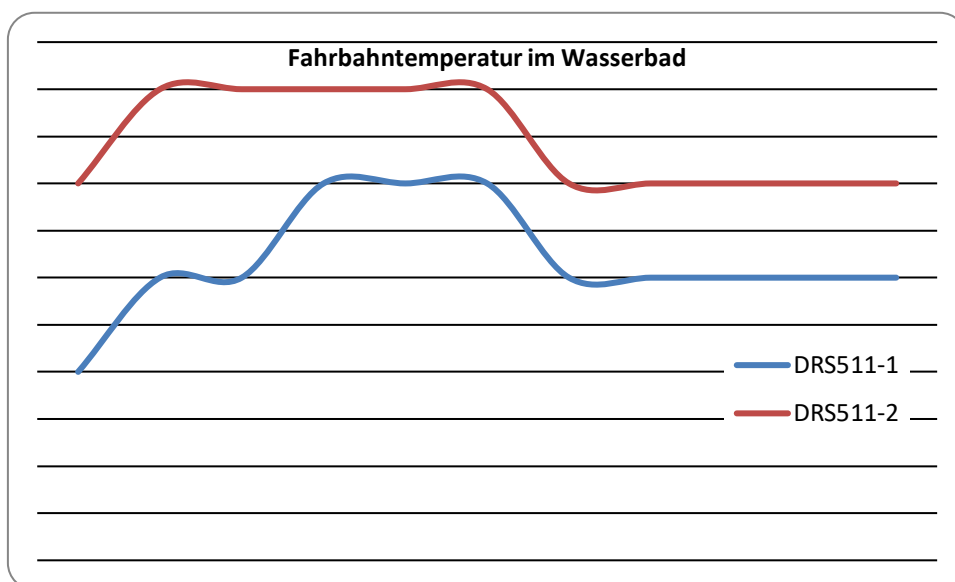


Diagramm 1: Verlauf FBT im Wasserbad laut TLS49

## 5. Fahrbahnzustand (FZW)

Der Zustand der Fahrbahnoberfläche wird nach DIN EN 15518 (FZW) für den Winterdienst bewertet. Entsprechend der aufgetragenen Wasserfilmdicke (Spalte „IST-FZW“) erfolgt die Zuordnung der Fahrbahnzustände von „trocken“ bis „nass“.

### 5.1 Fahrbahnzustände „trocken“ bis „nass“ ohne NS-Sensor

Uhrzeit	Minute	IST-FZW	DRS511-1 FZW	DRS511-2 FZW	FZW Soll	Bewertung DRS511-1	Bewertung DRS511-2
11:19	0	0	0	0	0	erfüllt	erfüllt
11:23	4	0,011	0	0	16	nicht erfüllt	nicht erfüllt
11:26	7	0,008	0	0	32	nicht erfüllt	nicht erfüllt
11:28	9	0,017	16	16	16	erfüllt	erfüllt
11:36	17	0,020	16	16	16	erfüllt	erfüllt
11:39	20	0,028	16	16	16	erfüllt	erfüllt
11:41	22	0,040	16	16	16	erfüllt	erfüllt
11:43	24	0,052	16	0	16	erfüllt	nicht erfüllt
11:50	31	0,215	16	16	32	nicht erfüllt	nicht erfüllt

Tabelle 2: RWS-Daten FZW ohne NS-Sensor mit Bewertung

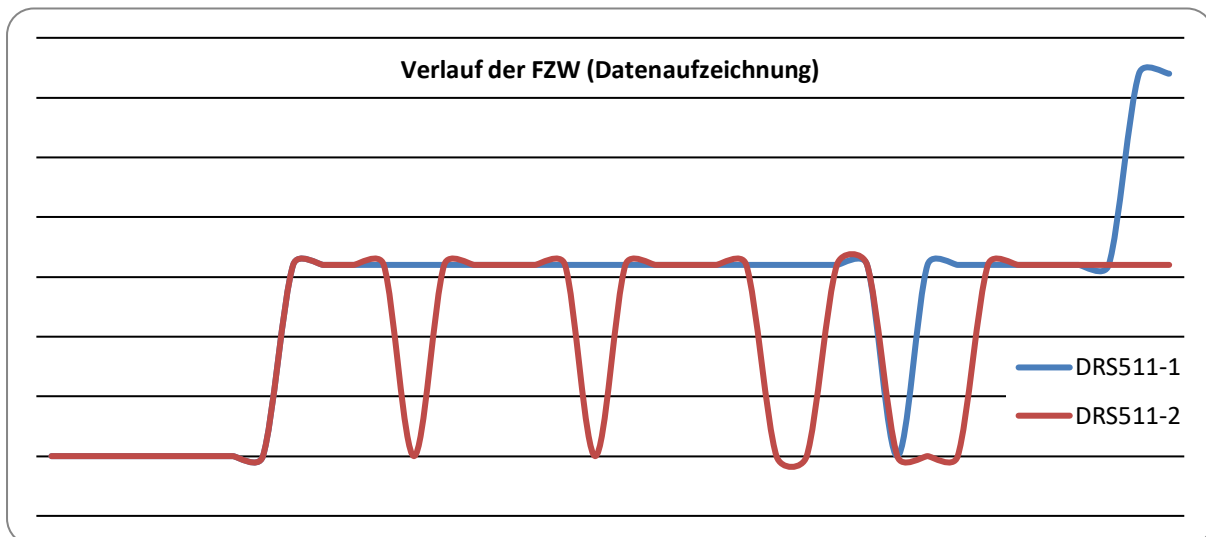


Diagramm 2: Verlauf FZW ohne NS-Sensor laut TLS79

## 5.2 Fahrbahnzustände „trocken“ bis „nass“ mit NS-Sensor

Uhrzeit	Minute	IST-WFD	DRS511-1 FZW	DRS511-2 FZW	FZW Soll	Bewertung DRS511-1	Bewertung DRS511-2
13:13	0	0	0	0	0	erfüllt	erfüllt
13:14	1	0,012	0	0	16	nicht erfüllt	nicht erfüllt
13:16	3	0,023	16	16	16	erfüllt	erfüllt
13:17	4	0,034	16	16	16	erfüllt	erfüllt
13:27	14	0,240	16	16	32	nicht erfüllt	nicht erfüllt
13:29	16	0,240	16	16	32	nicht erfüllt	nicht erfüllt
13:30	17	0,240	16	16	32	nicht erfüllt	nicht erfüllt
13:33	20	0,240	16	32	32	nicht erfüllt	erfüllt
13:34	24	0,240	32	32	32	erfüllt	erfüllt

Tabelle 3: RWS-Daten FZW mit NS-Sensor mit Bewertung

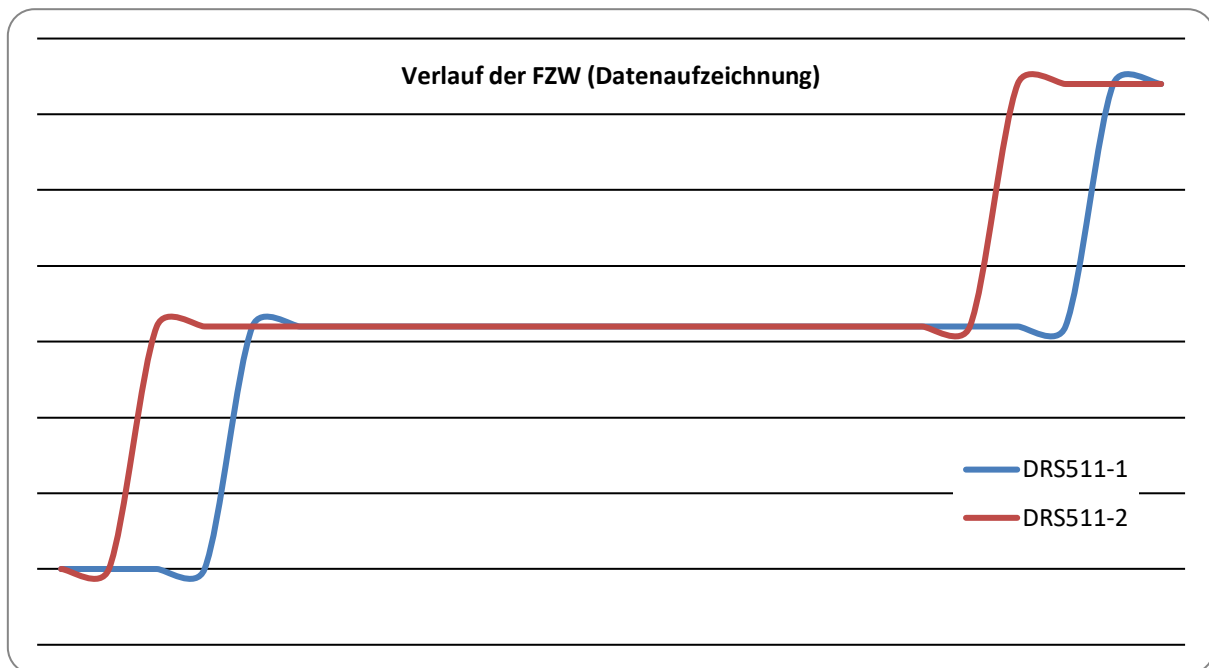


Diagramm 3: Verlauf FZW mit NS-Sensor laut TLS79



## 6. Wasserfilmdicke (WFD)

### 6.1 Beschreibung der Durchführung gemäß CEN/TS 15518-4

Für die Prüfung der Wasserfilmdicke wurden Wasserfilme bis 0,24 mm mit dem maschinell geführten Sprühventil (Spritzkasten) auf die Sensoroberflächen aufgetragen.

Beim Aufsprühen ergab sich die Referenzmessung anhand der aufgefängenen Wassermenge auf der Referenzplatte neben dem Sensor.

### 6.2 WFD ohne NS-Sensor

am 20.11.2017 mit folgenden Randbedingungen:

- Medium: Regenwasser; Klimakammer +8,4°C bei 38% Luftfeuchtigkeit
- WFD: Aufgetragen von 0 bis 0,2mm

Uhrzeit	Minute	IST-Wert	DRS511-1	DRS511-2	untere Toleranz [-30%]	obere Toleranz [+30%]	Bewertung DRS511-1	Bewertung DRS511-2
11:19	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	erfüllt	erfüllt
11:23	4	0,011	0,000		0,008	0,014	nicht erfüllt	nicht erfüllt
11:26	7	0,008	0,110	0,010	0,006	0,010	nicht erfüllt	erfüllt
11:28	9	0,017	0,000	0,010	0,012	0,021	nicht erfüllt	nicht erfüllt
11:36	17	0,020			0,014	0,026	nicht erfüllt	nicht erfüllt
11:39	20	0,028	0,010	0,010	0,020	0,036	nicht erfüllt	nicht erfüllt
11:41	22	0,040	0,010	0,000	0,028	0,052	nicht erfüllt	nicht erfüllt
11:43	24	0,052	0,010	0,010	0,036	0,068	nicht erfüllt	nicht erfüllt
11:50	31	0,215			0,151	0,280	nicht erfüllt	nicht erfüllt
11:51	32	0,215			0,151	0,280	nicht erfüllt	nicht erfüllt
11:52	33	0,215			0,151	0,280	nicht erfüllt	nicht erfüllt
11:53	34	0,215			0,151	0,280	nicht erfüllt	nicht erfüllt
11:56	37	0,215	0,210	0,190	0,151	0,280	erfüllt	erfüllt

Tabelle 4: RWS-Daten WFD mit abgelesenen Werten

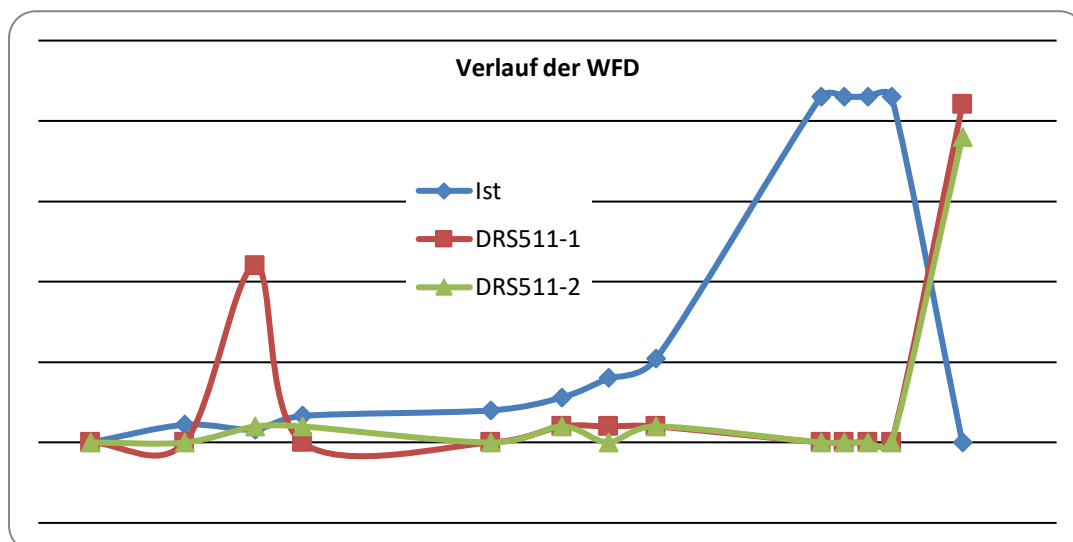


Diagramm 4: Verlauf WFD anhand abgelesener Werte

Verlauf der Messwerte anhand der Datenaufzeichnung wird im Diagramm 5 dargestellt.

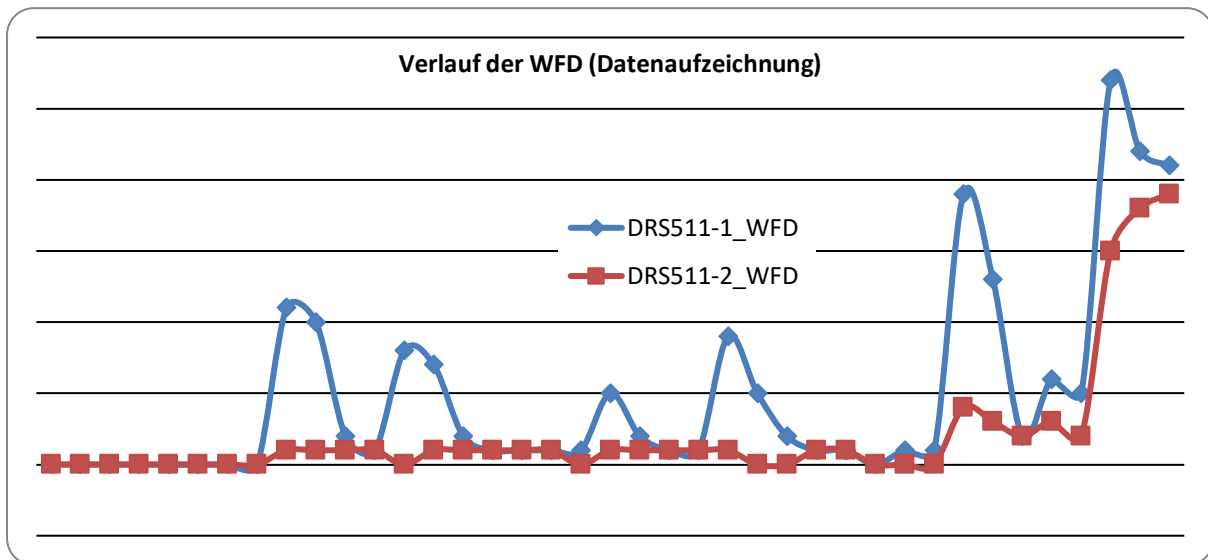


Diagramm 5: Verlauf WFD ohne NS-Sensor laut TLS72

### 6.3 WFD mit NS-Sensor

am 20.11.2017 mit folgenden Randbedingungen:

- Medium: Regenwasser; Klimakammer +4,6°C bei 45% Luftfeuchtigkeit
- WFD: Aufgetragen von 0 bis 0,24mm

Uhrzeit	Mi- nute	IST- Werte	DRS511-1	DRS511-2	untere Tole- ranz [- 30%]	obere Tole- ranz [+30%]	Bewertung DRS511-1	Bewertung DRS511-2
13:13	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	erfüllt	erfüllt
13:14	1	0,012	0,000	0,010	0,008	0,016	nicht erfüllt	erfüllt
13:16	3	0,023	0,020	0,030	0,016	0,030	erfüllt	nicht erfüllt
13:17	4	0,034	0,080	0,070	0,024	0,044	nicht erfüllt	nicht erfüllt
13:27	14	0,240	0,140	0,180	0,168	0,312	nicht erfüllt	erfüllt
13:29	16	0,240	0,140	0,180	0,168	0,312	nicht erfüllt	erfüllt
13:30	17	0,240	0,030	0,190	0,168	0,312	nicht erfüllt	erfüllt
13:33	20	0,240	0,030	0,230	0,168	0,312	nicht erfüllt	erfüllt
13:34	24	0,240	0,430	0,260	0,168	0,312	nicht erfüllt	erfüllt
13:36	26	0,240	0,440		0,168	0,312	nicht erfüllt	nicht erfüllt

Tabelle 5: RWS-Daten WFD mit NS-Sensor und Bewertung

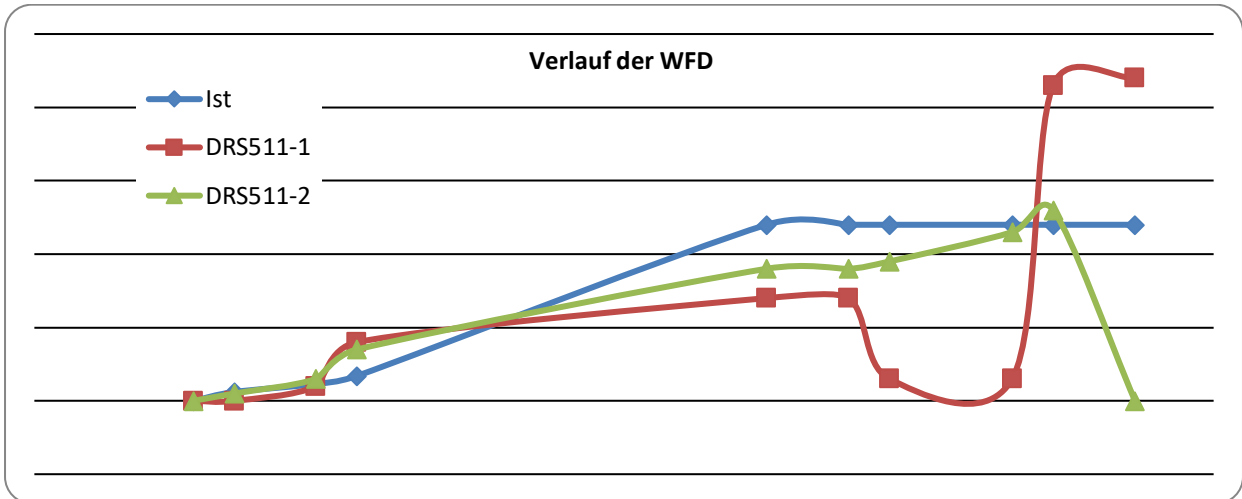


Diagramm 6: Verlauf WFD mit NS-Sensor laut TLS72

Der unterschiedliche Verlauf der Messwerte wird anhand der Datenaufzeichnung im Diagramm 7 grafisch dargestellt.

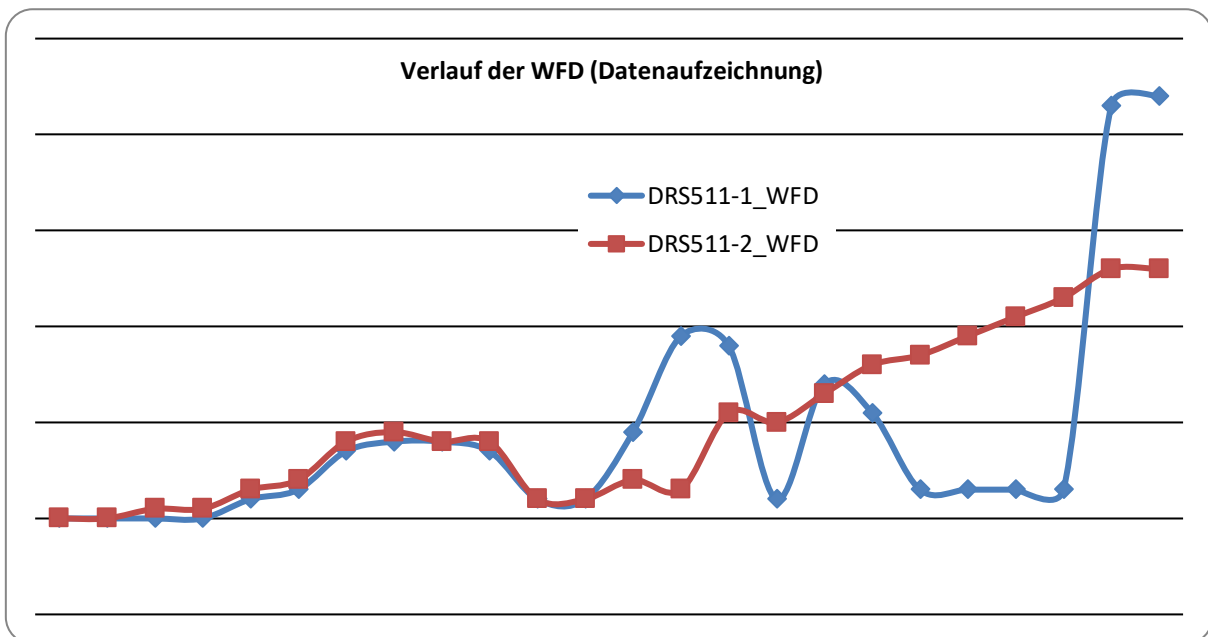


Diagramm 7: Verlauf WFD mit NS-Sensor laut TLS72

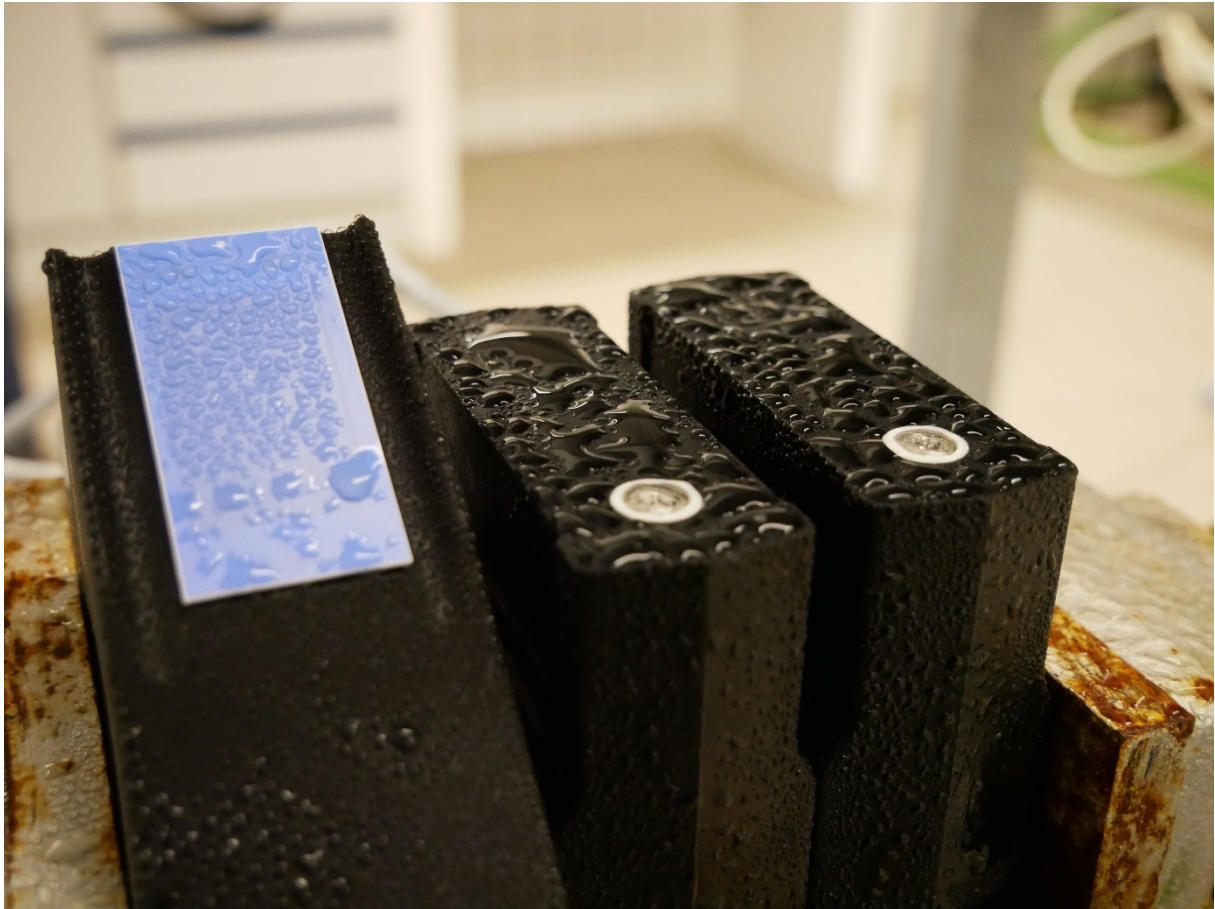


Abb. 2: DRD11A mit DRS511 Sensoren nach einem Sprühvorgang

## Prüfung des Sensorstyps IRS31pro

### 1. Vorbemerkungen

Die Prüfungen des IRS31pro fanden aufgrund zeitlicher Einschränkungen im geringeren Umfang als bei den zuvor genannten Bodensonden statt. Die nachfolgenden Ergebnisse stammen von zwei Sensoren des gleichen Typs. Die Ergebnisse aus dem Jahr 2016 erreichte der Sensor, der für die ursprüngliche Testfeldinstallation vorgesehen war. Aufgrund von Feuchtigkeitseintritt in den Sensor während der Laborprüfungen konnte er nicht im Testfeld installiert werden.

Die Messungen im Jahr 2017 fanden mit dem Sensor statt, der als Austausch zum erstinstallierten Sensor vorgesehen war. Der Sensor ist dann am 08.12.2017 im Testfeld installiert worden.

### 2. Prüfungen im Jahr 2016

#### – Untersuchung am 16.03.2016

Der Auftrag einer Natriumchlorid-Lösung erfolgte, wie in den zuvor aufgeführten Testberichten beschrieben, mit der Sprühmaschine. Die aufgetragene Lösungsmenge wurde mit der Referenzplatte ermittelt. Die Sensorwerte wurden mit dem Referenzwert verglichen und bewertet. Die Lösungskonzentration betrug 4,93 Masse-%. Diese entspricht einer Gefrieretemperatur (GT) von  $-3^{\circ}\text{C}$ . Die aufgetragene Menge entspricht einer durchschnittlichen Wasserfilmdicke (WFD) von 0,1 mm. Im weiteren Verlauf konnte auf der Referenzplatte eine geringe Verdunstung festgestellt werden, die zu einer geringen Erhöhung der Salzkonzentration geführt haben dürfte. Durch die Auftragung entsteht keine gleichmäßiger Filmbedeckung auf der Sondenoberfläche.

Uhrzeit	Mess-Minute	Ist WFD [mm]	Sensor WFD [mm]	Sensor FBT [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Sensor FBZ	Sensor FBZ [TLS Code]	Soll FBZ [TLS DE79]	Bewertung: FBZ
09:59	0	0,00	0,00	-1,3	0	trocken	trocken	erfüllt
10:01	x	<b>0,10</b>	0,00	-1,3	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
10:03	x+1	<b>0,10</b>	0,00	-1,4	0	trocken	feucht	nicht erfüllt
10:05	x+2	<b>0,10</b>	0,13	-1,5	16	feucht	feucht	erfüllt
10:07	x+3	<b>0,09</b>	0,15	-1,5	64	glatt	feucht	nicht erfüllt
10:09	x+4	<b>0,09</b>	0,16	-1,5	64	glatt	feucht	nicht erfüllt
10:10	x+5	<b>0,09</b>	0,17	-1,5	64	glatt	feucht	nicht erfüllt
10:11	x+6	<b>0,09</b>	0,16	-1,5	64	glatt	feucht	nicht erfüllt
10:31	x+30	<b>0,09</b>	0,15	-1,5	64	glatt	feucht	nicht erfüllt

Tabelle A4-1: Messwerte nach einem Salzlösungsauftrag – hier zur Bewertung der Angaben zum Fahrbahnzustandes am 16.03.2016

Tabelle A4-1 zeigt die ausgegebenen Angaben zum Fahrbahnzustand (FBZ). Die vom Sensor gemessene Fahrbahnoberflächentemperatur (FBT) beträgt  $-1,5^{\circ}\text{C}$  bei einer ähnlichen Temperatur der umgebenen Luft. Der Sollwert der Klimakammersteuerung betrug  $-1^{\circ}\text{C}$ .

Da die Gefrieretemperatur der Lösung unter der Fahrbahnoberflächentemperatur lag, kann die Lösung nicht gefrieren. Bei der aufgetragenen Wassermenge wird daher eine Fahrbahnzustandsanzeige „feucht“ erwartet.

Der Sensor zeigt nicht sofort einen „nicht trockenen“ Zustand an. Erst zwei Minuten nach dem erfolgten Auftrag wechselt er zum Zustand „feucht“. Allerdings wechselt er nach einer weiteren Minute zur Zustandsmeldung „glatt“, die er im Weiteren beibehält. Da die aufgetragene Lösung nicht gefrieren kann und auch keine Eisbildung beobachtet werden konnte, werden diese Angaben gemäß DIN EN 15518-3 als falsch gewertet.

Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Sensor WFD [mm]	Sensor GT [°C]	Soll GT Lösung [°C]	FBT Sensor [°C]	GT untere Toleranzgrenze [-30%]	GT obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung: GT
09:59	0	0,00	0,00	0,00	0	0	-1,3	0	0	erfüllt
10:01	x	0,10	<b>0,10</b>	0,00	0	-3	-1,3	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
10:03	x+1	0,10	<b>0,10</b>	0,00	0	-3	-1,4	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
10:05	x+2	0,10	<b>0,10</b>	0,13	0	-3	-1,5	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
10:07	x+3	0,10	<b>0,09</b>	0,15	0	-3	-1,5	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
10:09	x+4	0,10	<b>0,09</b>	0,16	0	-3	-1,5	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
10:10	x+5	0,10	<b>0,09</b>	0,17	0	-3	-1,5	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
10:11	x+6	0,10	<b>0,09</b>	0,16	0	-3	-1,5	-2,1	-3,9	nicht erfüllt
10:31	x+30	0,10	<b>0,09</b>	0,15	0	-3	-1,5	-2,1	-3,9	nicht erfüllt

Tabelle A4-2: Messwerte nach einem Salzlösungsauftrag – hier zur Bewertung der Angaben zur Gefriertemperatur am 16.03.2016

Die Tabelle A4-2 gibt die Werte für die Bewertung der Gefriertemperatur an. Hier ist ersichtlich, dass er die aufgetragene Natriumchlorid-Lösung nicht erkennt. Er gibt bis zur Beendigung der Aufzeichnungen nach 30 min immer nur eine Gefriertemperatur von 0°C statt der erwarteten -3°C an. Das könnte auch eine Ursache für die gleichzeitige Fahrbahnzustandsmeldung „glatt“ sein.

Uhrzeit	Mess-Minute	Soll WFD [mm]	Ist WFD [mm]	Sensor WFD [mm]	untere Toleranzgrenze [-30%]	obere Toleranzgrenze [+30%]
09:59	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10:01	x	0,10	<b>0,10</b>	0,00	0,07	0,13
10:03	x+1	0,10	<b>0,10</b>	0,00	0,07	0,13
10:05	x+2	0,10	<b>0,10</b>	0,13	0,07	0,12
10:07	x+3	0,10	<b>0,09</b>	0,15	0,07	0,12
10:09	x+4	0,10	<b>0,09</b>	0,16	0,07	0,12
10:10	x+5	0,10	<b>0,09</b>	0,17	0,07	0,12
10:11	x+6	0,10	<b>0,09</b>	0,16	0,07	0,12
10:31	x+30	0,10	<b>0,09</b>	0,15	0,06	0,11

Tabelle A4-3: Messwerte am 16.03.2016 nach einem Salzlösungsauftrag – hier zur Betrachtung der Angaben zur Wasserfilmdicke

In der Tabelle A4-3 sind zur Information die Daten zur Wasserfilmdicke dargestellt. Hier ist ersichtlich, dass der Sensor die aufgetragene Wassermenge mit einer höheren Wasserfilmdicke angibt. Auch bei diesem Parameter gibt der Sensor nicht sofort nach Auftragung einen Wasserfilm über 0 mm an. Obwohl keine Bewegung auf dem Sensor erfolgte, gibt er in den weiteren Minuten eine steigende Wasserfilmdicke an. Da es keine Anforderungen in der DIN EN 15518-3 bezüglich der Genauigkeit gibt, wird hier auf eine Bewertung verzichtet. Die angegebenen Toleranzgrenzen beziehen sich auf die Anforderungen ab 0,2 mm. Die unterschiedlichen Toleranzgrenzen bei gleichen angegebenen Ist-Werten ergeben sich durch deren gerundete Angabe.

– Untersuchung am 14.07.2016

Die Wasserfilmdicke wurde ebenfalls mit der Sprühmaschine auf die Bodensonde aufgetragen und die aufgetragene Wassermenge mit der Referenzplatte ermittelt. Als Medium kam aufgefangenes Regenwasser zum Einsatz. Die Sensorwerte wurden mit dem Referenzwert verglichen und bewertet. Tabelle A4-4 und Bild 1 enthalten die Werte für die Bewertung der Wasserfilmdicke.

Mess-Minute	Uhrzeit	Ist WFD Referenz [mm]	WFD Sensor	untere Toleranzgrenze [-30%]	obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung für WFD	Bemerkung
0	10:15	0,000	0,00	0,000	0,000	erfüllt	nur informative Bewertung, da für eine Wasserfilmdicke bis 0,2 mm keine Genauigkeitsanforderung besteht
x	10:18	0,011	0,00	0,008	0,014	nicht erfüllt	
x+1	10:19	0,011	0,00	0,008	0,014	nicht erfüllt	
x+2	10:20	0,010	0,00	0,007	0,013	nicht erfüllt	
x+3	10:21	0,010	0,00	0,007	0,013	nicht erfüllt	
x+4	10:22	0,009	0,00	0,006	0,012	nicht erfüllt	
x+5	10:23	0,021	0,01	0,015	0,027	erfüllt	
x+6	10:24	0,021	0,01	0,015	0,027	nicht erfüllt	
x+7	10:25	0,021	0,01	0,015	0,027	nicht erfüllt	
x+8	10:26	0,020	0,01	0,014	0,026	nicht erfüllt	
x+11	10:29	0,031	0,02	0,022	0,040	nicht erfüllt	
x+12	10:30	0,040	0,03	0,028	0,052	erfüllt	
x+14	10:32	0,051	0,03	0,036	0,066	nicht erfüllt	
x+15	10:33	0,059	0,04	0,041	0,077	erfüllt	
x+17	10:35	0,069	0,04	0,049	0,090	nicht erfüllt	
x+18	10:36	0,079	0,03	0,055	0,103	nicht erfüllt	
x+20	10:38	0,091	0,04	0,063	0,118	nicht erfüllt	
x+21	10:39	0,102	0,05	0,071	0,133	nicht erfüllt	
x+23	10:41	0,126	0,06	0,088	0,164	nicht erfüllt	
x+25	10:43	0,151	0,07	0,105	0,196	nicht erfüllt	
x+28	10:46	0,171	0,08	0,119	0,222	nicht erfüllt	
x+29	10:47	0,187	0,09	0,131	0,243	nicht erfüllt	
x+31	10:49	0,207	0,09	0,145	0,269	nicht erfüllt	
x+33	10:51	0,288	0,10	0,202	0,374	nicht erfüllt	
x+36	10:54	0,250	0,12	0,175	0,325	nicht erfüllt	
x+38	10:56	0,267	0,12	0,187	0,347	nicht erfüllt	
x+39	10:57	0,267	0,13	0,187	0,347	nicht erfüllt	
x+40	10:58	0,267	0,28	0,187	0,347	erfüllt	
x+41	10:59	0,267	0,27	0,187	0,347	erfüllt	
x+42	11:00	0,267	1,27	0,187	0,347	nicht erfüllt	
x+190	13:28	0,198	0,22	0,139	0,257	erfüllt	

Tabelle A4-4: Messwerte für die Wasserfilmdicke nach einem Wasserfilmauftrag am 14.07.2016

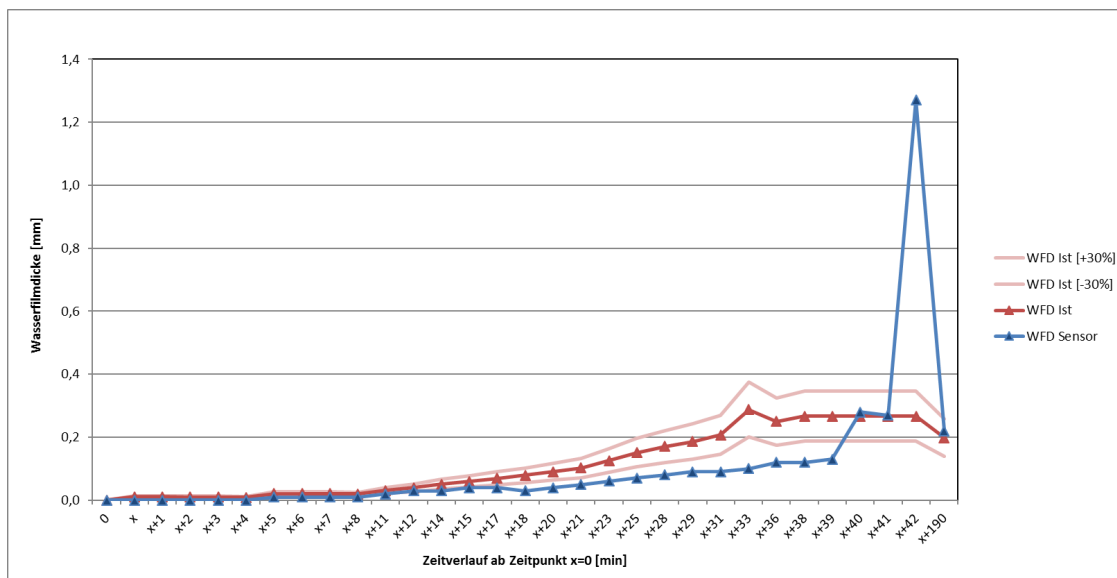


Bild A4-1: Messwerte für die Wasserfilmdicke nach einem Wasserfilmauftrag am 14.07.2016

Bei dieser Beauftragung hat der Sensor eine erste Beauftragung mit 0,01 mm Wasserfilmdicke nicht erkannt. Erst bei der zweiten gleichartigen Beauftragung gibt er eine Wasserfilmdicke über 0 mm an.

Bei weiteren Beauftragungen gibt der Sensor immer eine niedrigere Wasserfilmdicke an als aufgetragen wurde. Bei den aufgetragenen Wasserfilmdicken unter 0,2 mm ist nach der bestehenden DIN EN 15518-3 keine Genauigkeit gefordert. Deshalb sind bei diesen Wasserfilmdicken die Bewertungsangaben nur informativ nach den Anforderungen für Wasserfilmdicke ab 0,2 mm aufgeführt.

Bei den Wasserfilmdicken ab 0,2 mm zeigt der Sensor zunächst niedrigere Werte als aufgetragen an. Als Ursache für die Abweichung wird folgende Beobachtung gesehen: Bei den

Beauftragungen bildet sich auf der Sondenoberfläche kein gleichmäßiger Wasserfilm. Zunächst bilden sich kleinste gleichmäßige Tropfen. Mit zunehmender Beauftragung zieht sich das Wasser zu ungleichmäßigen Bedeckungen der Sondenoberfläche zusammen. Nach einer Umverteilung des Wassers mit einem Stab gibt er in diesem Fall die aufgetragene durchschnittliche Wasserfilmdicke mit der geforderten Genauigkeit an.

Ein Abgleich zum angezeigten Fahrbahnzustand erfolgte bei diesem Versuch nicht.

### 3. Prüfungen im Jahr 2017

Am 8. August 2017 fanden mehrere Untersuchungen zur Wasserfilmdicke statt. Bei den ersten geringen Auftragungen mit dem Sprühkasten ist auch die Anzeige des Fahrbahnzustandes erfasst worden. Als Auftragsmedium wurde Regenwasser verwendet.

Mess-Minute	Ist WFD [mm]	Sensor WFD	untere Toleranzgrenze [-30%]	obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung Wasserfilmdicke	Sensor FBZ [TLS Code]	Soll FBZ [TLS DE79]	Bewertung Fahrbahnzustand	Bemerkung
0	0,00	0	0,00	0,00	erfüllt	trocken	trocken	erfüllt	Ausgangswert
x	<b>0,0134</b>	0	0,01	0,02	nicht erfüllt	trocken	feucht	nicht erfüllt	Auftrag
x+1	<b>0,0132</b>	0	0,01	0,02	nicht erfüllt	trocken	feucht	nicht erfüllt	
x+2	<b>0,0128</b>	0	0,01	0,02	nicht erfüllt	trocken	feucht	nicht erfüllt	
x+3	<b>0,0124</b>	0	0,01	0,02	nicht erfüllt	trocken	feucht	nicht erfüllt	
x+4	<b>0,0117</b>	0	0,01	0,02	nicht erfüllt	trocken	feucht	nicht erfüllt	
x+5	<b>0,0114</b>	0	0,01	0,01	nicht erfüllt	trocken	feucht	nicht erfüllt	
x+6	<b>0,0109</b>	0	0,01	0,01	nicht erfüllt	trocken	feucht	nicht erfüllt	
x+7									neuer Auftrag
x+8	<b>0,0228</b>	0	0,02	0,03	nicht erfüllt	trocken	feucht	nicht erfüllt	
x+9	<b>0,0225</b>	0	0,02	0,03	nicht erfüllt	trocken	feucht	nicht erfüllt	
x+10	<b>0,0217</b>	0	0,02	0,03	nicht erfüllt	trocken	feucht	nicht erfüllt	
x+11									neuer Auftrag
x+12	0,0342	0	0,02	0,04	nicht erfüllt	trocken	feucht	nicht erfüllt	
x+13	0,0335	0	0,02	0,04	nicht erfüllt	trocken	feucht	nicht erfüllt	
x+14									neuer Auftrag
x+15	0,0044	0	0,00	0,01	nicht erfüllt	trocken	feucht	nicht erfüllt	
x+16	0,055	0	0,04	0,07	nicht erfüllt	trocken	feucht	nicht erfüllt	
x+17	0,055	0,01	0,04	0,07	nicht erfüllt	feucht	feucht	erfüllt	mit Stab umverteilt
x+19	0,055	0,02	0,04	0,07	nicht erfüllt	feucht	feucht	erfüllt	keine gleichmäßige Bedeckung
x+20	0,055	0,03	0,04	0,07	nicht erfüllt	feucht	feucht	erfüllt	

Tabelle A4-5: Messwerte und Bewertungen zur Wasserfilmdicke und Fahrbahnzustand bei aufgetragenen geringen Wasserfilmdicken

Die Tabelle A4-5 gibt die Auftrags- und Sensorwerte bei der Auftragung einer sehr geringen Wasserfilmdicke an. Im Abstand von sechs bis drei Minuten wurde jeweils eine Wassermenge aufgesprüht, die etwas über 0,01 mm durchschnittliche Dicke entspricht. In der Summe waren auf dem Sensor nach dem letzten Auftrag 0,055 mm. Der Sensor hat keinen Auftrag erkannt. Etwa drei Minuten nach dem Auftrag wurde die Wassermenge auf dem Sensor mit einem Stab umverteilt. Damit wurde keine gleichmäßige Bedeckung erreicht. Der Sensor erkennt allerdings ein Feuchte, die er mit einem Wechsel der Fahrbahnzustandsangabe von „trocken“ auf „feucht“ anzeigt. Die angegebene Wasserfilmdicke gibt er deutlich tiefer an, als sie aufgetragen wurde.

Mess-Minute	Ist WFD [mm]	Sensor WFD	untere Toleranzgrenze [-30%]	obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung Wasserfilmdicke	Bemerkung
0	0,00	0	0,00	0,00	erfüllt	
x	<b>0,2101</b>	0,05	0,15	0,27	nicht erfüllt	
x+1	<b>0,2092</b>	0,05	0,15	0,27	nicht erfüllt	
x+2	<b>0,2087</b>	0,05	0,15	0,27	nicht erfüllt	
x+3	<b>0,2077</b>	0,05	0,15	0,27	nicht erfüllt	
x+4	<b>0,2074</b>	0,05	0,15	0,27	nicht erfüllt	
x+5	<b>0,2069</b>	0,05	0,14	0,27	nicht erfüllt	
x+6	<b>0,2062</b>	0,06	0,14	0,27	nicht erfüllt	
x+9	<b>0,2050</b>	0,07	0,14	0,27	nicht erfüllt	Mit einem Stab umverteilt und Zugabe eines Wasserentspannungsmittels

Tabelle A4-6: Messwerte und Bewertungen zur Wasserfilmdicke und Fahrbahnzustand bei einer aufgetragenen Wasserfilmdicke von rund 0,2 mm



In einem zweiten Versuch erfolgte auf dem trockenen Sensor ein Auftragen einer Wasserfilmdicke, die nach der Definition der DIN EN 15518-3 dem Fahrbahnzustand „nass“ entspricht (Werte siehe Tabelle A4-6). Dabei hat die Sprühmaschine unmittelbar hintereinander zehnmal einem Auftrag von rund 0,02 mm aufgetragen. Danach ist mit der Referenzplatte der Gesamtwert von 0,21 mm durchschnittliche Wasserfilmdicke ermittelt worden. Der Sensor gibt fast durchgängig eine Wasserfilmdicke von 0,05 mm an. Gegen Ende der Beobachtungszeit steigt dieser Wert geringfügig. Ebenso erfolgte eine geringe Steigerung nachdem die Wassermenge mit einem Stab umverteilt wurde. Die geforderte Genauigkeit erfüllte er zu keinem Zeitpunkt.

Mess-Minute	Ist WFD [mm]	Sensor WFD	untere Toleranzgrenze [-30%]	obere Toleranzgrenze [+30%]	Bewertung Wasserfilmdicke	Bemerkung
0						
x	0,5394	0,35	0,38	0,70	nicht erfüllt	Auftrag mit fünf Sprühübergängen
x+1	0,5388	0,35	0,38	0,70	nicht erfüllt	
x+2	0,5382	0,35	0,38	0,70	nicht erfüllt	
x	1	1,16	0,70	1,30	erfüllt	Auftragung durch Aufkippen und dann mit Messkamm gemessen
x	2	2,29	1,40	2,60	erfüllt	

Tabelle A4-7: Messwerte und Bewertungen zur Wasserfilmdicke und Fahrbahnzustand bei einer aufgetragenen Wasserfilmdicke von rund 0,2 mm

Die Messwerte bei drei weiteren Aufträgen enthält die Tabelle A4-7. Den Auftrag von fünfmal rund 0,1 mm erkannte er nur knapp unterhalb des zulässigen Toleranzbereichs für die Wasserfilmdicke.

Die durch Aufkippen aufgetragenen Wasserfilmdicken mit rund ein und zwei Millimeter Wasserfilmdicke ergaben einen durchgehenden Wasserfilm auf dem Sensor. Dieser konnte dann mit einem Messkamm gemessen werden. Die angegebenen Sensorwerte liegen in diesem beiden Fällen im Toleranzbereich.

#### 4. Zusammenfassung

Beide eingesetzten Sensoren des Typs IRS31pro erfüllten bei den wenigen Versuchen häufig nicht die bestehenden Anforderungen. Die Ursache wird in der fehlenden gleichmäßigen Benetzung der Sondenoberfläche gesehen, obwohl wie in der Praxis Regenwasser zum Einsatz kam. Auf den Einsatz von Mittel zur Oberflächenentspannung wurde hier bewusst verzichtet, da sie in der Praxis nicht vorkommen.