

Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung durch Nutzung neuer mobiler Sensoren

FA 4.297

Forschungsstellen: Kommzept – Ingenieurbüro Hausmann

Bearbeiter: Hausmann, G.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: Dezember 2018

1 Aufgabenstellung

In dem 2013 abgeschlossenen Vorprojekt "Berechnung der optimalen Streudichte im Straßenwinterdienst" wurden die theoretischen Grundlagen und praktischen Erfahrungen zum Taustoffeinsatz im Winterdienst in einen Algorithmus gefasst. Dieser Algorithmus hat die objektiv erforderliche Streudichte ermittelt, die für die Verhinderung von Fahrbahnglätte unter Berücksichtigung der prognostizierten Wetterentwicklung und des Fahrbahnzustands erforderlich ist.

Aufbauend auf dem Phasendiagramm für die Mischung von Natriumchlorid und Wasser wurde ein Berechnungsalgorithmus entwickelt, der Temperatur und Wasserfilmdicke auf der Fahrbahn in wählbaren Prognosezeiträumen berücksichtigt. Die stündlich aktualisierten Prognosedaten werden während der Einsatzfahrt des Winterdienstfahrzeugs übermittelt und haben direkten Einfluss auf die zu berechnende Streudichte. Neben den Prognosedaten haben technologische und streckenbezogene Randbedingungen direkten Einfluss auf die berechnete Streudichte. Als streckenbezogene Randbedingungen können Streckeneigenschaften (zum Beispiel Art des Belags, Brückenlage der Fahrbahn) und Restsalzmengen auf der Fahrbahn berücksichtigt werden. Darüber hinaus finden auch technologische Randbedingungen wie die Streutechnologie (wahlweise FS 30 oder FS 100) und der Prognosezeitraum Berücksichtigung.

Es wurde festgestellt, dass die Berechnung der optimalen Streudichte mit einem Algorithmus unter Berücksichtigung von Mess- und Prognosewerten, vor allem bei präventiven Streueinsätzen, ein bisher ungenutztes Einsparungspotenzial erschließt. Der Dosierungsalgorithmus kann in Verbindung mit der im Fahrzeug installierten Hardware den bei der Winterdienststreuung stark ausgeprägten subjektiven Faktor bei der Wahl der Streudichte verringern.

Der aktuelle Forschungsauftrag knüpfte an die vorgeschlagenen Schritte aus dem Vorprojekt "Optimierung der Streustoffausbringung – Modell der objektiv notwendigen Streudichten im Straßenwinterdienst" an. In dem Projekt gab es durch die Verwendung eines neuartigen mobilen Sensors erstmalig die Möglichkeit, die Wasserfilmdicke zu messen und in die Berechnung einzubeziehen. Die Einbeziehung der Wasserfilmdicke in die Berechnungen erhöht die Sicherheit des Fahrpersonals bei der Wahl der Streudichte. Die Funktionsfähigkeit des erprobten Systems wurde nachgewiesen. Für eine praxisgerechte Umsetzung muss die Funktion des Systems stabilisiert werden. Danach kann der Algorithmus direkt für die Einstellung der Streudichte an den Streumaschinen eingesetzt werden.

Mit dem Ziel der Einführung von Fahrerassistenzsystemen in die Winterdienstpraxis sollten folgende Schritte unternommen werden:

- Durchführung weiterer Praxisversuche

- Modifizierung des Algorithmus in Auswertung weiterer Praxisversuche und unter Berücksichtigung der Fachdiskussionen
- Anpassung des Systems an die Streumaschinen weiterer Hersteller
- Durchführung von überwachten Praxiseinsätzen mit direkter Übertragung der errechneten Streudichte auf die Steuerung der Streumaschinen
- Einbeziehung einer mobilen Restsalzmengenmessung, sobald die technischen Möglichkeiten dafür bestehen
- Förderung der Entwicklung von technischen Systemen zur mobilen Messung der Wasserfilmdicke, um diesen wichtigen Parameter für die Berechnung der Streudichte bei kurativen Einsätzen nutzen zu können
- Quantifizierung der bei Schneefall erforderlichen Taustoffmengen, um "Schneemulm" zu erzeugen

Die Einführung von Assistenzsystemen zur parametergesteuerten Ermittlung der optimalen Streudichte sollte als wichtiger Schritt angesehen werden, um den Straßenwinterdienst zukünftig noch wirtschaftlicher, sicherer und mit geringsten Umweltbelastungen durchführen zu können. Die Testinstallationen wurden in den Autobahnmeistereien (AM) Greding und Münchberg an einer Streumaschine und an einer Kombistreumaschine erprobt. Mit dem jetzt zusätzlich eingesetzten mobilen Sensor "MARWIS" besteht die Möglichkeit, die Wasserfilmdicke und den Fahrbahnzustand zu messen. Aus dem BASt-Forschungsprojekt "Optimierung der auftauenden Streustoffe für den Winterdienst" standen neue Erkenntnisse über die bei Schneefall erforderlichen Taustoffmengen zur Verfügung.

2 Untersuchungsergebnisse

Die große Zahl der Eingangsdaten führte in der Winterdienstsaison 2016/17 bei den Versuchsfahrten sehr häufig zu Ausfällen. Aus unterschiedlichen Gründen standen einzelne Daten kurzfristig nicht zur Verfügung. Ursachen liegen bei Unterbrechungen in der Datenübertragung (DWD-Daten), Ortungsproblemen (GPS), Funktionsproblemen des Bordcomputers (Betriebssystem) und diversen Unterbrechungen in der Stromversorgung. Die Probleme wurden zum Teil während der Winterperiode bereits abgestellt. In Vorbereitung der Saison 2017/18 wurden einige technische Veränderungen realisiert, die zu einem wesentlich stabileren Betrieb des Gesamtsystems führten, unter anderem durch den Einsatz von LTE-Routern für die Datenübertragung zum Fahrzeug. Für die im Dezember 2017 fortgesetzten Feldversuche lagen Datenaufzeichnungen in folgendem Umfang vor:

- AM Münchberg: 36 Einsatztage im Zeitraum vom 12.12.2017 bis 18.03.2018 mit 90 Umläufen.
- AM Greding: 27 Einsatztage im Zeitraum 09.12.2017 bis 18.03.2018 mit 94 Umläufen.

Die Sicherheit der Datenbereitstellung und der Datenübertragung konnte gegenüber der vorherigen Saison wesentlich verbessert werden. Für fast alle Einsatztage lagen komplette Datensätze vor. Die Funktion des Algorithmus in Verbindung mit

den Eingangsdaten konnte für fast alle denkbaren winterlichen Witterungssituationen getestet werden.

Die Einbeziehung einer großen Zahl von Eingangsdaten führte zu einer hohen Sensibilität des Systems. Das drückte sich insbesondere in einer großen Schwankungsbreite der errechneten Werte aus. Ausschlaggebend dafür waren insbesondere die vom MARWIS-Sensor gemessene Wasserfilmdicke und der angezeigte Fahrbahnzustand. Die Wasserfilmdicke zeigte sehr starke Ausschläge innerhalb kürzester Zeiträume.

Der Fahrbahnzustand wechselte kurzfristig in alle Richtungen. Ausschläge von Mess- und Anzeigewerten, die nur wenige Sekunden anhalten, können wegen der mechanisch bedingten Trägheit des Fördersystems der Streumaschinen nicht nutzbringend umgesetzt werden. Das heißt, wenn zum Beispiel eine stark erhöhte Streudichte die Straßenoberfläche erreicht, ist der ausschlaggebende Straßenzustand an der dann erreichten Stelle nicht mehr vorhanden. Es ist festzustellen, dass die Sensordaten, die auf einem Messfleck von nur wenigen Zentimetern Durchmesser basieren, offenbar sehr häufig nicht repräsentativ für die Straßenoberfläche in ihrer gesamten Breite sind. Problematisch ist die mobile Ermittlung von Restsalzmengen auf der Fahrbahnoberfläche. Mit dem MARWIS-Sensor besteht jedoch eine indirekte Möglichkeit, die Restsalzmengen zu bestimmen. Ob damit praxistaugliche Ergebnisse erzielt werden, muss noch untersucht werden.

3 Erkenntnisse und Schlussfolgerungen

Die Feldversuche in den Winterdienstperioden 2016/17 und 2017/18 haben auf der Basis umfangreicher Sensor- und Einsatzdaten wichtige Erkenntnisse über die Anforderungen gebracht, die für den nutzbringenden Einsatz von Dosierungsalgorithmen erfüllt sein müssen. Im Einzelnen sind folgende Erkenntnisse zu nennen:

- Die Funktion des in einen Algorithmus umgesetzten Modells zur Berechnung der optimalen Streudichte konnte nachgewiesen werden.
- Die technischen Möglichkeiten, alle erforderlichen Daten für das autonome Streuen auf den Einsatzfahrzeugen zusammenzuführen, sind vorhanden.
- Die DWD-Punktwettervorhersage ist mit einem Zeithorizont von 3 h für einen Dosierungsalgorithmus einsetzbar. Hinsichtlich der Prognosesicherheit müssen jedoch weitere Fortschritte gemacht werden.
- Die Mess- und Berechnungsdaten des berührungslosen Sensors weisen im mobilen Betrieb eine große Schwankungsbreite auf.
- Die Anzeige von Straßenzuständen wechselt so häufig, dass derzeit eine sinnvolle Verarbeitung dieses Eingangswerts nicht möglich ist. Es ist zu vermuten, dass die für den Fahrbahnzustand ausgegebenen Werte zum Teil nicht repräsentativ oder auch fehlerhaft sind. Die ausgegebenen Werte des berührungslosen Sensors sind teilweise nicht nachvollziehbar, da die internen Algorithmen des Herstellers nicht bekannt sind.
- Die Kategorisierung des Fahrbahnzustands ist teilweise für einen Dosierungsalgorithmus nicht sinnvoll. Der Fahrbahnzustand "schnee-, eisbedeckt" ist zu

undifferenziert für die Dosierungssteuerung. Schnee beziehungsweise Eis gehen für die Dosierung sehr unterschiedlich in die Berechnung ein. Es muss klar zwischen diesen beiden Zuständen unterschieden werden.

- Für die Zustände "chemisch nass" und "kritisch nass" muss der interne Algorithmus des MARWIS-Sensors bekannt sein, um sie qualifiziert in die Berechnung eingehen zu lassen.
- Beim mobilen Einsatz des MARWIS-Sensors ist mit salzhaltigem Spritzwasser zu rechnen. Der Schutzgrad des Anschlusssteckers zwischen Sensor und Kabel ist dafür nach praktischen Erfahrungen nicht ausreichend. Nach wenigen Tagen Einsatz an dem Fahrzeug der AM Münchberg waren die Kontakte am Anschlussstecker korrodiert.
- Zur Verwendung für die automatische Dosierung sollten modifizierte Sensoren entwickelt werden.
- Für die Kalibrierung des Sensors in Bezug auf die Fahrbahnoberflächentemperatur und die Wasserfilmdicke sollten einfache Prozeduren gefunden werden, die auch in einer Einsatzstelle von Winterdienstfahrzeugen durchgeführt werden können.

Allgemeine Schlussfolgerungen zum Sensoreinsatz für die Dosierungssteuerung:

- Die große Spannweite der Messdaten innerhalb von Sekunden, insbesondere bei der Wasserfilmdicke, aber auch bei der Fahrbahnoberflächentemperatur deutet darauf hin, dass die von einem kleinen Messfleck gewonnenen Messwerte nicht unbedingt repräsentativ für eine größere Fahrbahnfläche sind.
- Eine größere Stabilität und Sicherheit der Messwerte könnte durch die Installation mehrerer Sensoren, verteilt über die Fahrzeugbreite, erreicht werden. Aus den Messwerten mehrerer Sensoren könnten Mittelwerte gebildet werden, die dann direkt in die Berechnung eingehen.
- Die internen Algorithmen der Sensoren sollten auf den Datenbedarf der Dosierungssteuerung ausgerichtet werden. Die angebotene Sensortechnik muss weiter auf die Genauigkeit der Messwerte untersucht werden.
- Die technischen Vorschriften für ortsfeste Sensoren müssen auf mobile Sensoren erweitert werden.

4 Fragestellung und zukünftige Aufgaben

Für die weitere Bearbeitung des Themas und dessen zukünftige Weiterentwicklung bis zur Einsatzfähigkeit im operativen Winterdienst ergeben sich folgende Fragestellungen und Aufgaben:

- Mit welchen Entwicklungen ist bei der Sensortechnik zu rechnen?
- Welche Messgenauigkeiten der Sensoren sind zu erwarten?
- Sind die erzielbaren Messgenauigkeiten für eine automatisierte Streudichteberechnung ausreichend?

- Mit welchen Verfahren kann eine Kalibrierung von Sensoren unter Praxisbedingungen durchgeführt werden?
 - Wie kann die Qualität der Messungen im operativen Winterdienstbetrieb sichergestellt werden?
 - Welche Rolle kann Bilderkennung der Fahrbahnoberfläche für die weitere Bearbeitung spielen?
 - Sollte die Entwicklung der Dosierungsalgorithmen darauf abzielen, möglichst viele Eingangsdaten zu berücksichtigen, oder ist eher eine sparsame Verwendung möglicher Eingangsdaten anzustreben?
 - Wird es zukünftig hinreichend genaue Möglichkeiten geben, die Restsalzmengen vom fahrenden Fahrzeug aus zu ermitteln?
 - Wenn zur mobilen Messung der Restsalzmengen praxistaugliche Sensortechnik zur Verfügung steht, sollte sie für die Berechnung der optimalen Streudichte in das System integriert werden.
 - Ist die Kenntnis der Reibwerte auf der Fahrbahn für die Berechnung der optimalen Streudichte hilfreich?
 - Nach welchen Kriterien kann der gleichzeitige Einsatz von FS 30 und FS 100 empfohlen werden, der nach bisherigen Erkenntnissen insbesondere auf offenporigem Asphalt vorteilhaft sein kann?
 - Soll der gleichzeitige Einsatz von FS 30 und FS 100 Bestandteil des Algorithmus werden?
- Sichtfeld haben, kombiniert mit der Möglichkeit, die numerischen Daten automatisiert zu verarbeiten.

5 Ausblick

Derzeit werden weltweit Forschungen und Pilotprojekte mit autonomen Verkehrssystemen durchgeführt. In Deutschland sind auch im Bereich des Straßenbetriebsdienstes erste Projekte bekannt, die auf den fahrerlosen Betrieb von Fahrzeugen ausgerichtet sind. Unter anderem wird seit 2014 an einem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projekt "Automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Bundesautobahnen" (aFAS) gearbeitet.

Im Bereich Winterdienst wird unter dem Titel "Automated Airfield Ground Maintenance" (AAGM) nach Testanforderungen des Flughafenbetreibers Fraport ein System getestet, bei dem bei Staffeleinsätzen nur noch das Führungsfahrzeug mit einem Fahrer besetzt werden muss. Diese Entwicklung zu fahrerlosen Systemen wird sich mit großer Wahrscheinlichkeit fortsetzen und auch weitere Bereiche des Winterdienstes erfassen. Dabei erscheint der Winterdienst auf Autobahnen wegen der relativ übersichtlichen Streckenführung für erste Schritte am besten geeignet. Dazu wäre auch ein autonom arbeitendes System zur Festlegung der optimalen Streudichte unverzichtbar. Die mit den derzeit verfügbaren technischen Mitteln durchgeführten Feldversuche haben erste Erkenntnisse und Lösungen aufgezeigt. Es wurde aber auch deutlich, dass kurzfristige Lösungen nicht zu erwarten sind. Praxistaugliche Lösungen erfordern Sensoren, die präzise Messwerte liefern und eine noch komplexere Erfassung der Bedingungen auf der Straßenoberfläche. Das kann wahrscheinlich nur mit einer größeren Zahl von Sensoren an einem Fahrzeug, kombiniert mit Verfahren der Bilderkennung, erfolgen. Damit könnte alles Wesentliche erfasst und ausgewertet werden, was die Fahrer der Winterdienstfahrzeuge heute im