

Automatisiertes Streuen – Praktische Erfahrungen, Entwicklungen und Empfehlungen

Ludwig Niebrügge

Bereits in den 80er-Jahren wurde vom Bundesministerium für Verkehr gefordert, die Streustoffdosierung im Winterdienst zu automatisieren. Mit der Entwicklung der temperaturgesteuerten Streustoffdosierung, welche 1994 im Markt eingeführt wurde, wurde der Anfang gemacht. Bei dieser Steuerung werden mit der Fahrbahntemperatur und der Fahrbahnfeuchte zwei maßgebliche Faktoren für den Taustoffbedarf berücksichtigt. Hiermit sind Einsparpotenziale von bis zu 30 % erzielbar. Diese Technik wird allerdings, obwohl in diversen Hinweispapieren bzw. im Merkblatt für den Straßenwinterdienst empfohlen, nicht in dem erwarteten Umfang genutzt. Durch gezielte Forschungsaufträge und Praxisversuche wurden in den letzten 10 Jahren Erkenntnisse über die Taustoffwirkung und Liegezeiten gewonnen sowie Entwicklungen zur Optimierung der Taustoffausbringung angestoßen bzw. umgesetzt. Ein wesentlicher Fortschritt zur Optimierung der Streustoffdosierung konnte durch die Entwicklung eines Algorithmus für die Streustoffdosierung im Rahmen der Forschung erreicht werden. Die Erkenntnisse wurden für die Weiterentwicklung der temperaturgesteuerten – teilautomatisierten – Streustoffdosierung genutzt. Berücksichtigt werden jetzt die Einsatzarten Präventiv- und Kurativstreuen sowie das in den letzten Jahren eingeführte Flüssigstreuen. Diese Weiterentwicklungen sowie Empfehlungen zu den Anforderungen an die einzusetzende Technik, unter Berücksichtigung vorliegender Praxiserfahrungen, sind in ein 2015 erstelltes Hinweispapier des Arbeitsausschusses Winterdienst der FGSV eingeflossen. Die Grundlagen für die „Automatisierung des Streuens“ sind durch die Untersuchungen und Erkenntnisse aus der Forschung erweitert worden. Eine technische Umsetzung wurde bereits im Rahmen der Forschung erfolgreich erprobt. Die für die Präventivstreue benötigten Kurzfristprognosen für die nächsten 3 Stunden konnten erfolgreich vom Deutschen Wetterdienst dem System online zugeführt werden. Für eine vollständige Realisierung sind Sensoren zur berührungslosen Erfassung des Fahrbahnzustandes (Trocken, Feucht, Nass, Eis) erforderlich. Die Industrie hat bereits entsprechende Entwicklungen vorgestellt, deren Qualität noch zu prüfen ist. Für eine schnelle Realisierung sollten die wirklich relevanten Faktoren in Abwägung einer Kosten-Nutzen-Bilanz berücksichtigt werden. Nachfolgend können dann die noch sinnvollen Feinjustierungen am System erfolgen.

Verfasserschrift:
Dipl.-Ing. L. Niebrügge,
ludwig.niebruegge@
strassen.nrw.de,
Landesbetrieb Straßenbau
Nordrhein-Westfalen,
Betriebssitz Gelsenkirchen,
Wildenbruchplatz 1,
45888 Gelsenkirchen

1 Automatisiertes Streuen

Für eine objektiv richtige Streustoffdosierung ist eine Vielzahl von Faktoren zu be-

rücksichtigen. Betrachtet man nur die wirklich sehr wichtigen und damit relevanten Faktoren (Tabelle 1), die den Streusalzbedarf maßgeblich bestimmen, so wird klar, dass

Faktoren für Streustoffbedarf (tauende Stoffe)	sehr wichtig	wichtig
Aktuelle Fahrbahntemperatur und weitere Entwicklung	x	
Aktuelle Lufttemperatur und weitere Entwicklung		x
Fahrbahnzustand/Wasserfilmdicke (Wassermenge)	x	
Zeitpunkt der Taustoffausbringung – präventiv oder kurativ	x	
Taustoffart (FS30, FS100)	x	
Restsalz		x
Fahrbahnbelag – dicht oder offenporig (OPA-Belag)	x	
Taustoffwirkung	x	
Qualität der Streustoffausbringung		x
Verkehrseinfluss		x
....		

Tabelle 1: Faktoren für den Streustoffbedarf (nicht vollständig)

das Einsatzpersonal bei der Festlegung des Streustoffbedarfs überfordert wird. Die manuell gewählten Streudichten durch das Einsatzpersonal weichen daher auch im Vergleich bei gleichen Bedingungen sehr stark voneinander ab. Unterschiede mit dem Faktor 2 sind keine Seltenheit. Diese Unterschiede sind nachvollziehbar, da die Einschätzung der relevanten Faktoren sehr schwierig ist und darüber hinaus die Eigen Erfahrungen (positive wie negative) mitbestimmend für die jeweilige Streustoffdosierung durch das Einsatzpersonal sind.

Insbesondere aus dem Faktor „Zeitpunkt der Taustoffausbringung“ und durch das in den letzten Jahren eingeführte „Flüssigstreuen“ (FS100) leitet sich der dringende Bedarf nach einer „Automatisierung des Streuens“ ab. Die hierbei erforderlichen Differenzierungen bei der Streustoffdosierung sind zu vielfältig und vom Einsatzpersonal kaum bzw. nicht zu bewältigen. Eine Automatisierung ist

hierbei keine „Entmündigung“ des Einsatzpersonals, sondern eine Unterstützung. Das Einsatzpersonal muss für die Überwachung der Systeme weiterhin die erforderlichen Kenntnisse aufweisen, um bei Bedarf zur Sicherung des Winterdienstes erfolgreich eingreifen zu können.

Die im System hinterlegten Streustoffdosierungen müssen natürlich eine ausreichende Sicherheitsmarge beinhalten. Systembedingte Toleranzen sowie die nach einem Präventiveinsatz sich ergebenden Änderungen bei der Fahrbahntemperatur und -feuchte müssen ausreichend berücksichtigt werden. Verantwortlich hierfür sind die Auftraggeber (Straßenbauverwaltung, Kommune etc.), die das System für den Straßenwinterdienst bereitstellen, nicht das Einsatzpersonal. Durch vorliegende Erfahrungen, die in entsprechenden Hinweispapieren und Merkblättern hinterlegt sind, werden den Verantwortlichen für ihre Festlegungen Hilfestellungen gegeben.

2 Teilautomatisierte Streustoffdosierung

Bereits 1993 wurde vom Bundesverkehrsministerium (Hahn 1993), unter Hinweis auf die damaligen technischen Entwicklungen, die „Automatisierung des Streuens“ gefordert.

Ein Vorschlag hierzu wurde in der Straßenbauverwaltung von Nordrhein-Westfalen (Niebrügge 1995) entwickelt. Die Idee ergab sich bereits 1987 durch die Anwendung der berührungslosen Erfassung der Fahrbahntemperatur mittels eines Infrarotpyrometers (Infrarotthermometer). Dieser wurde im Rahmen einer Thermografie für die Festlegung von Standorten für Straßenwettersta-

As far back as the 1980s, the Federal Ministry of Transport in Germany called for the automation of the spreading of de-icing agents for the purposes of winter maintenance. The first step in this direction was the development of the temperature-controlled dosage of de-icers, which was launched on the market in 1994. This spreading method takes into account two decisive factors (namely the pavement temperature and the level of moisture on the pavement) when calculating the amount of de-icer required. This allows for savings of up to 30 per cent. However, despite being recommended in various information papers and the Instructions for Road Winter Maintenance, this method is not being used as widely as expected. Thanks to targeted research projects and tests in the field, knowledge of the impact of de-icing agents and timings as well as developments leading to the optimized application of such agents have been improved and/or implemented over the past ten years. One major step forward in the optimisation of the dosage of de-icing agents has been the development in a research project of an algorithm for the dosage of de-icing agents. The results were used to refine the temperature-controlled, partially automated dosage of de-icing agents. The type of spreading application (preventive and curative) as well as the spreading of liquid de-icing agent, which was introduced in recent years, are now taken into consideration. These ongoing developments and recommendations regarding the requirements for the technology to be used, taking into consideration practical experience in this field, have been integrated into the information paper published by the Working Committee on Winter Maintenance at the Road and Transportation Research Association (FGSV) in 2015. The fundamentals of automated spreading have been extended to include the results of studies and research findings. Technical implementation has already been successfully tested as part of a research project. Short-term forecasts (for the next three hours) provided by Germany's National Meteorological Service, which are needed for preventive spreading, have been successfully integrated into the system online. For full implementation, sensors capable of contactless recording of the pavement condition (dry, moist, wet, ice) are required. Industry has already presented corresponding technology, the quality of which has yet to be tested. To ensure swift implementation, the really relevant factors should be included in a cost-benefit analysis. The system could subsequently be fine-tuned as required.

tionen vom Deutschen Wetterdienst genutzt. Der Umsetzungsvorschlag wurde Ende der 1980er-Jahre mit einem Streumaschinenhersteller realisiert und nach einigen Praxisversuchen 1994 im Markt eingeführt.

In Deutschland werden aktuell nach Einschätzungen von Herstellern (Küpper-Weisser, Epoke, Schmidt-Nido) ca. 30 bis 40 % der Streumaschinen mit einer Kapazität von

ca. 3 m³ und mehr mit der temperaturgesteuerten Streustoffdosierung verkauft. Im Export sind die Anteile geringer. Es sind im Wesentlichen die Straßenbauverwaltungen der Länder und große Kommunen, die diese Technik beschaffen.

Im Bild 1 sind die Systemskizze, die Vorgaben zur Streustoffdosierung in Abhängigkeit von der Fahrbahntemperatur sowie die

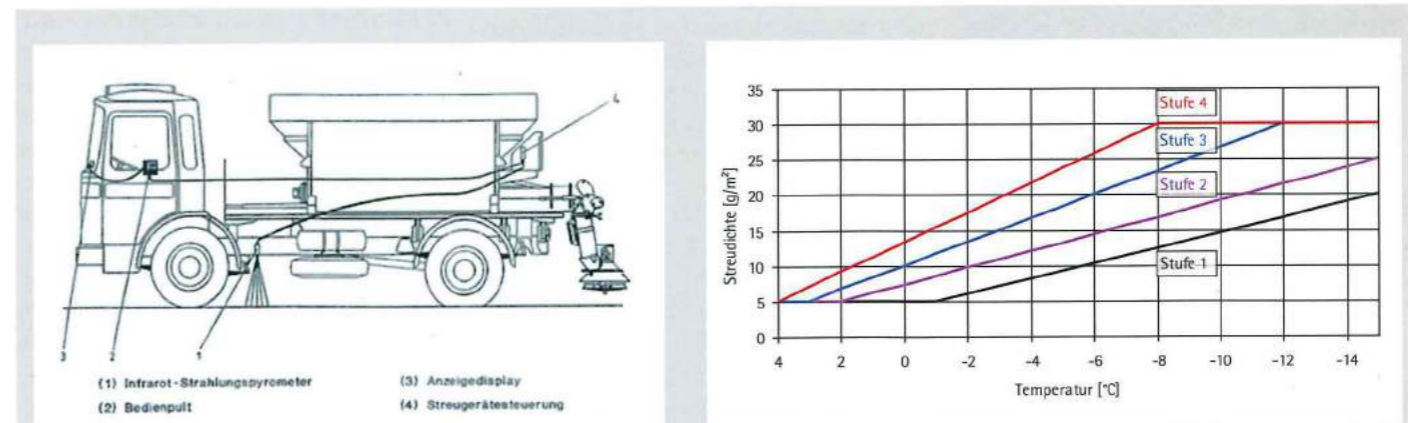


Bild 1: Teilautomatisierte (temperaturabhängige) Streustoffdosierung mit Streustufen

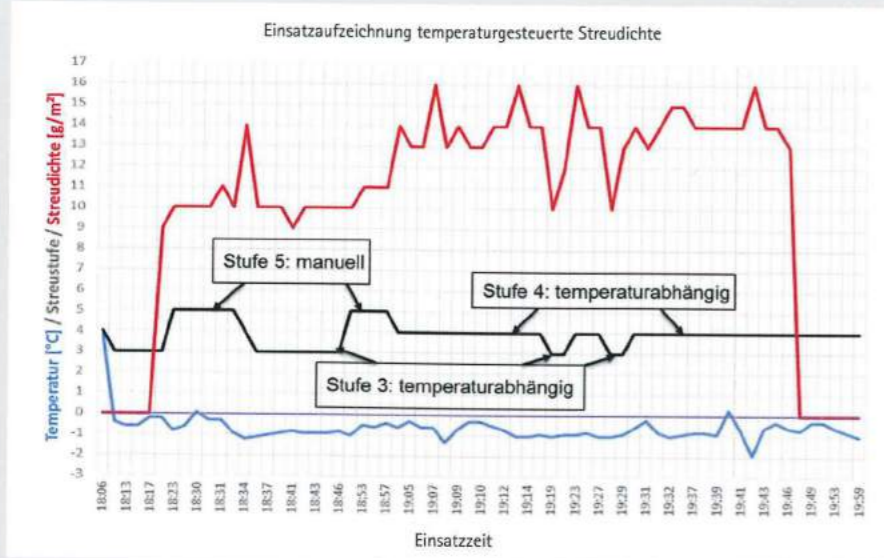


Bild 2: Grafische Darstellung einer aufgezeichneten Einsatzfahrt

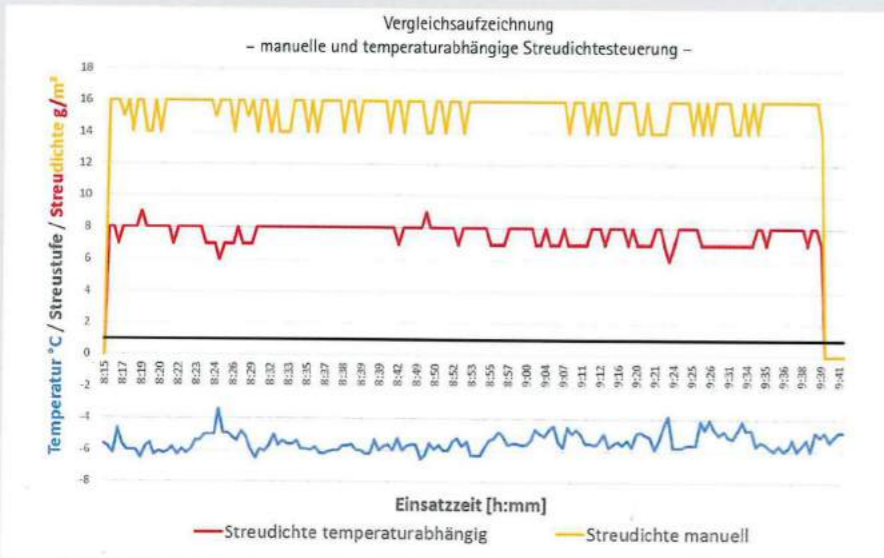


Bild 3: Vergleichsaufzeichnung manuelle und temperaturabhängige Streudichtesteuerung

vorgegebenen Streustufen dargestellt. Es stand hiermit erstmals eine teilautomatisierte Streustoffdosierung in Abhängigkeit von der berührungslos gemessenen Fahrbahntemperatur zur Verfügung. Hierbei wird über eine Streustufenwahl die ebenfalls relevante Feuchtemenge aus dem vom Bedienpersonal einzuschätzenden Fahr-bahnzustand und der daraus resultierenden Feuchtemenge auf der Fahrbahn berücksichtigt.

Die Straßenbauverwaltung in Nordrhein-Westfalen (Straßen.NRW) berücksichtigt seit der Markteinführung bei der Beschaffung von Streumaschinen diese Zusatzausstattung.

Zur Überprüfung der teilautomatisierten Steuerung wurden nach der Markteinführung verschiedene Vergleichstests bezüglich der Einsparungsgrößen und der Wirksamkeit

durchgeführt. Im Bild 2 ist beispielhaft eine Aufzeichnung einer Einsatzfahrt mit der Temperatursteuerung grafisch dargestellt. Hierbei wurden während der Einsatzfahrt verschiedene Streustufen vom Bediener gewählt. Die zeitweise gewählte Streustufe 5 ist im Regelfall eine temperaturunabhängige Steuerung. Hier hat der Bediener kurzfristig die Dosierungsvorgabe manuell eingestellt.

Im Bild 3 ist eine vergleichende Aufzeichnung einer Einsatzfahrt enthalten. Hierbei wurde die vom Bediener gewählte individuelle Streudichteeinstellung umgesetzt und parallel die sich bei einer temperaturabhängigen Steuerung ergebende Streudichte in der Streustufe 1 mit aufgezeichnet. Die Differenzen sind hierbei erheblich.

Bei Praxistests und Vergleichsuntersuchungen (Schweiz, Deutschland) wurden Einsparpotenziale von bis zu 30 % bei ausreichender Wirksamkeit der Winterdienstseinsätze nachgewiesen. Die Anwendung der temperaturabhängigen Streustoffdosierung wird aufgrund dieser Ergebnisse und der vorliegenden positiven Praxiserfahrungen in den Merkblättern und Hinweispapieren für den Straßenwinterdienst in Deutschland seit vielen Jahren aus ökologischen und ökonomischen Gründen zur Anwendung empfohlen.

Diese Empfehlung begründet sich alleine schon bei einer ökonomischen Bewertung. Nimmt man nur den durchschnittlichen bundesweiten Taustoffdurchsatz der letzten 10 Jahre auf den Bundesfernstraßen mit ca. 825.000 Tonnen Streusalz, so ergibt sich, dass bei einer Einsparung von nur 10 % insgesamt 82.500 Tonnen Streusalz pro Winterperiode weniger ausgebracht und somit eine Kostenreduktion von ca. 6,0 Mio. €/Winterperiode erreicht würde. Neben der ökonomischen Bewertung dürfen allerdings die sich ergebenden ökologischen Vorteile nicht vernachlässigt werden. Eine Einschätzung, welche Einsparungen durch die Verwendung der bei den Winterdiensten bereits vorhandenen Systeme tatsächlich erzielt wurden, ist aufgrund der fehlenden Datenbasis und der sehr vielen weiteren verbrauchsbestimmenden Randbedingungen kaum möglich.

3 Erfahrungen mit der teilautomatisierten Streustoffdosierung

Es liegen vielfältige Erfahrungen aus dem bisherigen Anwendungszeitraum von über 20 Jahren mit der teilautomatisierten Streustoffdosierung vor. Diese Erfahrungen führten zwischenzeitlich zu kleineren Anpassungen der Vorgaben zur Streustoffdosierung in den einzelnen Streustufen. Die technische Ausführung ist unverändert geblieben. Bei den potenziellen Anwendern besteht zur Anwendung der teilautomatisierten Streustoffdosierung eine große Bandbreite an Meinungen. Aus Beobachtungen ist abzuleiten, dass die technischen Umsetzungen in der Praxis, aufgrund fehlender Kenntnisse und nicht ausreichender Ausführungsvorgaben, häufig nicht den Anforderungen für eine optimale Systemnutzung entsprechen.

3.1 Nutzerbewertungen der teilautomatisierten Streustoffdosierung

Die Bewertung der temperaturgesteuerten Streustoffdosierung fällt in der Praxis des Winterdienstes sehr differenziert aus.

Auf der einen Seite sind die Nutzer zu nennen, die sich mit der Technik auseinandergesetzt und durch eine kritisch begleitete Anwendung Erfahrungen gesammelt haben. Die Vorteile wurden erkannt, das System akzeptiert und entsprechend genutzt. Darüber hinaus gibt es Nutzer, die das System nicht hinterfragen, sondern direkt in der Praxis anwenden und kein Problem damit haben. Dieser Teil kommt häufig von den externen Dienstleistern, ist also Fremdpersonal, welches nach Anweisung arbeitet.

Zuletzt gibt es den Teil des Einsatzpersonals, das skeptisch ist, kein Vertrauen in die bereitgestellte Technik hat und teilweise auch den Vorgabewerten für die Dosierung misstraut. Es wird argumentiert, man sei sich in der Bestimmung der erforderlichen Streudichte auf der Grundlage der eigenen Erfahrungen sicher und benötige diese Steuerung daher nicht. Diese würde ggf. auch zu einer zu geringen Dosierung führen und damit die Verkehrssicherheit gefährden.

Häufig wird auch die Einschätzung der Feuchtemenge und damit die Wahl der richtigen Streustufe als schwierig dargestellt. Zusätzlich wird bemängelt, dass bisher keine Differenzierung zwischen Präventiv- und Kurativ Einsatz vorhanden ist.

3.2 Fehler in der technischen Umsetzung

Für die temperaturgesteuerte Streustoffdosierung ist neben der erforderlichen Programmierung der Streustufen nur die IR-Kamera als technisches Bauteil am Winterdienstfahrzeug bzw. an der Winterdienstmaschine notwendig.

Die wesentlichen relevanten Anforderungen an die IR-Kamera, wie z. B. Maßnahmen gegen Fehlmessungen durch Thermoschock, der durch eine plötzliche starke Änderung der Umgebungstemperatur eintritt oder gegen Wärmequellen im Umfeld der Kamera, müssen beachtet und eingehalten werden. Aus Kostengründen werden teilweise IR-Kameras angeboten, die diese Kompensationsvorgaben nicht einhalten. Wichtig ist aber auch die richtige Position am Fahrzeug oder an der Streumaschine. Hier sind in der Praxis häufig ungünstige oder sogar falsche Installationen zu beobachten.

Die Umsetzung einer plötzlichen Änderung der Fahrbahntemperatur in eine entsprechend geänderten Streustoffdosierung – z. B. beim Übergang zu einer Brücke – benötigt Zeit für die Signalverarbeitung, für die hydraulische Umsetzung der erforderlichen Veränderung in der Taustoffförderung sowie des Auswurfs des Taustoffs bis zur Taustoffablage auf der Straße. Die elektronische und hydraulische Umsetzung erfolgt innerhalb von Millisekunden, also sehr schnell. Der wesentliche Zeitbedarf setzt sich aus der Zeit für die veränderte Mengenzu-

führung zum Streustoffverteiler und der Zeit zwischen dem Abwurf des Taustoffs vom Streustoffverteiler bis zum Ablagepunkt auf der Straße zusammen. Daher sollte der Abstand zwischen der Temperaturerfassung und dem Ablagepunkt möglichst groß sein. Die gefahrene Einsatzgeschwindigkeit ist hierbei entscheidend. Bei 50 km/h beträgt der Fahrweg innerhalb von 0,5 Sekunden z. B. ca. 7 m. In der Praxis beobachtet man häufig die Installation der IR-Kamera am Ende des Fahrzeugs bzw. der Streumaschine. Ein Grund hierfür sind die begrenzten Platzverhältnisse innerhalb des Fahrzeugrahmens hinter dem Fahrerhaus oder im Frontbereich hinter der Anbauplatte für die Aufnahme des Schneeflugs. Häufig findet man dann auch noch Kamerainstallationen, bei denen die Optik der IR-Kamera so ausgerichtet ist, dass sich der Messpunkt in der Rollspur befindet. Für eine sichere Streustoffdosierung ist das negativ, da in der Rollspur höhere und damit weniger kritische Oberflächentemperaturen vorhanden sind.

Es sind auch Anbausituationen zu finden, die für die Steuerung der Streustoffdichte völlig ungeeignet sind, da sich im Strahlengang der IR-Kamera Fahrzeugteile befinden und von der IR-Kamera deren Oberflächentemperatur erfasst werden. Nachteilig auf das Messergebnis ist auch, wenn starker Sprühnebel von den Fahrzeugreifen im Erfassungsbereich der Kamera auftritt. Im Bild 4 sind einige Beispiele ungünstiger Anbausituationen ersichtlich.

CARD/1

Die Sprache des Ingenieurs

Wirklichkeitsnah und zielgenau – Das CARD/1 Entwurfssystem für Straße und Entwässerung.

... mehr unter www.card-1.com

CARD/1: ein Produkt der IB&T GmbH

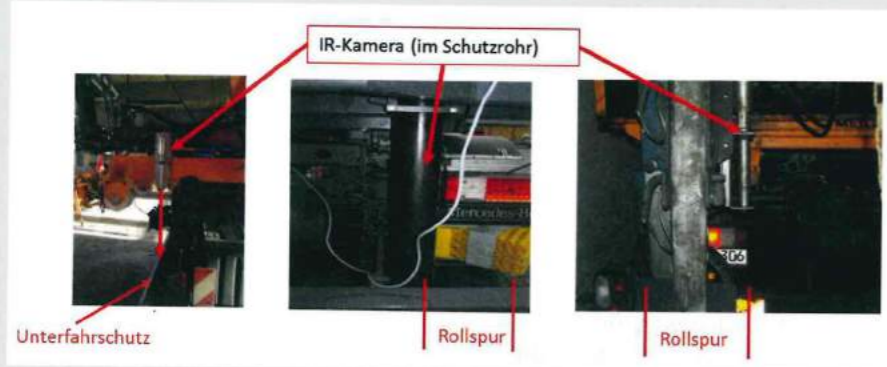


Bild 4: Negative Anbaubeispiele für die IR-Kamera

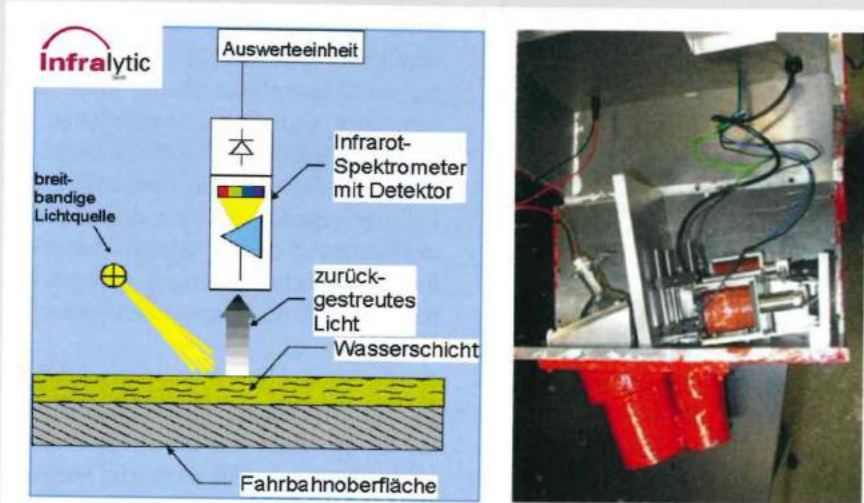


Bild 5: Messprinzip und technische Umsetzung für Praxistest (Quelle: Infralytic GmbH)

4 Weiterentwicklungen, Erkenntnisse aus Forschung und Praxis

Die Fahrbahnfeuchte ist neben der Oberflächentemperatur ein wesentlicher Faktor für die Streustoffdosierung und somit für die Automatisierung des Streuens. Straßen.NRW hat mit der Zielsetzung, die Weiterentwicklung zu forcieren, zwischenzeitlich die Entwicklung eines Sensors für die mobile Erfassung der Fahrbahnfeuchte durch die Bereitstellung von Expertenwissen und eines Winterdienstfahrzeugs zur Einsatzprüfung unterstützt. Die Entwicklung des Sensors, die von der DBU – Deutsche Bundesstiftung Umwelt – finanziell gefördert wurde, war vielversprechend (Niebrügge 2003). Bild 5 sind das Messprinzip und das in einem Gerätekasten installierte System für den Praxistest zu entnehmen.

Aufgrund fehlender Anschlussfinanzierung wurde die Weiterentwicklung leider eingestellt.

Von der Industrie wurde zwischenzeitlich die routen- bzw. positionsabhängige automati-

sche Einstellung der Streustofflage und -breite entwickelt. Die positionsabhängige Steuerung erfolgt über GPS-Signale. Für die automatischen Einstellvorgänge ist eine „Lernfahrt“ zur Erfassung der im Routenverlauf erforderlichen Streubreiten und -lagen durchzuführen. Diese werden im Routenprogramm mit den gleichzeitig erfassten Positionsdaten zusammengeführt und im Steuerprogramm hinterlegt. Hiermit steht ein weiterer Baustein zur Automatisierung des Streuens zur Verfügung.

Zur Weiterentwicklung tragen aber auch die in den letzten 10 Jahren gewonnen vielfältigen und nachfolgend angeführten Erkenntnisse aus Forschungsarbeiten und den einhergehenden Praxistests bei:

- Verteilung von Taustoffen auf der Fahrbahn (Hausmann 2009)
- Praktische Erfahrungen Flüssigstreuen (Niebrügge 2011)
- Empfehlungen zum richtigen Ausbringen von Tausalzlösungen (Hausmann 2011)
- Optimierung Feuchtsalzsteuerung (TU Wien 2011)

- Optimierung Streustoffausbringung – Berechnung der optimalen Streudichte im Straßenwinterdienst (Hausmann 2015).

5 Optimierung der temperaturgesteuerten Taustoffausbringung

Die aus der Forschung und aus Erprobungen gewonnenen wichtigen Erkenntnisse haben Eingang in verschiedenen von dem Arbeitsausschuss Winterdienst der FGSV erarbeitete Hinweispapiere zur Winterdienstdurchführung gefunden. So ist z. B. das Hinweispapier „Empfehlungen für ein effektives Räumen und Streuen“ (FGSV 2011) eine wichtige Anleitung für das Einsatzpersonal zur richtigen Streustoffdosierung.

Die Erkenntnisse konnten aber auch unmittelbar für die Optimierung der teilautomatisierten Streustoffdosierung genutzt werden. Insbesondere die Ergebnisse aus dem Forschungsauftrag mit der Aufgabe, Hinweise zur „Optimierung der Streustoffausbringung“ zu erarbeiten und die „Berechnung der optimalen Streudichte im Straßenwinterdienst“ (Hausmann 2015) zu entwickeln, dienen als Grundlage für die Optimierung der teilautomatisierten Streustoffdosierung.

5.1 Empfehlungen zur temperaturgesteuerten Streustoffdosierung

Der Arbeitsausschuss Winterdienst der FGSV hat auf Grundlage der angeführten Erkenntnisse das Hinweispapier „Empfehlungen zur temperaturgesteuerten Streustoffdosierung“ erarbeitet (FGSV 2015).

Nachfolgend die wesentlichen Inhalte:

- Anforderungen an die IR-Kamera
- Anbauhinweise
- Prüfung der Messgenauigkeit
- Erläuterungen zu den relevanten Faktoren für die Streustoffdosierung
- Festlegung der Streustufen und Streudichten nach Einsatzart und Taustoffart.

Die Empfehlungen zu den Anforderungen an die IR-Kamera (Tabelle 2) sind relevant für eine sichere Funktion. Durch offensichtlich fehlerhafte Temperaturen, z. B. aufgrund eines nicht kompensierten thermischen Drifts, werden unweigerlich Akzeptanzverluste beim Einsatzpersonal gefördert, die somit die Systemnutzung infrage stellen. Die für eine hohe Qualität erforderlichen Investitionen zahlen sich durch die erhöhte Genauigkeit und damit Sicherheit in der Steu-

erung der Taustoffdosierung aus. Zu den einzelnen Anforderungen sind im Hinweispapier der FGSV Erläuterungen enthalten.

Für den Anbau der IR-Kamera sowie den damit verbundenen Erfassungsbereich der Fahrbahntemperatur innerhalb des Fahrbahnquerschnitts werden Hinweise gegeben, um Fehler bei der Temperaturerfassung zu vermeiden.

Empfohlen wird der Anbau mit einer möglichst großen Distanz zwischen der Temperaturerfassung und dem Ablagebereich des Taustoffs. Ist aus Platzgründen ein Anbau hinten am Fahrzeug oder an der Streumaschine notwendig bzw. nicht zu umgehen, so wird empfohlen, die Einstellzeit der IR-Kamera zu verkürzen. Die Temperaturerfassung der Fahrbahnoberfläche sollte im Fahrbahnquerschnitt möglichst in den Bereichen mit den niedrigsten – also kritischen – Oberflächentemperaturen erfolgen. Diese liegen immer außerhalb der Rollspuren.

Im Bild 6 sind zwei sinnvolle Anbaubeispiele für die IR-Kamera dargestellt. Im linken Bild ist die Kamera hinter dem Fahrerhaus innerhalb des Fahrzeugrahmens und im rechten Bild an der Streumaschine vorne links montiert. Es wird bei diesen Beispielen im Regelfall die Temperaturerfassung außerhalb der Rollspuren sichergestellt. Bei der Montage oben an der Streumaschine ist zusätzlich die Verschmutzungsproblematik der Kameraoptik stark reduziert.

Neben der Fahrbahnoberflächentemperatur muss die Fahrbahnfeuchte, da die messtechnische Erfassung noch nicht in der Praxis umgesetzt ist, weiterhin durch das Einsatzpersonal anhand von vorgegebenen optischen Merkmalen visuell abgeschätzt und mittels der Streustufenschaltung berücksichtigt werden.

Der Faktor Fahrbahnfeuchte kann auf der Basis der vorliegenden Erkenntnisse aus den unter dem Abschnitt 4 genannten Untersuchungen genauer berücksichtigt werden. Für die Ermittlung der notwendigen Streudichten wurden daher für die einzelnen Streustufen die Angaben zu den maximal vorhandenen bzw. zu erwartenden Feuchtemengen (Tabelle 3) aus dem Forschungsbericht „Berechnung der optimalen Streudichte im Straßenwinterdienst“ (Hausmann 2015) herangezogen. Hierbei sind auch die optischen Erkennungsmerkmale angegeben, die für die Einschätzung der Feuchtemenge bzw. für die Streustufenwahl durch das Einsatzpersonal wichtig sind.

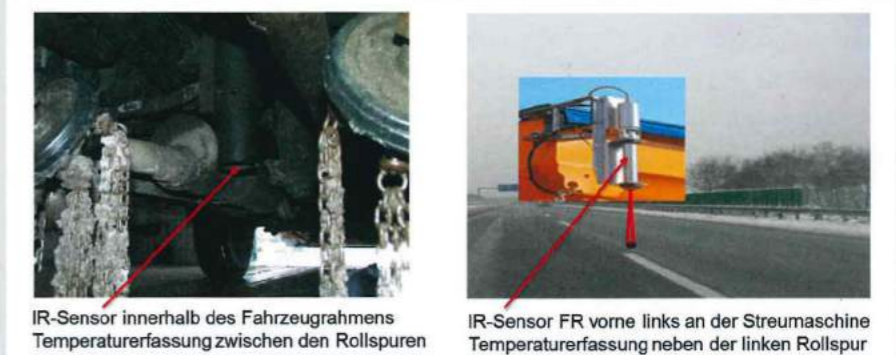


Bild 6: Anbaubeispiele IR-Kamera

Spektrale Empfindlichkeit	8 bis 14 µm
Erforderlicher Messbereich	- 15 bis + 5 °C
Einstellung Emissionsgrad	0,95 ± 0,01
Zul. Betriebstemperatur (Einsatztemperatur)	- 25 bis + 40 °C
Genauigkeit im Messbereich	± 1 °C
Durchmesser Messfläche auf Fahrbahnoberfläche	≥ 2 bis ≤ 10 cm
Einstellzeit (90 %)	≤ 0,5 sec.
Thermischer Drift/Thermoschock	kompensiert/ohne Einfluss
Schutzklasse	≥ IP 65
Abschirmung	EMV-zertifiziert

Tabelle 2: Anforderungen an die IR-Kamera (FGSV 2015)

Vorhandener/erwarteter Fahrbahnzustand	Wassermenge [g/m²]	Wasserfilmdicke [mm]	optische Erkennungsmerkmale
trocken	-	-	helle Fahrbahnoberfläche
feucht	bis 20	bis 0,02	deutlich dunkle Fahrbahnoberfläche
nass	bis 60	bis 0,06	deutlich dunkle Fahrbahnoberfläche/ beginnende Sprühfahnen
Reifglätte	bis 20	bis 0,02	Reif außerhalb der Rollspuren, Eiskristalle an der Fahrbahnoberfläche
Eisglätte	bis 60	bis 0,06	Teil- oder Komplettvereisung der Fahrbahnoberfläche
Schneeglätte	1 cm loser Schnee ≈ 100 g/m²	1 cm loser Schnee ≈ 0,1 mm	Fahrbahn schneebedeckt, in den Rollspuren festgefahrener/vereister Schnee

Tabelle 3: Wassermengen bei unterschiedlichen Fahrbahnzuständen und Erkennungsmerkmale

Die weiteren Faktoren, die berücksichtigt werden, sind die Liegezeiten bzw. die Streuverluste des Taustoffs innerhalb eines bestimmten Zeitrahmens nach der Ausbringung. Diese sind beim FS30-Verfahren größer als nach der Ausbringung von flüssigem Taustoff (FS100). Zusätzlich wird der tauwirksame Anteil im ausgebrachten Taustoff und beim Präventiveinsatz der erwartete Temperaturabfall innerhalb der ange-



Einsatzart	Vorlaufzeit vor Glätteereignis [h]	Temperaturabsenkung [°K]
Feuchtsalz (FS30, FS variabel)	2	2
Flüssigstreuen (FS100)	3	3

Tabelle 4: Temperaturabsenkung nach dem Präventiveinsatz

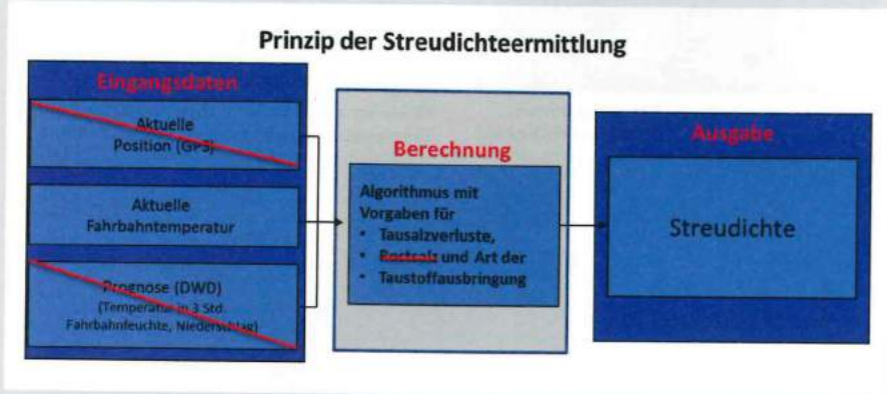


Bild 7: Prinzip der Streudichteermittlung nach Hausmann mit Entfall einiger Eingangsdaten

nommenen Vorlaufzeit für den Präventiveinsatz (Tabelle 4) berücksichtigt.

Beim Flüssigstreueinsatz wird eine längere Vorlaufzeit als beim Feuchtsalzeinsatz vorgegeben (Tabelle 4). Man geht davon aus, dass in der Praxis durch die geringeren Tausalzverluste bzw. die längere Liegezeit des Tausalzes beim Flüssigstreuen das zur Verfügung stehende größere Zeitfenster für den Präventiveinsatz genutzt wird. Mit der

längeren Vorlaufzeit ist eine höhere Temperaturabsenkung in diesem Zeitraum möglich und daher auch zu berücksichtigen.

Die Berücksichtigung der Faktoren erfolgt in Anlehnung an das in der o. a. Forschungsarbeit von Hausmann entwickelte Modell zur Ermittlung der objektiv notwendigen Streudichten. Das Prinzip der Streudichteermittlung lässt sich durch Bild 7 verdeutlichen. Für die teilautomatisierte

Streudichtesteuerung werden die Eingangsdaten „Aktuelle Position“ mittels GPS und die „Prognose für die Temperatur in 3 Stunden sowie Fahrbahnzustand und Niederschlag“ nicht berücksichtigt.

Eine ggf. vorhandene Menge an Restsalz, die nach vorliegenden Erkenntnissen 24 Stunden nach einem vorhergehenden Einsatz ohne zwischenzeitlichen Niederschlag ca. 2,0 g/m² betragen kann, wird aus Sicherheitsgründen ebenfalls nicht berücksichtigt.

5.2 Streustufen mit Streudichten für präventive und kurative Streueinsätze

Auf der Grundlage des im Rahmen der Forschung von Hausmann entwickelten Algorithmus, unter Berücksichtigung weiterer Erkenntnisse aus der Forschung und der in dem Arbeitspapier „Empfehlungen für ein effektives Räumen und Streuen im Straßenwinterdienst“ (FGSV 2011) berücksichtigten Erfahrungen sind die nachstehenden Vorgaben für die Streustoffdosierung beim Präventiv- und Kurativeinsatz sowie für das Feuchtsalz- wie auch für das Flüssigstreuen entwickelt worden.

Die nachstehend dargestellten und in dem Arbeitspapier (FGSV 2015) enthaltenen Streustufen (Bilder 8 und 9) mit den Streustoffdosierungen werden zur Anwendung empfohlen. Auf der Grundlage eigener Erkenntnisse und ggf. besonderer örtlicher

Bedingungen können und sollten diese angepasst werden.

Die Erkennungsmerkmale für die Einordnung des vorhandenen Fahrbahnzustands in Verbindung mit dem aufgrund der Wetterentwicklung zu erwartenden Fahrbahnzustand bei Präventiveinsätzen sind in der Tabelle 5 angeführt. Die Erkennungsmerkmale für einen vorhandenen Fahrbahnzustand bei Kurativeinsätzen sind Tabelle 6 zu entnehmen. Die Begriffe in den Spalten „erwarteter Fahrbahnzustand“ (Tabelle 5) und „vorhandener Fahrbahnzustand“ (Tabelle 6) sollten im Rahmen einer Programmierung den jeweiligen Streustufen zugeordnet werden.

6 Automatisiertes Streuen

Nach den vorstehenden Optimierungsschritten für das teilautomatisierte Streuen muss das „Automatisierte Streuen“ – also das Streuen ohne im Regelfall erforderliche Vorgaben und Eingriffe des Einsatzpersonals – in einem nächsten Schritt realisiert werden. Im Rahmen der Forschung wurde in einem Modellversuch das von Hausmann konzipierte Prinzip (Bild 7) bereits in der Praxis umgesetzt. Hierzu wurden neben den Daten der Fahrbahntemperatur aus der berührungslosen Messung mit dem am Fahrzeug vorhandenen IR-Thermometer auch die Fahrbahntemperaturen der im Streubezirk vorhandenen stationären Straßenwetterstationen berücksichtigt (Hausmann 2015). Eingang in die Berechnung fanden auch die Punktprognosen des Deutschen Wetterdienstes für die nächsten 3 Stunden für die stationären Straßenwetterstationen, die ständig aktualisiert online an die Streumaschinensteuerung übermittelt wurden. Die zu erwartende Fahrbahnfeuchte wurde im Rahmen der Prognose pauschaliert mit übermittelt. Im Steuerungsmodul wurden die Eingangsdaten unter Anwendung des im Rahmen der Forschungsarbeit entwickelten Algorithmus verarbeitet und in eine den jeweiligen Bedingungen angepasste Streudichte umgesetzt. Das entwickelte Steuerungsmodul mit dem eingesetzten Algorithmus wurde zur Erprobung in der Winterdienstpraxis in zwei Streumaschinen im Blindbetrieb mit eingesetzt. Die im Vergleich zur manuellen bzw. teilautomatisierten Steuerung parallel aufgezeichneten Daten zeigen, dass die automatisierte Steuerung für den jeweiligen Einsatzfall insbesondere im Vergleich zu der manuellen Streustoff-

vorhandener Fahrbahnzustand	erwarteter Fahrbahnzustand	Erkennungsmerkmale
trocken	Reifglätte	helle Fahrbahnoberfläche
feucht	Eisglätte (überfrierende Feuchte)	deutlich dunkle Fahrbahnoberfläche
nass	Eisglätte (überfrierende Nässe)	beginnende/vorhandene Sprühfahnen
Trocken, feucht	Schneeglätte	Wetterprognose/Wetterbeobachtung

Tabelle 5: Erkennungsmerkmale für den Fahrbahnzustand beim Präventiveinsatz

vorhandener Fahrbahnzustand	Erkennungsmerkmale
Reifglätte	helle Fahrbahnoberfläche
Eisglätte (überfrierende Feuchte)	deutlich dunkle Fahrbahnoberfläche
Eisglätte (überfrierende Nässe)	beginnende/vorhandene Sprühfahnen
Schneebedeckung (beim Schneefall)	Schnee auf der Fahrbahn/Schneefall
Schneeglätte (nach Schneefall beim Räumen)	Schnee auf der Fahrbahn, Rollspuren ggf. vereist

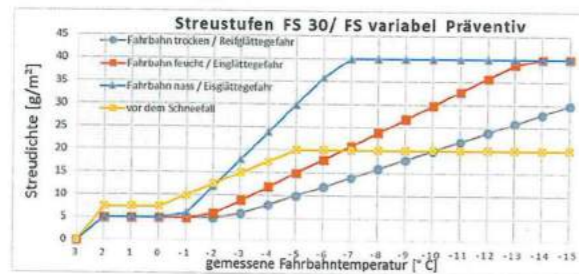
Tabelle 6: Erkennungsmerkmale für den vorhandenen Fahrbahnzustand beim Kurativeinsatz



Bild 10: Modelldarstellung „Automatische Streudichteermittlung“ (Quelle: Badelt, BAST)

Bild 8: Streustufen für das Präventivstreuen mit Feucht- und Flüssigsalz

Präventiv Feuchtsalzstreuen

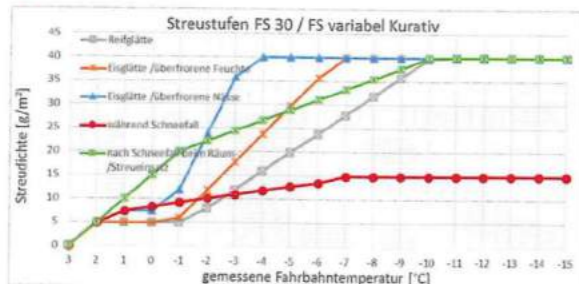


Präventiv Flüssigstreuen



Bild 9: Streustufen für den Kurativeinsatz mit Feucht- und Flüssigsalz

Kurativ Feuchtsalzstreuen



Kurativ Flüssigstreuen

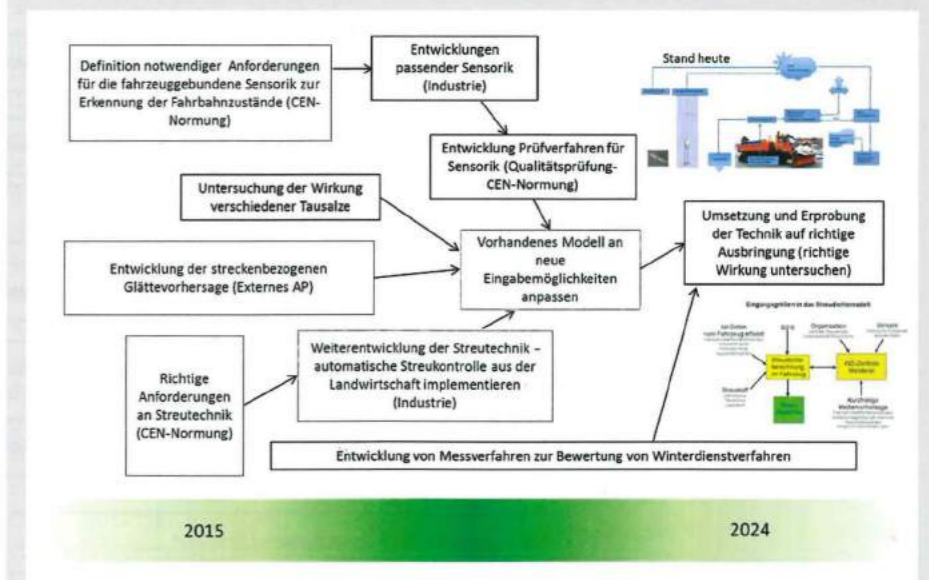
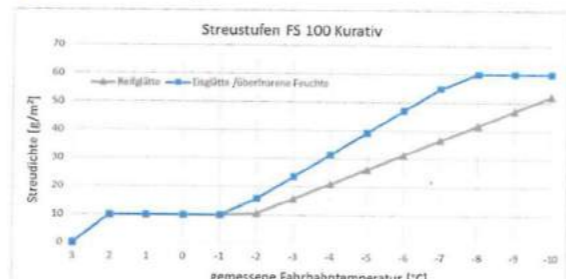


Bild 11: Arbeitsplan „Entwicklung der automatisierten Streudichtebestimmung“ Quelle: BAST

Bild 12: Sensor Typ MARVIS-UMB, Testversion mit Schutzhaube am Fahrzeug der BAST



dosierung die plausibleren und geringeren Streudichten gesteuert hätte.

6.1 Voraussetzungen zur Umsetzung des automatisierten Streuens

Die Grundlagen für die Automatisierung der Streudichtesteuerung sind geschaffen. Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) hat ein Modell entwickelt, welches alle Vorgaben für die automatische Berechnung der objektiv notwendigen Streustoffdosierung beinhaltet. Im Bild 10 ist das Modell dargestellt.

Das Modell ist sehr weitgehend und stellt ein Optimum dar. Es beinhaltet neben der bisher diskutierten Streudichtebestimmung auf Basis eines vorhandenen oder zu erwartenden Straßenzustandes und der jeweiligen Streustoffart FS30 oder FS100 auch die Ermittlung eines optimalen Einsatzzeitpunktes und einer optimierten Einsatzroute. Hierzu müssen neben den Kurzfristprognosen des

Wetterdienstes auch die Verkehrsdaten und die örtlichen organisatorischen Bedingungen in das Modell einbezogen werden.

Zur Umsetzung hat die BAST einen Arbeitsplan (Bild 11) aufgestellt, in dem alle wesentlichen Bausteine enthalten sind. Die Umsetzung dieses Arbeitsplanes ist nach Einschätzung der BAST in einem Zeitrahmen bis 2024 erreichbar.

Hierzu müssen zunächst die Anforderungen beschrieben werden und technische Entwicklungen erfolgen. Darüber hinaus müssen Prüfverfahren für die Sensorik entwickelt werden, damit auf der Basis anerkannter Referenzmessungen deren Eignung überprüft werden kann.

Es ist allerdings nicht sinnvoll, mit der Umsetzung des „Automatisierten Streuens“ abzuwarten, bis der vorgeschlagene Arbeitsplan umgesetzt ist. Für eine schnelle Umsetzung ist der Fokus auf die wesentlichen Faktoren zu richten. Ein großer Fortschritt

wird bereits erreicht, wenn die Fahrbahnfeuchte, die bisher durch Einschätzung des Einsatzpersonals berücksichtigt werden muss, zukünftig während der Einsatzfahrt berührungslos vom Fahrzeug aus erfasst und für die Streustoffdosierung mit berücksichtigt werden kann. Denn nicht alle Parameter haben die entsprechende Relevanz in Bezug auf mögliche Einsparungspotenziale wie die Parameter Fahrbahntemperatur und -feuchte. Es muss somit im Rahmen einer Nutzen-Kostenbetrachtung, jeweils bezogen auf den zu erfassenden Parameter, bewertet werden, ob die Entwicklung der hierzu notwendigen Sensortechnologie wirtschaftlich ist.

6.2 Mobile Sensorik zur berührungslosen Erfassung des Straßenzustandes

Für die berührungslose Erfassung des Straßenzustandes werden bereits Sensoren für die stationären Straßenwetterstationen angeboten bzw. bereits auch eingesetzt. Im Rahmen der europäischen Norm werden daher auch Vorarbeiten für die Festlegung von Anforderungen und für die Beschreibung von Prüfverfahren geleistet. Hier wird noch einiges an Arbeit und Abstimmung erforderlich sein, um zu einem zustimmungsfähigen europäischen Normentwurf zu kommen.

Aus der Entwicklung der stationären Sensoren ergibt sich die Weiterentwicklung dieser Sensoren für die mobile Anwendung. Seit 2014 wird z.B. der Straßenzustandssensor vom Typ „MARVIS-UMB“ (Bild 12) (Fa.

Lufft 2014) angeboten. Mit dem MARVIS-Sensor werden gemäß Datenblatt folgende Parameter erfasst:

- Rel. Feuchte über der Fahrbohnoberfläche
- Fahrbohnoberflächentemperatur
- Taupunkttemperatur
- Fahrbohnzustände:
 - trocken, feucht, nass, Eis, Schnee, kritische/chemische Nässe
- Eisanteil in %
- Reibung (Friction)
- Wasserfilmhöhe.

Mit den genannten Parametern liegen alle benötigten Fahrbohnzustandsdaten, die für eine automatische Streustoffdosierung erforderlich sind, als Eingangsdaten vor. Für eine vollständige Automatisierung, insbesondere für das Präventivstreuen, fehlen nur noch die Prognosedaten über die kurzfristigen Entwicklungen der Fahrbohnentemperatur und der Fahrbohnfeuchte aus Niederschlag. Diese müssen von der Meteorologie für die jeweiligen Straßensegmente online geliefert werden.

Aber auch ohne die Prognosedaten ist bei Nutzung eines entsprechenden Sensors ein weiterer Schritt zur Automatisierung des Streuens umsetzbar. Hierzu muss allerdings geprüft werden, welche von den o. a. Messdaten benötigt werden und wie diese zur Steuerung genutzt werden können. Darüber hinaus müssen die Messwerte qualitativ den Anforderungen entsprechen. Die BAST prüft im Rahmen einer Testreihe den Sensor vom Typ „MARVIS“ in Bezug auf seine Eignung für die entsprechende Nutzung.

7 Zusammenfassung und Ziele

Die teilautomatisierte Streustoffdosierung ist seit 20 Jahren Stand der Technik. Allerdings bestehen bei einem Teil der möglichen Anwender Vorbehalte. Diese nutzen daher diese Technologie und die damit möglichen Einsparungspotenziale nicht oder nur teilweise. Vorliegende Erfahrungen und Beobachtungen zeigen, dass bei der Verwendung dieser Technik und hierbei insbesondere bei der Qualität der eingesetzten IR-Kameras sowie bei deren Einbaupositionen am Fahrzeug bzw. an der Streumaschine, Fehler gemacht werden. Diese Fehler müssen vermieden werden, um keine Akzeptanzverluste durch fehlerhafte Dosierungen und Temperaturanzeigen aufkommen zu lassen.

Aus zahlreichen zwischenzeitlichen Untersuchungen und Ergebnissen aus Forschungsarbeiten konnten wesentliche Erkenntnisse zu Streustoffverlusten, Streustoffdosierungen und insgesamt zur Streustoffanwendung gewonnen werden. Hierzu zählt insbesondere die Anwendung des Flüssigstreuens (FS100).

Die vorstehenden Erfahrungen, Beobachtungen und Erkenntnisse haben den gemeinsamen Arbeitsausschuss Winterdienst der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) und den Fachausschuss des Verbandes Kommunaler Unternehmer (VKU) veranlasst, ein Arbeitspapier mit Empfehlungen zu verfassen, in dem die Erfahrungen und Erkenntnisse sowie Optimierungsmöglichkeiten für die teilautomatisierte, temperaturabhängige Streustoffdosierung eingeflossen sind.

Optimierungen konnten z. B. für die Streustoffdosierung abgeleitet werden. Diese spiegeln sich in angepassten Streustufen mit hinterlegten Streustoffdosierungen für das Präventiv- und Kurativstreuen sowie für das FS30- und FS100-Streuen wider. Dem Anwender wird empfohlen, die im Arbeitspapier enthaltenen Anforderungen für die IR-Kamera sowie zu deren möglichen Anbaupositionen und die Vorgaben zu den Streustoffdosierungen für den Präventiv- wie auch für den Kurativereinsatz mit FS30 oder FS100 bei der Beschaffung von Streumaschinen zu berücksichtigen. Unabdingbar ist hierbei die Schulung der Anwender, damit die notwendige Akzeptanz für die eingesetzte Steuerungstechnik erreicht wird.

Die Entwicklungsschritte von der Idee der temperaturabhängigen Streustoffdosierung 1987 und der Forderung nach einer Umsetzung der „Automatisierung der Streustoffdosierung“ 1993 bis zur Markteinführung eines Sensors für die berührungslose, mobile Erfassung des Straßenzustandes sind im Bild 13 dargestellt. Seit der Markteinführung sind über 20 Jahre vergangen. Mittlerweile ist das „Autonome Fahren“ keine Vision mehr, sondern angestrebtes Ziel in den nächsten 10 Jahren. Erprobungsstrecken sind hierzu festgelegt und genehmigt worden. Wann das „Autonome Streuen“ bzw. das „Automatisierte Streuen“ umgesetzt werden kann, ist noch nicht absehbar. Das Ziel sollte aber sein, in absehbarer Zeit die ersten Streumaschinen mit einer entsprechenden Steuerung einzusetzen.

Betrachtet man den Zeitraum für die Umsetzung des von der BAST entwickelten

Modells zur objektiv notwendigen Streustoffdosierung und den hierfür aufgestellten Arbeitsplan, der geschätzt mindestens 10 Jahre Entwicklungs- und Umsetzungszeit beansprucht, so ist eine konzentrierte Weiterentwicklung zur schnellen Umsetzung umso dringlicher. Es ist in der heutigen Zeit ökonomisch wie auch insbesondere ökologisch nicht mehr hinnehmbar, dass die Streustoffdosierungen immer noch auf Basis subjektiver Einzelerfahrungen des Einsatzpersonals erfolgen. Die Einsparpotenziale mit der teilautomatisierten und insbesondere mit der zukünftig möglichen automatisierten Streustoffdosierung bei Einhaltung der Wirksamkeit sind enorm.

Die Automatisierung des Streuens muss aus vorstehenden Gründen weiter forciert werden. Hierbei ist nicht zu warten, bis die „100%-Lösung“ vorliegt, sondern es sollten die technisch umsetzbaren Einzelschritte zur Erreichung wesentlicher Optimierungen vorgenommen werden. Die Konzentration muss auf das Wesentliche und Machbare ausgerichtet werden. Das Wesentliche ist hierbei die Berücksichtigung von Faktoren mit großer Relevanz wie z. B. die Fahrbohnfeuchte. Die Anforderungen an die einzusetzenden Technologien sollten mit Augenmaß festgelegt werden, da die Toleranzen bei der manuellen Steuerung riesig sind und jede Verbesserung bei Einhaltung der zu erzielenden Verkehrssicherheit einen Erfolg darstellt.

Literaturverzeichnis

Hahn, S. (1993): Neue Entwicklungen und Zielsetzungen im Straßenwinterdienst, Tagungsband FGSV-Kolloquium 1993, S. 61-62

Niebrügge, L. (1995): Automatisierung des Streuens von Tausalz – theoretische Möglichkeiten, praktische Umsetzung, weitere Entwicklungen, Tagungsband FGSV-Kolloquium 1995, S. 80-84

Niebrügge, L. (2003): Messen statt Schätzen, Tagungsband FGSV-Kolloquium Straßenbetriebsdienst, S. 64-68

Fa. Lufft Mess- und Regeltechnik GmbH (2014): MARVIS-UMB, www.lufft-marwis.com

Hausmann, G. (2015): Berechnung der optimalen Streudichte im Straßenwinterdienst, BAST-Bericht V 260

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2011): Praktische Empfehlungen für ein effektives Räumen und Streuen im Straßenwinterdienst, FGSV Verlag, Köln

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2015): Arbeitspapier Temperaturgesteuerte Streustoffdosierung – Empfehlungen und Hinweise zu den technischen Anforderungen und zur Streustoffdosierung, FGSV Verlag, Köln

Bild 13: Entwicklungsschritte „Automatisiertes Streuen“

