

## Kurzbericht zum AP F1100.6514016 „Neue Sensoren für Straßenwetterstationen“

### 1 Zielsetzung

Der Winterdienst steht heute im Spannungsfeld von Verkehrssicherheit/Kapazitätserhaltung, Kosteneffizienz und Umwelteinwirkungen. Er soll Glätte nicht nur schnell beseitigen, sondern möglichst vermeiden. Deshalb soll er bereits vor dem Eintreten einer Glätte aktiv werden. Die entsprechenden Aktivitäten können nicht durch Kontrollfahrten erledigt werden, da aus einem fahrenden Fahrzeug die Entwicklung der maßgebenden Parameter für eine Glätteentwicklung nur unzureichend beobachtet werden kann. Deshalb müssen die Winterdienstverantwortlichen die erforderlichen Daten zum Beginn und für den weiteren Verlauf einer möglichen Glätte aus anderen Quellen erhalten.

Spezielle Straßenzustands- und Wetterinformationssysteme stehen heute für diese Angaben zur Verfügung. Sie stellen für einen situationsgerechten Winterdienst für eine hohe Verkehrssicherheit bei gleichzeitigem geringen Ressourcenverbrauch und geringer Umwelteinwirkung eine unverzichtbare Voraussetzung dar.

Die Verantwortlichen für den Winterdienst müssen anhand der Straßenzustands- und Wetterinformationssysteme in ihren Bereichen folgende Entscheidungen treffen können:

Die Verantwortlichen für den Winterdienst müssen anhand der Straßenzustands- und Wetterinformationssysteme in ihren Bereichen folgende Entscheidungen treffen können:

- Festlegung der Personalbereitschaft (anhand längerfristiger Vorhersagen)
- Festlegung eines Einsatzbeginns
- Festlegung der erforderlichen Streudichte

Der technologisch optimale Einsatzbeginn und die erforderlichen Streudichten können nur auf zeitgenauen Glättevorsagen beruhen. Dies ist insbesondere bei präventiven Einsätzen aufgrund der meist kurzen Liegedauer der eingesetzten Tausalze notwendig.

Wetterdienste liefern heute detaillierte Vorhersagen mit entsprechenden Angaben für kleine Regionen, die in kurzen Zeittakten aktualisiert werden. Eine weitere wichtige Informationsquelle für diese Entscheidungen stellen die Messergebnisse der Sensoren von Straßenwetterstationen dar, die glätte-relevante Parameter an festen Standorten erfassen. Sie stellen zunehmend auch die Grundlage für die Vorhersagen dar.

Die Qualität der Entscheidungen hängt von der Qualität der Vorhersagen ab und deren Qualität wieder von den Messdaten der Straßenwetterstationen. Die Datenqualität müssen die Straßenbauverwaltungen selber gewährleisten. Die Anforderungen an die Sensorik sind in der Europäischen Norm EN 15518-3 beschrieben. Dazu gibt es einen Europäischen Normentwurf CEN/TS 15518-4 für den Nachweis dieser Anforderungen. Beide Normen enthalten keine Aussagen zu berührungslos arbeitenden Sensoren, die zunehmend auf den Markt kommen.

Zur Sicherstellung der Qualität von Straßenwetterstationen hat das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur die Bundesanstalt für Straßenwesen mit der Bewertung von neuen Sensoren beauftragt. Dabei sollen bestehende mit neuen Bauarten verglichen und bewertet werden. Deren Bewertung soll Grundlage für die zukünftige Beschaffung von Sensoren in den Straßenbauverwaltungen sein. Dafür sind Bewertungsverfahren für neuartige Sensorbauarten zu entwickeln und die neuen aber auch bereits bestehende Verfahren zu verifizieren.

## 2 Vorgehen

Für die Untersuchungen kamen verschiedenste Sensoren auf dem vorhandenen Testfeld der BASt auf der BAB A4 (Nähe Köln) zum Einsatz. Ein Teil der Sensoren wurde auch im Labor nach derzeitigen Prüfverfahren geprüft.

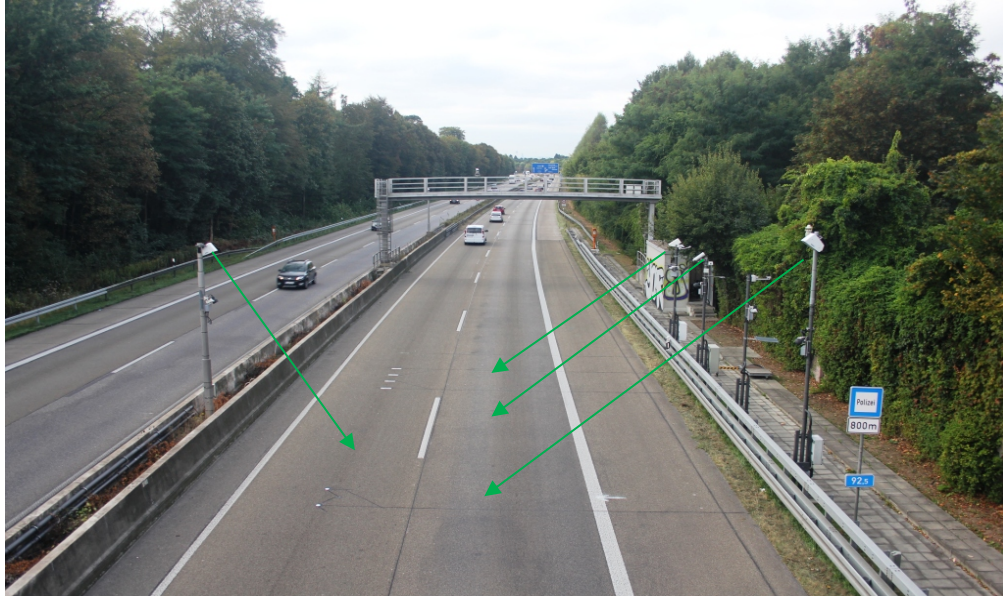


Bild 1: BASt-Testfeld für Umfelddaten an der A4 (Pfeile weisen auf die Mittelpunkte der Messflächen der berührungslos arbeitenden Sensoren)

Alle Sensoren lieferten über zwei Winterperioden (2016/2017 und 2017/2018) je Minute einen Messwert. Gleichzeitig erfolgte eine Situationsbewertung mit 5 Kameras je Minute. Für Beobachtungen bei Dunkelheit kamen Infrarotscheinwerfer zum Einsatz. Alle Daten und Bilder wurden auf zentrale Server gespeichert.

Bewertungen der Sensoren erfolgten anhand von statistischen Vergleichen der erfassten Messwerte und deren genaue Bewertung im Bezug zu den Beobachtungen auf den zeitgleich vorhandenen Bildern. Zu den qualitativen Parameter – wie Niederschlagsart und Fahrbahnzustand - waren direkte Bewertungen möglich. Quantitative Daten, u. a. die Fahrbahnoberflächen- oder die Gefriertemperatur, ließen sich nur über Plausibilitätsbetrachtungen bewerten.

## 3 Zusammenfassung der Sensorergebnisse – offene Fragestellungen zu den Parametermessungen

### 3.1 Allgemeines

Die nachfolgenden Empfehlungen stellen zusammengefasste Bewertungen aus den Labor- und Testfeldergebnisse dar. Sie wurden inzwischen in das FGSV-Wissenspapier „Hinweise für die Planung, Einrichtung und Betrieb von Straßenzustands- und Wetterinformationssystem“ [FGSV 2019] eingebracht.

Die Zusammenfassungen sind nach den einzelnen Parametern für die Glätteinschätzung geordnet.

### 3.2 Fahrbahnoberflächentemperatur

Alle auf dem Testfeld A4 eingesetzten Bodensonden erfüllten bei Genauigkeitstests in Flüssigkeitsbad die hohen Anforderungen der DIN EN 15518-3. Diese Tests wären auch vor einer Installation einfach möglich. In der Fahrbahn eingebaut, wiesen die gleichen Typen unter gleichen Testfeldbedingungen

größere Differenzen als bei den Laborprüfungen aus. Diese Differenzen sind unter den gleichen Bedingungen aber wesentlich geringer als die Differenzen zwischen verschiedenen berührungslos arbeitenden Sensoren – den Infrarotthermometern. Diese konnten bislang nicht labormäßig geprüft werden. Bei deren hohen Messunsicherheiten lassen sich Winterdienstentscheidungen weniger zeitgenau treffen.

Bei einzelnen Infrarotthermometertypen traten nach vorgenommenen Kalibrier- und Wartungsarbeiten ein unterschiedliches Verhalten zu anderen Sensoren auf, für das es bislang keine Erklärungen gibt.

Für die Prüfung beider Sensorbauformen sind Verfahren für eine praxisgerechte Bewertung insbesondere nach der Installation zu entwickeln.

Bis zum Einsatz praxisgerechter Prüfverfahren für die Eignungs- und Abnahmetests für die Infrarotthermometer wird derzeit der Einsatz von Bodensonden empfohlen.

### 3.3 Fahrbahnzustand – Wasserfilmdicke

Sensoren müssen nach EN 15518-3 zwischen die Fahrbahnzuständen „trocken“, „feucht“, „nass“, fließend Wasser“ und „glatt“ unterscheiden können. Die verschiedenen Befeuchtungsstufen basieren auf definierte Wasserfilmdicken, die die Sensoren selber messen.

Für die Bodensonden gibt es entsprechende Prüfverfahren. Sie können nicht alle Laborprüfungen erfüllen. Sie erkennen alle weitgehend sicher den Wechsel von „trocken“ zu „feucht“ bei geringer Feuchte. Dies konnten zwei von drei Sensortypen auch bei der Praxisanwendung nachweisen. Den Wechsel von „feucht“ zu „trocken“ zeigten sie dagegen häufiger früher, als er beobachtet werden konnte.

Die Bodensonden können Glätte (Schnee, Eis, Schneematsch) bis auf wenige Ausnahmen nicht als Aggregatzustand direkt erkennen. Die Hersteller leiten unter Nutzung anderer Daten eine Meldung ab, die eher einer Glättewarnung entspricht. Jeder Hersteller nutzt erkennbar etwas andere Algorithmen, die nicht in jedem Fall bekannt sind. Für große Messnetze mit Straßenwetterstationen von verschiedenen Herstellern sollte eine Vorgabe für die Form einer Glättewarnung erfolgen. Eine Möglichkeit für die Datenverarbeitung, die auch weitere Messwerte einer Straßenwetterstation einbezieht, ist im genannten FGSV-Wissenspapier zu Straßenzustands- und Wetterinformationssystemen aufgeführt.

Differenzierte Angaben zur Wasserfilmdicke gemäß Referenz können die Bodensonden im Labor nicht darstellen. Eine richtige Angabe ist nur möglich, wenn ein homogener Wasserfilm auf die Sonde mit Hilfsmitteln aufgetragen wird. Ein homogener Wasserfilm ist unter Verkehr auf einer in der Fahrbahn installierten Bodensonde meist nicht vorhanden. Daher sollte bei der Nutzung von Bodensonden auf die Angabe von differenzierte Feuchteangaben und der Wasserfilmdicke eher verzichtet werden. Die Fortschreibung der EN 15518-3 sieht aus diesem Grund bei Bodensonden zukünftig nur die Unterscheidung zwischen „trocken“ und „nicht trocken“ vor.

Berührungslos arbeitenden Sensoren bieten grundsätzlich im Vergleich zu den Bodensonden den Vorteil, dass sie die vorhandene Überdeckung einer eigentlichen Fahrbahnoberfläche bewerten können. Zwei der eingesetzten Sensoren gaben auf dem Testfeld A4 den Fahrbahnzustand weitgehend den Beobachtungen an. Andere Sensoren hatten Schwierigkeiten vor allem bei der Erkennung von Schneematsch oder Schnee.

Zwischen beiden Bauarten - Bodensonden und berührungslos arbeitenden Sensoren - bestehen große Unterschiede bei der Angabe der Wasserfilmdicke. Die berührungslos arbeitenden Sensoren geben

deutliche höhere Wasserfilmdicke an, die nach subjektiven Beobachtungen plausibler erscheinen. Für die berührungslos arbeitenden Sensoren müssen noch genaue Prüfverfahren erprobt werden.

Eine einheitliche Umsetzung der Definitionen der verschiedenen Fahrbahnzuständen ist für die Nutzung verschiedener Sensoren in einem Messnetz unabdingbar. Straßenwetterstationen allgemein und die Angaben für Fahrbahnzustände im Speziellen werden zukünftig erweiterten Nutzungen insbesondere für automatische Systeme dienen. Verschiedene Inhalte zu einem Parameter können dort nur mit Mehraufwand verarbeitet werden.

Beobachtungen über Fotos lassen eine hinreichende Beurteilung von Fahrbahnzuständen zu. Damit können Kameras insbesondere als Ergänzung zu den Bodensonden eine wertvolle Unterstützung sein. Für die Beobachtung bei Dunkelheit sind Infrarotscheinrichtungen notwendig. Nur bei geringer Feuchte wird eine Bewertung anhand von Fotos schwierig bis unmöglich.

### 3.4 Niederschlag

Beim Niederschlag sind unterschiedliche Angaben möglich. Für die Winterdienststeuerung ist die Niederschlagsart mit der Unterscheidung kein, fester oder flüssiger Niederschlag und die Niederschlagsmenge über einen längeren Zeitraum (z. B. einer Stunde) von Bedeutung. Die Niederschlagsmenge wird erst mit der Fortschreibung der EN 15518-3 als zu messenden Parameter aufgenommen. Die kurzzeitige Niederschlagsintensität hat mehr Bedeutung für die telematische Verkehrsbeeinflussung oder das automatisierte Fahren.

Die im Testfeld A4 eingesetzten Sensoren haben anhand von Beobachtungen basierenden Bewertungen sehr unterschiedliche Ergebnisse geliefert.

Zwei der fünf eingesetzten Sensortypen haben dabei weitgehend bzw. nahezu vollständig mit den Beobachtungen übereingestimmt. Andere, insbesondere einfachere, Sensoren haben die vergleichsweise einfachen Anforderungen nicht erfüllt.

Die ermittelten Niederschlagsmengen über den gesamten Winter 2017/18 haben eine hohe Spannweite. Die höchste angegebene Niederschlagsmenge eines Sensors betrug das 2,5-fache der Summe von dem Sensor mit der am niedrigsten angegebenen Menge. Dieser Vergleich basiert auf die Aufsummierung der gemessenen Niederschlagsintensitäten, die je Minute ermittelt wurden. Abweichungen können auch durch Rundungsfehler entstanden sein. Aufsummierungen mit Messerfassungen über längere zusammenhängende Zeiträume sollten zukünftig genauere Angaben ermöglichen.

Für die Überprüfung der Niederschlagsangaben sind neue bzw. erweiterte Prüfverfahren erforderlich. Das Problem besteht in der Zeitsynchronisation der Angaben vom zu prüfenden Sensor und der Referenz. Vorschläge für diese Prüfungen liegen vor und sollten zeitnah von Herstellern und Prüfinstituten umgesetzt werden. Aufgrund der fehlenden Möglichkeiten Niederschlag künstlich darzustellen, müssen die Prüfungen weiterhin unter Praxisbedingungen erfolgen.

### 3.5 Gefriertemperatur – andere Angaben zu Tausalz auf der Fahrbahn

Die Gefriertemperatur gibt an, bei welcher Temperatur aus einer vorhandenen Salzlösung bei fallender Temperatur Eis ausfällt. Sensoren für die Gefriertemperatur unterscheiden sich gemäß EN 15518-3 nach den beiden Messverfahren – berechnend (passiv) und messend (aktiv).

Die berechnenden Sensoren nutzen dafür die Leitfähigkeit einer Lösung auf der Bodensonde, aus der je nach dort gemessener Lösungsfilmdicke eine Gefriertemperatur berechnet wird. Die Berechnung gibt nur bei einem gleichmäßigen Lösungsfilm auf der Bodensonde richtige Werte aus. Bei durchgeführten Labortests nach CEN/TS 15518-4 können die Sensoren von einer aufgespritzten definierten

Salzlösung die Gefriertemperatur meist nicht richtig berechnen. Hier bestehen die gleichen Probleme wie bei der Messung der Wasserfilmdicke. Auf dem Testfeld A4 haben sie trotz umfangreicher Streu- ausbringungen fast keine Gefriertemperaturen unter  $-5^{\circ}\text{C}$  angezeigt. Damit sind sie für Winterdien- tentscheidungen bedeutungslos.

Die messenden Sensoren haben im Labor alle Prüfungen gemäß CEN/TS 15518-4 erfüllt. Auf dem Test- feld A4 entstanden dagegen sehr große Unterschiede zwischen ihnen. Ursache könnte die ungleiche Verteilung von Tausalz auf der Fahrbahn sein. Allerdings waren auch bewertete Angaben in vielen Fäl- len nicht plausibel zu den Beobachtungen. Bei Schnee oder Schneematsch kann die Gefriertemperatur nicht deutlich unter der Fahrbahnoberflächentemperatur sein. Hier wird die Gefriertemperatur sogar als Ursache für mögliche Fehlentscheidungen gesehen.

Mehrere Sensoren haben die Salzmenge in Gramm je Quadratmeter ausgegeben. Die angegebenen sehr niedrigen Werte sind für mögliche differenzierte Winterdienstentsatzentscheidung meist bedeu- tungslos.

Die Ergebnisse vom Testfeld führen zu den gleichen Aussagen wie andere wissenschaftliche Untersu- chungen zu Salzmessungen auf der Fahrbahn. Daher sollten Sensoren mit den bisherigen Messverfah- ren für die Gefriertemperatur oder andere Tausalzangaben zukünftig mehr nicht beschafft werden. Auch die derzeitige Nutzung vorhandener Sensoren wäre durch die Nutzer zu hinterfragen.

### 3.6 Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit

Die eingesetzten Sensoren auf dem Testfeld A4 für die Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und Tau- punktttemperatur wiesen keine Auffälligkeiten bezüglich Abweichungen untereinander und im Ver- gleich zu Referenzmessungen auf. Die Referenzmessungen sind für die Überprüfung vor Ort mit gerin- gem Aufwand möglich. Die Messung der genannten Parameter ist für die Winterdienstentsatzsteuer- ung sinnvoll. Bei der Berechnung der Taupunktttemperatur wird auf die Nutzung einheitlicher Berechn- ungsformeln verwiesen. Eine Berechnungsformel ist im FGSV-Wissenspapier H PEB SWIS [FGSV 2019] aufgeführt.

### 3.7 Sonstige Parameter

Zu weiteren Parametern fanden aufgrund fehlender Möglichkeiten und ihrer geringeren Bedeutung für die Winterdienststeuerung keine Untersuchungen statt.

Für die Einschätzung zum Winterdienst können noch Angaben zum Wind oder der Eis- und Schneehöhe auf der Fahrbahn sinnvoll sein. Die angeführten Höhenangaben sollen nach der zukünftigen EN 15518- 3 in Zukunft neben der Angabe der Wasserfilmdicke möglich sein. Dabei ist zu beachten, dass je nach Konsistenz der Bedeckung immer nur eine der drei genannten Parameter angegeben werden kann. Dabei sind die anderen Werte immer gleich Null. Das muss bei der Datenverarbeitung beachtet wer- den. Eine Umwandlung der Schnee- und Eismengen in ein Wasseräquivalent stellt sich nach den der- zeitigen Möglichkeiten als schwierig dar. Hier muss mit großen Ungenauigkeiten gerechnet werden.

## 4 Zusammenfassung und Aussicht

Heutige Straßenwetterstationen können die wichtigsten Parameter (Fahrbahnoberflächentemperatur, Taupunktttemperatur, Feuchte auf der Fahrbahn, Niederschlag) mit einer hinreichenden Genauigkeit automatisch messen. Bei den Entscheidungen sind auftretende Toleranzen bei den Messungen für die einzelnen Parameter zu berücksichtigen.

Weitere hilfreiche quantitative Angaben von Sensoren insbesondere zur Wasserfilmdicke, Gefriertemperatur oder zur Niederschlagsintensität weisen bei Vergleichstests unter gleichen Bedingungen immer wieder hohe Differenzen auf. Das gilt auch für berührungslos messende Sensoren für die Fahrbahnoberflächentemperatur. Unter Praxisbedingungen und teilweise selbst unter Laborbedingungen ist es derzeit schwierig die Genauigkeit der Sensoren ausreichend genau zu beurteilen. Hier sind in Zukunft noch entsprechende Entwicklungen sowohl für die Sensoren selber als auch für deren Prüfung unter Praxisbedingungen dringend erforderlich. Erste dargestellte Überlegungen befinden sich bereits in der Erprobung. Nur nach einem umfassenden Nachweis der Funktionen bringen diese Sensoren bei Winterdienstentscheidungen einen erweiterten Nutzen. Sie sollten bis zum Nachweis einer zuverlässigen Arbeitsweise nicht zum Einsatz kommen oder nur unter Berücksichtigung der hohen möglichen Messunsicherheiten genutzt werden.

Die häufig erlebte Praxis der Hersteller, fehlerhafte oder unplausible Ergebnisse bei Tests auf veraltete Firmware oder Defekte der Sensoren zurückzuführen, sollte durch sichere Typprüfungsergebnisse mit Festschreibung eines abgeschlossenen Entwicklungsstandes für einen Sensor beendet werden. Aufgrund der schwierigen Realisierung von praxisnahen Prüfmethode n bleiben Bewertungen von Sensoren anhand von Beobachtungen und Plausibilitätsprüfungen im Praxiseinsatz sinnvoll und derzeit notwendig.

Für eine Gewährleistung der gewünschten Genauigkeit ist eine genaue Kontrolle aller Sensoren nach einer Installation nötig. Auch im laufenden Betrieb ist eine ständige Kontrolle notwendig. Einfache Referenzprüfungen sind allerdings heute für die meisten Parameter nicht vorhanden. Unterstützung können hier automatische Plausibilitätsprüfungen leisten, die auf mögliche Messfehler einzelner Sensoren hinweisen können.

Zur Vorbeugung gegen hohe Messtoleranzen sind die Straßenwetterstationen regelmäßig zu warten. Dafür sollte ein Wartungsvertrag bestehen. Die Wartung sollte möglichst vor Beginn einer Wintersaison erfolgen. Aufwendungen für die Wartung von Straßenwetterstationen sollten bereits bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit angebotener Straßenwetterstationen einbezogen werden. Die festgestellte hohe Ausfallrate insbesondere bei den Bodensonden ist nicht akzeptabel. Hierzu sollte umgehend eine Weiterentwicklung in Bezug auf eine längere Haltbarkeit erfolgen.

Für ein Kontroll- und Wartungsmanagement für die Straßenwetterstationen sollte seitens des Nutzers ausreichend und geschultes Personal zur Verfügung stehen. Nur so ist eine hohe Qualität der darauf aufbauenden Glättevorhersagen für einen zielgerichteten Winterdienst mit hohem Nutzen für die Verkehrssicherheit/-kapazität bei möglichst geringen Kosten gewährleistet.

Straßenwetterstationen können heute unter Verwendung mit vorhandenen genauen Sensoren und Kameras für sichere Entscheidungen von Winterdiensteinsätzen einen hohen Nutzen bringen. Automatisierte Entscheidungen sowohl im Winterdienst als auch verkehrstelematischen Anwendungen sind mit ihnen allerdings noch nicht möglich.

Neben den stationären Sensoren sind auch mobile Sensoren für streckenbezogene Bewertungen erforderlich. Deren Vermarktung beginnt derzeit. Beide zusammen werden als eine Grundvoraussetzung für die notwendige streckenbezogene Glätte- oder Reibwertprognose gesehen, die für die automatisierte Streudichteberechnung aber auch für die automatisierte Verkehrssteuerung und das automatisierte Fahren benötigt werden. Umsetzungsmöglichkeiten für den Winterdienst sind inzwischen beschrieben. Diese Entwicklungen weisen auf die Notwendigkeit von Sensoren mit geringen Messunsicherheiten hin.