

Teil 2:

**Bestimmung der Wiederholbarkeit
von Streubildbeurteilungen**

Horst Badelt

1 Einleitung – Problem/Ziel/ Nutzen

Für die Erhaltung der Verkehrssicherheit und der Kapazität von Straßen und Autobahnen unter winterlichen Bedingungen ist die Vermeidung oder schnelle Beseitigung von wetterbedingter Glätte unabdingbar. Neben dem Räumen von Schnee ist dazu der Einsatz von Tausalzen notwendig. Zum Einsatz kommt fast ausnahmslos angefeuchtetes Natriumchlorid mit verschiedenen Korngrößen. Durch die Gefrierpunktabenkung kann so die Bildung von Glätte vermieden oder das schnelle Schmelzen von Eis, Schnee oder Reif erreicht werden [1, 8, 10].

Eine hohe Wirkung der Salze ist nur dann gegeben, wenn sie auf der Fahrbahnoberfläche mit Streumaschinen entsprechend gleichmäßig verteilt werden.

Als eine Ursache von Eis auf Fahrbahnen wurden Mängel beim Ausbringen von Tausalzen festgestellt. Die Tausalze wurden von den eingesetzten Streumaschinen trotz entsprechender Einstellungen am Bedienpult nicht ausreichend gleichmäßig über die vorgesehene Fahrbahnbreite verteilt.

Wechselnde Austragungsmengen infolge unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten, Streudichten oder auch einer geänderten Anfeuchtung führen zu sehr unterschiedlichen Streustoffverteilungen in Bezug auf die Streubreite oder -streifenlage [4]. Die Streumaschinen müssen für die gewünschten Streustoffverteilungen steuerungstechnisch ihre vorhandenen Einstellelemente automatisch anpassen können, denn die Fahrer der Streufahrzeuge können fehlerhafte Streustoffverteilungen aufgrund der ungünstigen Sichtverhältnisse nur sehr schwer bis gar nicht erkennen und damit nicht von Hand anpassen. Für eine automatische Anpassung der Einstellelemente müssen diese entsprechend justiert sein.

Die Anforderungen und die Prüfverfahren der zurzeit vorhandenen Technischen Lieferbedingungen für Streumaschinen (TLG B3 – Streugeräte, FGSV, 1991 [9]) entsprechen in mehreren Punkten nicht mehr der gängigen Praxis im Winterdienst. So wird eine automatische Einhaltung der Streustreifenlage bei allen Geschwindigkeiten und Streudichten nicht gefordert. Weiterhin beziehen sich die Prüfverfahren nur auf das Ausbringen von trockenen Tausalzen bei niedriger Geschwindigkeit. Tausalze werden jedoch bei der heutigen Streutechnik ange-

feuchtet, um eine bessere Verteilung und bessere Haftung auf der Fahrbahn zu erreichen. Die gleichmäßige Verteilung muss auch bei den in der Praxis gefahrenen Geschwindigkeiten von 60 km/h und höher gewährleistet sein.

Die Überarbeitung der Anforderungen an die Verteilung von Streustoffen und die Anpassung der Prüfverfahren an eine praxisgerechte Ausbringung sind daher notwendig.

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (Erlass StB 27/38.58.30-80/3 BAST 04 – 5.7.04) sollen Verfahren für die Beurteilung von Feuchtsalzstreubildern sowie die Einflüsse auf die gleichmäßige Ausbringung der Tausalze untersucht werden.

Im Rahmen des Projektes 04650 „Beurteilung von Streubildern und ihre Einflussgrößen“ hat die BAST verschiedene Verfahren zur Streubildbeurteilung untersucht [4]. Dabei hat sich das streifenweise Zusammenkehren mit realer Geschwindigkeit ausgebrachter Streustoffe als mögliches einfaches Verfahren zur Streubildbeurteilung herausgestellt.

Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Länder „Überprüfung der Streuqualität an Streumaschinen“ hat in ihrem Abschlussbericht „Qualitätssicherung Streustoffverteilung im Winterdienst; Hinweise und Empfehlungen für Beschaffungsstellen, Einsatzleiter, Einsatz- und Werkstattpersonal“ ebenfalls dieses Verfahren empfohlen. Das Verfahren soll vor allem für eine Abnahmeprüfung einer gelieferten Maschine durch den Käufer dienen [12] und bis zur Entwicklung anderer Verfahren auch für Typprüfungen zum Einsatz kommen.

In diesem Projekt ist die Wiederholbarkeit von Prüfungsergebnissen mit diesem Verfahren zu ermitteln. Die Untersuchung soll Angaben über die bei der Prüfungsdurchführung entstehenden Toleranzen der Prüfergebnisse (Aussageschärfe) ermöglichen, damit für Prüfer (Abnehmer der Maschine) und Vertreter des Lieferanten der zu prüfenden Streumaschinen genaue Aussagen für die Ergebnisbewertung vorliegen. Gegebenenfalls sind weitere Erfahrungen in die Verfahrensbeschreibung einzubringen.

2 Kurzbeschreibung des Kehrverfahrens – Allgemeine Anforderungen an die Streustoffverteilung

Das Kehrverfahren dient der Beurteilung der Streustoffverteilung von trockenen und angefeuchteten Streustoffen durch eine Streumaschine. Bei dem Verfahren wird der Streustoff von der zu prüfenden Streumaschine unter realen, definierten Bedingungen auf einer Prüffläche ausgebracht. Nach der Streufahrt wird auf einer vorgegebenen Länge der ausgebrachte Streustoff längs zur Fahrtrichtung zu einer Linie quer zur Fahrtrichtung zusammengekehrt. Der Streustoff wird entlang dieser Linie meterweise ausgehend von der Fahrzeugmitte aufgenommen. Die aufgenommenen Mengen werden nach der Wägung entsprechend bewertet [4].

Die Verteilung wird je nach Anforderungspapier unterschiedlich bewertet:

- Die TLG B3 benennt zulässige Toleranzen vom Mittelwert einer aufgenommenen Menge über eine zu prüfende Gesamtfläche [9].
- Neuere Anforderungen [5, 13] verlangen eine vorgegebene mittlere Mindestmenge je Quadratmeter innerhalb der Streubreite.

Alle bekannten Anforderungen lassen nur vorgegebene Streumengen außerhalb der Sollstreubreite zu.

Die einzelnen Anforderungspapiere enthalten unterschiedliche Angaben zu den zu bewertenden Abschnitten auf den Prüffeldern. Diese sind im Kapitel 5 näher beschrieben.

Bei der Bewertung von Streustoffverteilungen gemäß den Anforderungen der TLG B3 können zulässigen Ergebnisse auch zu sehr geringen Streudichten je Quadratmeter führen, da die Verteilung auf die aufgenommene Gesamtmenge und nicht auf eine Sollmenge bezogen wird. Im Einzelfall kann die dabei ausgebrachte Menge für eine Glättebekämpfung nicht ausreichend sein. Daher sind Anforderungen, die eine Mindestmenge je Flächeneinheit fordern, sinnvoller.

3 Begriffsbestimmungen

Zum besseren Verständnis des weiteren Textes werden genutzte Angaben bei der Beurteilung der Streustoffverteilung wie folgt definiert:

Prüffläche:

Fläche, auf der Beurteilungen der Streustoffverteilung stattfinden. Die Prüffläche beinhaltet das Prüffeld für die Streustoffaufnahme und je nach Geschwindigkeit notwendige Beschleunigungs- und Bremsstrecken.

Prüffeld:

Fläche, auf der die ausgebrachten Streustoffe aufgenommen werden. Sie ist bestimmt durch eine vorgegebene Länge. Die Breite ist bestimmt durch die vorgegebene Streubreite und ca. einen Meter breiten Überwurfstreifen auf jeder Seite.

Prüfpunkt:

Ausbringung von Streustoffen auf einer Prüffläche, die bestimmt wird durch definierte Einstellungen am Bedienpult (Streudichte, -breite, -streifenlage) und die gefahrene Geschwindigkeit.

Streustreifen:

Streifen von einem Meter Breite und einer Länge entsprechend der Prüffeldlänge, auf dem die ausgebrachten Streustoffe aufgenommen und bewertet werden.

Wiederfindungsrate:

prozentualer Wert einer aufgenommenen Streustoffmenge nach dem Ausbringen im Bezug zu einer ausgebrachten Menge.

Die ausgebrachte Menge ist bei der Beurteilung von Streumaschinen der theoretische Wert aus den Einstellungen am Bedienpult für die Streudichte und -breite sowie der Prüffeldlänge. Bei Prüfungen von Streumaschinen mit der Feuchtsalztechnologie mit dem Kehrverfahren ist dafür die ausgebrachte Trockenstoffmenge ohne Lösungsanteil maßgebend.

4 Angaben für die Wiederholbarkeit

4.1 Allgemeines zu Streubildprüfungen

Bei einer Prüfung sind zufallsbedingte Abweichungen der Messwerte voneinander unvermeidlich. Die durchschnittliche Größe der Abweichungen kann durch statistische Begriffe und Verfahren erfasst werden. Sie müssen bei der Beurteilung eines Prüfobjektes berücksichtigt werden. Zufallsbedingte Abweichungen kommen durch unbeeinflussbare und im Einzelfall unbestimmbare Einflüsse zustande, die zum Beispiel herrühren können von:

- Ungleichmäßigkeiten bei der Gewinnung, Herstellung oder Transport,
- Materialinhomogenitäten und Vorgehensweise bei der Entnahme von Proben
- oder den Versuchsbedingungen in der Prüfstelle [6].

Die prüftechnisch betrachtete Grundgesamtheit, die mit der Prüfung eines Streubildes bewertet werden soll, ist eine zu bestreuende Fahrbahn über z. B. einen Winter bei einem Einstellpunkt mit einem Streufahrzeug.

Der Einstellpunkt ist gegeben durch [4]:

- Streubreite,
- Streudichte,
- Streustreifenlage in Bezug zur Streufahrzeugmitte,
- Anfeuchtungsgrad,
- gefahrene Fahrgeschwindigkeit,
- Streustoff.

Das Ergebnis gibt eine Streustoffverteilung an, die mit einem Sollwert verglichen wird. Die Bewertung erfolgt anhand einer Teilprobe, die für die Streubildbeurteilung ein zu definierender Teilabschnitt der gesamten zu bestreuenden Fahrbahnlänge ist.

Für die Bewertung eines solchen Prüfergebnisses muss bekannt sein, welchen Einflüssen dieses Ergebnis unterliegt und dadurch im Wiederholungsfall abweichend ausfallen kann.

4.2 Statistische Messgrößen für Aussagen zur Wiederholbarkeit

Die Angaben zur Wiederholbarkeit beziehen sich auf erzielte Toleranzen/Streuung von Prüfergebnissen bei Prüfungen einer Anforderung unter den festgelegten Bedingungen in einer Prüfstelle. Im Unterschied dazu erfolgen Vergleiche von Ergebnissen aus verschiedenen Prüfstellen für ein Produkt nach dem „Merklblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen“ [6] mit Angaben der Vergleichbarkeit.

Als Maß für die Streuung der zufallsbedingten Abweichungen werden folgende statistische Kenngrößen verwendet:

- arithmetisches Mittel einer Messreihe,
- Varianz,

- Standardabweichung,
- Spannweite.

Aus diesen Größen können wiederum zur Aussagegeschärfe der Prüfergebnisse entsprechende Größen wie die zulässigen Spannweiten und der Vertrauensbereich abgeleitet werden [6].

5 Festlegungen zum Prüffeld

Für die Bewertung eines Produktes ist dessen gleichmäßige Qualität von hoher Bedeutung. Das hier zu bewertende Produkt ist die gleichmäßige Streustoffverteilung in der Fläche über eine große Länge. Die Frage ist, wie diese Gleichmäßigkeit definiert wird.

Der Streumaschinen-Anwender könnte erwarten, dass die am Bedienpult einstellbare in g/m^2 angegebene Streudichte auf der Fahrbahn auch auf jedem Quadratmeter mit einer entsprechenden Toleranz eingehalten wird. Visuelle Beurteilungen und vorliegende Ergebnisse der Bundesanstalt für Straßenwesen bei Typprüfungen zeigen in der Praxis eine wesentlich ungleichmäßigere Verteilung der Streustoffe bedingt durch die Konstruktion der Maschinen selber und vor allem durch auftretende Luftverwirbelungen beim Ausbringen.

Bei der Frage, welche Verteilung innerhalb der eingestellten Streubreite trotz dieser Einflüsse erreicht werden muss, gehen die Meinungen der Anwender sehr weit auseinander. Für die Entwicklung des Prüfverfahrens ist aber eine Festlegung der Anforderungen von entscheidender Bedeutung, denn nur anhand der Anforderungen können die entsprechenden Prüffelder für die Beurteilung der Streustoffverteilung festgelegt werden. Erst nach der entsprechenden Festlegung kann die Wiederholbarkeit von Messergebnissen bestimmt werden.

Die TLG B3 – Streugeräte – fordert bezüglich der Streustoffverteilung nur eine vorgegebene Gleichmäßigkeit in der Breite innerhalb einer aufgenommenen Länge. Dafür wird die Verteilung auf drei je 2 m langen Abschnitten betrachtet (Bild 1). Die Streudichten dürfen in den betrachteten, ein Meter breiten, Streifen nicht mehr als -50 % und +90 % bezogen auf den aufgenommenen Mittelwert in einem Streifen abweichen. Eine Vorgabe, wie hoch der Mittelwert sein muss, enthält die TLG B3 – Streugeräte – nicht. Im Ergebnis wurden Streumaschinen positiv bewertet, die bei diesen Prüfungen

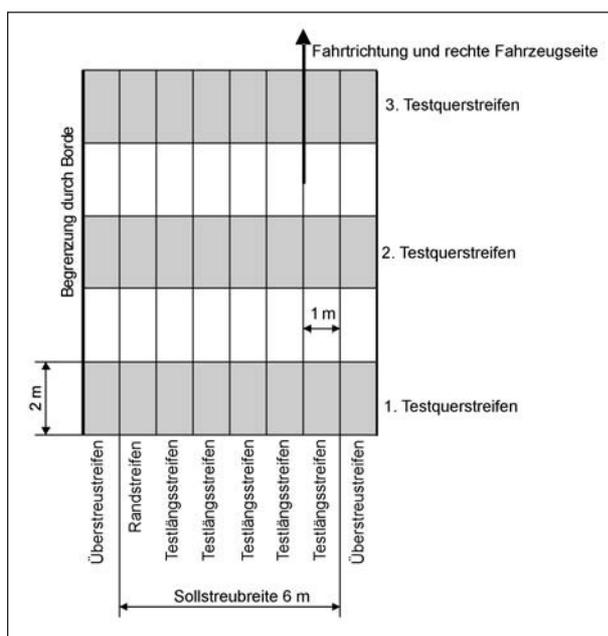


Bild 1: Prüffeldmaße gemäß TLG B3 – Streugeräte – für die Streubildbeurteilung (Strebubreite: 6 m)

gen weniger als 30 % der vorgegebenen Streudichte auf den inneren Streustreifen ausbrachten.

Abweichend zu der genannten TLG B3-Forderung werden für die äußeren 1-m-Streifen jeweils nur 5 % der gesamten aufgenommenen Menge gefordert. Bei 4 m Strebubreite wäre bei 10 g/m^2 ausgebrachter mittlerer Streudichte die Anforderung mit tatsächlichen 2 g/m^2 erfüllt ($4 \text{ m} \times 10 \text{ g/m}^2 \times 0,05$). Da die TLG B3 bei derartigen Prüfungen keine Mindestmenge der gesamten aufzunehmenden Menge fordert, konnten Streumaschinen mit ausgebrachten Streudichten in den äußeren Streustreifen von nur rund 15 % im Vergleich zur Sollstreuemenge die Anforderungen erfüllen.

Für die meisten Anwendungsfälle sind ausgebrachte geringere Tausalzmengen auch ausreichend. Allerdings zeigen die oft ausgebrachten höheren Mengen große Einsparmöglichkeiten bei der Tausalz- ausbringung auf [11]. Eine geringe Tausalzmenge ist nur dann möglich, wenn auch eine genaue Streustoffverteilung erzielt wird und ungleiche Verteilungen nicht durch höher eingestellte Streudichten oder -breiten ausgeglichen werden müssen.

Das Prüfverfahren nach TLG B3 enthält nur einen Prüfpunkt: die Ausbringung von Tausalzen bei einer Geschwindigkeit von 20 km/h , 6 m Strebubreite und 20 g/m^2 Streudichte. Sie erfolgt ohne Anfeuchtung der Tausalze, damit beim Aufsaugen der Tausalze für die Bewertungen eine Wiederfindungsrate von nahezu 100 % erreicht wird. Auf-

grund der geringen Geschwindigkeit treten deutlich niedrigere Verwirbelungen beim Ausbringen im Vergleich zu den in der Praxis gefahrenen hohen Geschwindigkeiten auf.

Eine weit verbreitete Aussage ist, dass der Verkehr die Tausalze weiter verteilt. Dies kann einerseits zum Ausgleich ungleich ausgebrachter Tausalze führen, aber auch eine Verfrachtung auf kleinere Bereiche oder gar außerhalb der Fahrbahn bedeuten. Bislang liegen nur wenige wissenschaftlich belegte Aussagen für eine ausreichende Verteilung unmittelbar nach dem Streuen vor.

Neue Untersuchungen weisen auf Autobahnen unter allen Bedingungen eine schnelle Verfrachtung von Tausalzen durch den Verkehr aus der Rollspur und im weiteren zeitlichen Verlauf auch von der Fahrbahn nach [3, 11]. Nach ca. 60 min bei trockenen bzw. nach 120 min bei nassen Fahrbahnoberflächen sind ausgebrachte Tausalze nicht mehr auf der Fahrbahn messbar. Dabei ist es unerheblich, mit welcher Streudichte sie ausgebracht werden.

Eine möglichst gleichmäßige Verteilung im Bereich von der Fahrbahnmitte bis zu den äußeren Rollstreifen erscheint den Ergebnissen im Forschungsprojekt „Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn“ [11] nach sinnvoll, damit unmittelbar nach dem Streuen die Rollstreifen mit einer ausreichenden Menge Tausalz in Kontakt kommen. Das Streuen im Randbereich (-streifen) der Soll-Strebubreite erscheint nach diesen Ergebnissen auf schnell- und vielbefahrenen Fahrbahnen dagegen weniger erforderlich, weil der Verkehr sehr schnell ausgebrachtes Tausalz dorthin verdrängt. Aufgrund der hohen Verfrachtung von der Fahrbahn können genauere Aussagen zur Längsverteilung durch den Verkehr nicht abgeleitet werden.

Aussagen über die Wirkung des Verkehrs auf nur sehr wenig und/oder sehr langsam befahrenen Straßen sind dagegen nicht bekannt. Nach den gegenwärtigen Vorstellungen muss auf diesen Straßen für eine ausreichende Wirkung das Tausalz sehr gleichmäßig verteilt werden. Damit erscheint eine sehr hohe Gleichmäßigkeit innerhalb der gesamten vorgesehenen Strebubreite erforderlich.

Anforderungen, dass möglichst wenig Tausalz außerhalb des vorgesehenen Streubereiches landet, sind bei allen Anwendern unstrittig.

Bei den Prüfungen der BAST mit Anforderungsvorgaben des Landesbetriebes Straßenbau NRW [13] wird eine Mindestmenge je betrachtetem 1-m-Streifen gefordert. Sie beträgt 60 % der vorgegebenen Sollstreu-dichte. Eine Ausnahme bilden die beiden äußeren Streifen innerhalb der Sollstrebweite. Hier werden je Randstreifen 50 % gefordert. Die Angaben beziehen sich beim Feuchtsalzstreuen auf den Trockenstoffanteil. Gemäß den Ergebnissen im Kapitel 7 wird eine 80%ige Wiederfindungsrate vorausgesetzt. Von 100 % ausgebrachten Tausalzen dürfen nach dem Kehren im Einzelfall bis 20 % auf dem Prüffeld verbleiben.

Die Vorgaben beziehen sich auf 20 m lange 1-m-Streifen. Die Prüfungen für einen Prüfpunkt werden jeweils zweimal durchgeführt. Im Ergebnis wird der Mittelwert beider Teilergebnisse bewertet, sodass es mit der Addition beider Prüffelder zu einer Streifenlänge von 40 Meter als Bewertungslänge kommt. Eine zulässige Abweichung zwischen beiden Versuchen enthalten die Anforderungen nicht.

Bei der europäischen Normung für die Anforderungen an die Streustoffverteilung und deren Beurteilung legten die beteiligten Vertreter ein Testfeld gemäß Bild 2 fest [5]. Dabei soll die Streustoffverteilung auf zwei Feldern mit jeweils 10 m Länge unterteilt in 1-m-Längsstreifen geprüft werden. Für beide Felder gelten nach den derzeitigen Vorstellungen die gleichen Anforderungen wie die beschriebenen Anforderungen des Landesbetriebes Straßenbau NRW. Die gesamte aufgenommene Menge über alle Streifen muss auf beiden Feldern jeweils mindestens 75 % der vorgegebenen Streudichte betragen.

| Messfeld A 10 m Länge | Neutrale Fläche 5 m Länge | Messfeld B 10 m Länge |
|--------------------------|--|--------------------------|
| 1A | Fahrtrichtung  | 1 B |
| 2A | | 2 B |
| 3A | | 3B |
| 4A | | 4B |
| 5A | | 5B |
| 6A | | 6B |
| 7A | | 7B |
| 8A | | 8B |

Bild 2: Vorgesehene Messfeldmaße gemäß Entwurf für EN 15597-2 mit 8 m Strebweite

Ausgehend von diesen Überlegungen für die EN 15597-2 als zukünftige Prüfnorm soll die Wiederholbarkeit der Streustoffverteilung auf einer Prüffeldlänge von 10 m untersucht werden. Dabei wird wie bei allen genannten Vorschriften die Strebweite in Streifen von einem Meter Breite aufgeteilt.

6 Einflüsse auf die Wiederholbarkeit bei der Streubildbeurteilung

6.1 Einflüsse unabhängig vom Prüfverfahren

Die nachfolgend genannten Faktoren haben nach den bisherigen Erfahrungen einen erheblichen Einfluss auf die Streubildqualität [4]. Sie sind bei der Justierung einer Streumaschine durch den Lieferanten entsprechend zu beachten. Sie werden für die Bewertung der Wiederholbarkeit des Prüfverfahrens im Weiteren nicht mit einbezogen, da sie gleich bleibend angenommen werden.

- a) Konstruktion der Streumaschine:
 - Ausführung der Streuteller einschließlich der Zufuhr aus dem Tausalzbehälter,
 - Ausführung der Anfeuchtungstechnik,
 - Steuer- und Regeltechnik,
 - Windleiteinrichtungen an der Streumaschine,
 - Abwurfhöhe des Streustellers (auch in Abhängigkeit vom Fahrzeug).
- b) Eingesetztes Fahrzeug:
 - Kontur des Fahrzeuges (Fahrwindströmung),
 - vorhandene Anbauten (z. B. Schmutzschürze),
- c) Fahrgeschwindigkeit,
- d) Tausalzqualität:
 - Korngrößenverteilung,
 - Rieselfähigkeit (Wassergehalt),
 - Schüttdichte.

Der Lieferant muss vor der Prüfung die Streumaschine auf einem vorgegebenen Trägerfahrzeug aufbauen und mit einem zur Verfügung gestellten Streustoff für die Prüfbedingungen auf der vorgesehenen Prüffläche justieren.

6.2 Umfeldbedingungen bei den Prüfungen

Das vorgesehene Prüfverfahren kann praktisch nie unter idealen gleichen Umfeldbedingungen durchgeführt werden. Trotz wechselnder Bedingungen in einem vorgegebenen Toleranzbereich muss die Streumaschine die Anforderungen erfüllen können.

Die Prüfbedingungen lassen sich in zwei Gruppen unterscheiden: Fahrbahn- und Witterungsbedingungen.

Folgende Größen sind im Einzelnen als Prüfbedingungen festzulegen:

- Fahrbahnoberfläche:
 - Feuchtigkeit der Prüffeldoberfläche,
 - Rauigkeit der Prüffeldoberfläche,
 - Längs- und Querneigung,
- Witterung:
 - Windverhältnisse,
 - Luftfeuchte/Temperatur.

Die Einflüsse sind bei den Untersuchungen in diesem Projekt möglichst zu quantifizieren.

Vorläufige Vorgaben der Prüfbedingungen zur Durchführung der Versuche zur Wiederholbarkeit waren:

- Feuchtigkeit auf dem Prüffeld

Verfahrensbedingt muss die Prüffläche trocken sein. Vorhandene Feuchtigkeit kann sich einerseits an den Streustoffen binden und erschwert das Zusammenkehren von Salzkörnern. Andererseits darf vorhandene Feuchte nicht zum Lösen von ausgetragenen Streustoffen führen, die dann nicht mehr gekehrt werden können.

Die Ausbringung auf einer trockenen Fahrbahnoberfläche stellt keine praxisferne Prüfung dar. Es muss beim vorbeugenden Streuen u. a. gegen Reifglätte auch in der Praxis eine gleichmäßige Streustoffverteilung erreicht werden. Mit anderen Ergebnissen muss beim Ausbringen in Schnee gerechnet werden. Bei Schnee können insbesondere größere Körner anders weiterrollen als auf einer trockenen oder feuchten Fahrbahnoberfläche.

Um das Verfahren einfach zu halten, ist die Forderung auf „augenscheinlich trocken“ anzusetzen.

Diese ist aufgrund der unterschiedlichen Färbung einer trockenen oder feuchten Fahrbahnoberfläche auch leicht erkennbar.

Bei den Prüfungen wird Niederschlag ausgeschlossen.

- Rauigkeit des Prüffeldes

Das Prüffeld muss möglichst glatt und porenfrei sein, aber trotzdem noch einer praxisnahen Oberfläche entsprechen. Eine genaue Beschreibung ist nur schwer möglich.

Als Prüffeld kann jede Fahrbahnoberfläche als geeignet angesehen werden, wenn von ihr eine zu definierende Prozentzahl einer bekannten Menge ausgebrachter Streustoffe wieder zusammengesammelt und aufgenommen werden kann. Diese zu definierende Prozentzahl wurde im Vorfeld von Streubildbeurteilungen für das genutzte Prüffeld zur Bestimmung der Wiederholbarkeit mit zwei verschiedenen Salzkörnungen ermittelt (siehe Kapitel 7).

- Längs- und Querneigung der Prüffläche

Die Neigung der Prüffläche kann nach ersten Beobachtungen einen erheblichen Einfluss auf eine Streustoffverteilung haben [4]. In der Praxis wechseln im Verlauf einer Fahrbahn die Neigungen ständig. Für eine Bewertung wäre daher eher eine mittlere Neigung mit nahe 0 % sinnvoll. Allerdings schränkt eine derartige Forderung die Auswahl einer Prüffläche erheblich ein. Die zulässige Neigung in Quer- und Längsrichtung wird auf 2 % festgelegt.

Nicht nur der Neigungswinkel ist entscheidend, sondern auch welcher Richtung die Neigung folgt. Bei Prüfungen auf einem Messfeld mit gleichbleibender Neigung treten keine Änderungen auf. Dieser Einfluss ist daher bei Versuchen zur Wiederholbarkeit ohne Bedeutung.

- Witterungsbedingungen

Einen wesentlichen Einfluss auf die Streustoffverteilung kann Wind sowohl in Bezug auf die Geschwindigkeit als auch auf die Richtung haben. Erfahrungen lagen hierzu vor Beginn der Untersuchungen nicht vor. Aufgrund der sehr hohen Luftbewegungen durch die Luftverdrängung des Fahrzeuges selber wird eine geringere Windgeschwindigkeit als geringer Einflussfaktor angesehen. Als praxisnahe Vorgabe wurde zunächst eine zulässige Windgeschwindigkeit bis

5 m/s festgelegt. Bei dieser Geschwindigkeit bewegen sich Blätter und dünne Zweige, Staub wirbelt noch nicht auf. Vorgaben zur Windrichtung während eines Versuches erfolgten nicht.

Die Temperatur und Luftfeuchte beeinflussen vor allem die Verdunstung einer ausgebrachten Lösung. Da deren Verteilung bei diesem Verfahren nicht bewertet wird, gibt es hierzu zunächst keine Vorgaben für die Verfahrensdurchführung.

6.3 Einflüsse durch das Prüfverfahren – Messfehler

6.3.1 Allgemeines

Die Einflüsse durch das Prüfverfahren selber werden in zwei Gruppen eingeteilt:

- Einflüsse durch die eingesetzte Prüftechnik,
- Einflüsse durch die handelnden Personen.

6.3.2 Einflüsse durch die eingesetzte Prüftechnik

Die Genauigkeit des Verfahrens hängt von der möglichst vollständigen Aufnahme der ausgebrachten Streustoffe auf den Flächen ab, auf denen sie nach dem Ausbringen zum Liegen gekommen sind. Entscheidend ist, dass mit dem einzusetzenden Besen nahezu alle Streustoffe zusammengekehrt werden. Beim Kehren dürfen die Streustoffe möglichst nicht von einem zu beurteilenden Streifen in einen anderen Streifen übergehen. Dafür sind entsprechende Besen einzusetzen.

Ein weiteres Kriterium ist, dass andere Schmutzteile auf der Prüffläche die Ergebnisse nicht verfälschen. Deshalb ist die Prüffläche vor den Versuchen zu reinigen. Das einzusetzende Reinigungsgerät (Besen, Kehrmaschine) sollte eine Restmenge an Schmutz von kleiner als $0,5 \text{ g/m}^2$ liegen lassen.

Als weitere Prüftechnik kommt nur noch eine Waage zum Einsatz. Deren Messtoleranz sollte nicht größer als $\pm 1 \text{ g}$ sein. Diese kann schon mit einer einfachen Haushaltswaage mit Batteriebetrieb erfüllt werden.

6.3.3 Fehler durch die handelnden Personen

Die Qualität des Kehrens ist erheblich von den handelnden Personen abhängig. Im Wesentlichen

kommt es darauf an, alle Streustoffe durch entsprechende Besenführung in einer Linie zusammenkehren, und das immer längs der Fahrtrichtung. Deshalb sind sie vor der Prüfung genau in Bezug auf das Ziel der Prüfung und mögliche Fehler zu schulen. Zur Unterstützung des Fegens in Längsrichtung muss das Prüffeld entsprechende Linien mit ca. 1 m Abstand aufweisen.

7 Bestimmung von Messfehlern – Versuche zur Bestimmung der Wiederfindungsrate

7.1 Allgemeines zur Versuchsdurchführung

Die entscheidende Aussage für die Qualität des Kehrverfahrens ist die Frage, wie viel einer tatsächlich ausgebrachten Masse mit dem Kehren wieder aufgenommen werden kann. Dazu ist die so genannte Wiederfindungsrate zu ermitteln.

Für die Bestimmung der Wiederfindungsrate wurden definierte Mengen von Natriumchlorid mit unterschiedlichen Körnungen auf einer Fläche von $10 \times 1 \text{ mm}$ mit einem Löffel ausgebracht und anschließend zusammengekehrt. Beim Austragen war die Fläche durch Borde begrenzt, damit keine Salzkörner von der Fläche rollen konnten (siehe Bild 3).



Bild 3: Ausbringen von definierten Tausalzmengen

Als Trockenstoff kamen ein handelsübliches Stein-
salz und ein Siedesalz zum Einsatz. Die eingesetzte
Lösung war bei allen Versuchen eine 20%ige
NaCl-Lösung. Beide Komponenten wurden bei allen
Versuchen vorher in einer Schale gemischt zusammen-
geschüttet (Bild 4). Die ausgebrachten Mengen
differierten bei den einzelnen Versuchen etwas. Die
Mengen entsprachen etwa einem FS30-Gemisch.

Das Salz-Lösungs-Gemisch ergab aufgrund dieser
Ausbringungsart visuell beurteilt ein wesentlich an-
deres Streubild als die in den meisten Fällen von
Streumaschinen erzeugten Streubilder. Durch die



Bild 4: FS30-Gemisch vor dem Ausbringen



Bild 5: Verteilung des von Hand ausgebrachten Feuchtsalzes



Bild 6: Beim Zusammenkehren von definiert ausgebrachter
Feuchtsalze

sofort vorhandene vollständige Durchmischung bei-
der Bestandteile blieben wesentlich mehr ausge-
brachte Anteile zusammenhängend an einer Stelle
auf der Fahrbahnoberfläche liegen (Bild 5). Die zu-
sammengebackenen Körner werden aber im Ver-
gleich zur Streustoffverteilung durch Streumaschi-
nen als wesentlich schwieriger zusammenkehrbar
angesehen.

Nach dem Ausbringen wurden die Borde entfernt
und die Salze längs der Fläche zur Mitte zusam-
mengekehrt, aufgenommen und gewogen (Bild 6).

Die genutzten Flächen waren in allen Fällen
trocken. Die Witterungsbedingungen waren bei den
einzelnen Versuchen etwas unterschiedlich. In kei-
nem Fall wurde eine Fläche zweimal genutzt. Zwi-
schen dem Ausbringen und der Wiederaufnahme
vergingen ca. 10 bis 20 min.

Die Versuche fanden auf zwei verschiedenen
Messplätzen statt. Für die erste Versuchsreihe
stand eine bis zum Zeitpunkt der Versuche kaum
befahrene Asphaltfläche auf dem Gelände der
BAST zur Verfügung. Für die zweite Versuchsreihe
wurde eine bereits speziell für Streubildbeurteilung
hergerichtete Prüffläche auf der Rastanlage Hum-
merich an der BAB A 61 in der Nähe der Anschluss-
stelle Krufft genutzt. Beide Flächen besitzen augen-
scheinlich eine vergleichsweise geringe Rauigkeit.
Messungen für genaue Angaben der Rauigkeit fan-
den nicht statt.

7.2 Ergebnisse zur Wiederfindungs- rate

7.2.1 Versuche in der BAST

Bei allen Versuchen wurde eine Menge von 140 g
Trockenstoff und 60 g NaCl-Lösung eingesetzt.

Die Ergebnisse sind in der Tabelle 1 zusammenge-
fasst.

Auffällig war, dass die aufgenommenen Salze we-
sentlich stärker verschmutzt wirkten als bei bis zum
Zeitpunkt der Versuche durchgeführten Streubild-
beurteilungen (Bild 7). Bei fünf Versuchen wurde
unmittelbar vor dem Auftragen die Fläche gekehrt.
Bei fünf anderen Versuchen fand dies zur Feststel-
lung der Unterschiede nicht statt. Unterschiede zwi-
schen den Versuche mit und ohne vorherigem Keh-
ren zeigen sich nur teilweise (siehe Tabelle 1, Spal-
te 3). Auffällig ist der niedrige Wert beim Siedesalz,
wofür es keine plausible Erklärung gibt.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--------------------------|--|---|--|--|-----------------------------------|---|--|-----------|------------------------|-----------------------------------|---|
| Ver- suchs- nummer | aufgenom- mene Salz + Schmutz [g] | Gesamt- schmutz pro Versuch [g] | prozentua- ler Anteil des Schmut- zes an der Gesamt- menge [g] | nicht lösliche Bestand- teile im Salz [g] | aufge- nommene Salze [g] | prozentualer Anteil von der ausgebrachten Gesamtfest- stoffmenge [% von 152 g] | prozentualer Anteil von der ausgebrachten Trocken- stoffmenge [% von 140 g] | Salzart | Umfeldbed- ingungen | Angaben zum Kehren | vorher zu- sammen- gekehrte Schmutz- menge [g] |
| 1 | 147,9 | 27,2 | 18,4 | 4,2 | 124,9 | 82,2 | 89,2 | Steinsalz | schattig 18 °C | 2 x gekehrt | nicht gekehrt |
| 3 | 179,3 | 63,0 | 35,1 | 4,2 | 120,5 | 79,3 | 86,1 | Steinsalz | schattig 18 °C | 2 x gekehrt | nicht gekehrt |
| 4 | 172,2 | 45,2 | 26,3 | 4,2 | 131,2 | 86,3 | 93,7 | Steinsalz | sonnig 18 °C | 2 x gekehrt | nicht gekehrt |
| 5 | 165,3 | 28,7 | 17,4 | 4,2 | 140,7 | 92,6 | 100,5 | Steinsalz | sonnig 18 °C | 2 x gekehrt | nicht gekehrt |
| 7 | 169,3 | 43,6 | 25,7 | 4,2 | 129,9 | 85,5 | 92,8 | Steinsalz | bewölkt 18 °C | 2 x gekehrt | nicht gekehrt |
| 6 | 157,5 | 24,5 | 15,6 | 4,2 | 137,2 | 90,3 | 98,0 | Steinsalz | bewölkt 18 °C | vorher gekehrt, 2 x gekehrt | 25,8 |
| 8 | 113,0 | 22,7 | 20,1 | 4,2 | 94,5 | 62,2 | 67,5 | Steinsalz | bewölkt 18 °C | vorher gekehrt, 2 x gekehrt | nicht aufgenom- men |
| 10 | 163,5 | 37,1 | 22,7 | 4,2 | 130,6 | 85,9 | 93,3 | Steinsalz | bewölkt 18 °C | vorher gekehrt, 2 x gekehrt | 47,9 |
| 2 | 143,7 | 25,4 | 17,7 | 4,2 | 122,5 | 80,6 | 87,5 | Steinsalz | schattig 18 °C | vorher gekehrt, 2 x gekehrt | 11,1 |
| 9 | 123,7 | 4,9 | 3,9 | 0 | 118,8 | 78,2 | 84,9 | Siedesalz | bewölkt 18 °C | vorher gekehrt, 2 x gekehrt | 44,1 |

Tab. 1: Ergebnisse und Angaben zur Durchführung von Versuchen zur Wiederfindung auf einer Prüffläche in der BAST



Bild 7: Aufgenommene Salzmenge bei Versuchen in der BAST

Die Ursache für die hohe Verschmutzung kann darin liegen, dass die genutzte Fläche bis zum Zeitpunkt der Versuche kaum befahren wurde und sich dadurch noch leicht lösliche Bestandteile an der Fahrbahnoberfläche befanden.

Zur Bestimmung der aufgenommenen Tausalze wurde deshalb die aufgenommene Menge in Wasser gelöst, um den anhaftenden Schmutz herausfiltrieren zu können. Nach dem Trocknen wurde das Filtrat gewogen.

Das genutzte Steinsalz wies vor dem Aufbringen auffällig viele dunkle Partikel auf. Für die Feststellung von nicht löslichen Bestandteilen im Steinsalz selber wurde deshalb eine Probe von 140 g des genutzten Steinsalzes in Wasser gelöst und die unlöslichen Bestandteile durch Filterung bestimmt. Das einmalige Ergebnis von 4,2 g wird für alle Versuche mit Steinsalz angenommen (Tabelle 1, Spalte 5). Die gefundene Menge wurde prozentual auf den ausgebrachten Steinsalzanteil bei allen Versuchen wieder vom Schmutzanteil abgezogen. Das bei Versuch 9 eingesetzte Siedesalz wird mit 100 % Natriumchloridanteil angenommen.

Die Ergebnisse weisen nach Abzug der aufgenommenen Schmutzmengen Wiederfindungsraten zwischen rund 62 und 93 % auf (Tabelle 1, Spalte 7). In diesen Angaben sind der aufgenommene Anteil der unlöslichen Bestandteile im Steinsalz und die Salzanteile in der Lösung mit einbezogen.

Die aufgenommene Feuchte wurde bei diesen Versuchen nicht bestimmt. Die ausgebrachten Lösungen blieben augenscheinlich weitgehend auf der Fahrbahnoberfläche liegen und können bei den



Bild 8: Flächen nach dem Kehren mit Lösungsschlieren bei den Versuchen in der BAST

aufgenommenen Mengen aufgrund visueller Einschätzung im Vergleich zur ausgebrachten Menge als gering angesehen werden (Bild 8). Bezogen auf die ausgebrachten Trockenstoffanteile beträgt die Wiederfindungsrate zwischen rund 68 und 100 % (Tabelle 1, Spalte 8). Mit Ausnahme des Ergebnisses beim Versuch 8 liegen alle Ergebnisse bei rund 85 % und darüber. Deshalb wird Versuch 8 als vernachlässigbarer Ausreißer angesehen.

Die Beobachtungen zeigten auch, dass ein Teil der ausgebrachten Salzkörner, insbesondere große Körner, durch das Kehren von der 10 x 1 m großen Austragungsfläche rollten. Bei dieser Versuchsreihe wurden diese Körner mit zusammengekehrt.

Weiterhin zeigte sich anhand der visuell betrachteten Ergebnisse des bei allen Versuchen durchgeführten Nachkehrens, dass ein einmaliges Kehren zu unterschiedlichen Kehrergebnissen führen kann. Eine separate Aufnahme der Nachkehrmengen erfolgte hier nicht. Einen Einfluss können auch die genutzten Besen haben. Diese waren aber bei diesen Versuchen recht ähnlich.

7.2.2 Ergebnisse auf dem Prüffeld auf der Raststätte Hummerich an der BAB A 61

Bei den Versuchen auf dem Parkplatz Hummerich variierten im Vergleich zu den Versuchen bei der BAST die ausgebrachten Mengen im geringen Umfang. Die Mischungen entsprachen nur in etwa FS30-Gemischen. Bei vier Versuchen wurden auch die Restmengen, die nach dem Ausbringen in der Schale verblieben, ermittelt. Die Werte lagen zwischen ein und drei Gramm und damit im Mittel um ein Prozent.

Vor den einzelnen Versuchen fand eine Reinigung aller genutzten Flächen durch Kehren statt. Zum

Zeitpunkt der Versuche war es wolkenlos und es herrschten Lufttemperaturen von rund 10 °C und eine relative Luftfeuchte von rund 60 %. Die Fläche war gerade abgetrocknet. Die Windgeschwindigkeiten lagen unter 3 m/s.

Im Vergleich zu den vorhergehenden Versuchen wurden diese Versuche in einer variierten Form durchgeführt. Ein erstes Kehren einschließlich eines Nachkehrens fand nur innerhalb der 10 x 1 m großen Austragungsfläche statt. Ein zweites Kehren erfasste die mit dem ersten Kehren von der eigentlichen Austragungsfläche nach außen gelangten Körner. Die jeweiligen Mengen wurden separat erfasst. Damit wurden die von der eigentlichen Kehrfläche herausgerollten Salzkörner mengenmäßig analysiert.

Ohne Berücksichtigung der Schmutz- und Feuchteanteile wurden beim Steinsalz bis 7 % außerhalb der eigentlichen Fläche gefunden (Tabelle 2, Spalte 7). Die unterschiedlichen Mengen werden einerseits auf unterschiedliches Kehren durch die handelnde Person zurückgeführt. Andererseits kann die unterschiedliche Verteilung der von Hand aufgetragenen Salzkörner innerhalb der Austragungsflächen ein Grund gewesen sein. Teile dieser Mengen können auch Schmutz sein. Eine separate Erfassung des Schmutzes erfolgte bei diesen Teilaufnahmen nicht.

Das angefeuchtete Siedesalz bleibt dagegen beim Kehren infolge der fehlenden Rollfähigkeit vollständig innerhalb der Ausbringungsfläche.

Die prozentualen Schmutzanteile in der gesamten aufgenommenen Menge variieren mit Werten zwischen 2,6 und 13,5 % erheblich (Spalte 9). Da die aufgenommenen Mengen als deutlich sauberer im Vergleich zu den Versuchen in der BAST wirkten, wird das hohe Ergebnis bei Versuch 8 eher auf Messfehler im Labor zurückgeführt.

Für die Feuchteermittlung wurden die aufgenommenen Proben samt Sammelbehältern aus Plastik im Trockenschrank über ca. 24 h bei rund 50 °C getrocknet. Die ermittelten Feuchteanteile variieren ebenfalls erheblich (Spalte 11). Die hohen Werte bei den Versuchen 5 bis 8 werden auf Messfehler zurückgeführt.

Nach Abzug der aufgenommenen Schmutz- und Feuchteanteile wurden bis auf eine Ausnahme (Versuch 8) rund 90 % und höher bezogen auf den ausgebrachten Trockenstoffanteil wiedergefunden (Spalte 13). Beim Versuch 8 liegt der Wert bei rund 84 %.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|--------------------------|-----------|--|---|--|---|---|---|---|---|---|--|---|--|
| Ver- suchs- nummer | Salzart | ausge- brachter Trocken- stoffanteil [g] | ausge- brachter Lösungs- anteil [g] | aufgenom- mene Menge Salz + Schmutz innerhalb der 10 x 1-m-Fläche [g] | aufgenom- mene Menge Salz + Schmutz gesamt [g] | prozentualer anteil der außerhalb der 10 x 1-m- Fläche zusam- mengekehrten Menge Salz + Schmutz [%] | aufge- nomme- ner Schmutz pro Versuch [g] | aufge- nomme- ner Schmutz- anteil prozen- tual [%] | nicht lös- liche Be- standteile im Salz [g] | aufge- nomme- ner Feuch- teanteil prozen- tual [%] | prozentualer Anteil der auf- genommenen Menge ohne Feuchte zur ausgebrach- ten Trocken- stoffmenge in 10 x 1-m- Streifen [%] | prozentualer Anteil der gesamten aufgenom- menen Salze ohne Feuchte zur ausgebrach- ten Trocken- stoffmenge [%] | prozentualer Anteil der gesamten aufgenom- menen Salze + einschließ- lich Feuchte zur gesamten ausgebrach- ten Menge [%] |
| 1 | Steinsalz | 152 | 48 | 147 | nicht erfasst | | 9,36 | 6,4 | 4,2 | 2,4 | 91,0 | | |
| 2 | Steinsalz | 152 | 48 | 155 | 162 | 4,3 | 9,17 | 5,7 | 4,2 | 5,6 | 93,2 | 99,6 | 78,5 |
| 3 | Steinsalz | 152 | 48 | 147 | 152 | 3,3 | 11,5 | 7,6 | 4,2 | 2,6 | 89,6 | 93,5 | 72,4 |
| 4 | Steinsalz | 152 | 48 | 149 | 150 | 0,7 | 7,4 | 4,9 | 4,2 | 4,5 | 91,6 | 93,6 | 73,4 |
| 5 | Steinsalz | 152 | 48 | 152 | 162 | 6,2 | 14,0 | 8,6 | 4,2 | 13,0 | 80,9 | 91,0 | 76,1 |
| 6 | Steinsalz | 152 | 48 | 151 | 162 | 6,8 | 15,3 | 9,4 | 4,2 | 14,3 | 78,3 | 89,9 | 75,5 |
| 7 | Siedesalz | 140 | 48 | 155 | 155 | 0,0 | 4,1 | 2,6 | 0 | 13,7 | 92,6 | 98,0 | 80,3 |
| 8 | Siedesalz | 140 | 48 | 151 | 151 | 0,0 | 20,4 | 13,5 | 0 | 13,4 | 78,8 | 83,7 | 69,5 |

Tab. 2: Ergebnisse der Versuche auf dem Prüffeld Parkplatz Hummerich an der BAB A 61

Die Anteile der aufgenommenen Mengen zur gesamten ausgebrachten Menge einschließlich Lösung liegen zwischen rund 70 und 80 %. Bei beiden Auswertungen verbessern sich die Ergebnisse, wenn wie auch in der normalen Versuchsdurchführung die Schmutzanteile nicht berücksichtigt werden.

7.2.3 Weitere Versuche zu Schmutz- und Feuchteanteilen

Die in den Kapiteln 5.2.1 und 5.2.2 beschriebenen Versuche weisen bei den Schmutz- und Feuchteanteilen in einigen Fällen weniger plausible Werte auf. Deshalb fanden weitere Schmutz- und Feuchteanalysen von aufgenommenen Proben statt. In diesen Fällen wurden Tausalze durch Streumaschinen mit der FS30-Technologie ausgebracht. Alle Versuche fanden auf dem Prüffeld in der Rastanlage Hummerich statt. In allen drei Fällen kam als Lösung für die Anfeuchtung eine Calciumchloridlösung zum Einsatz. Calciumchlorid ist deutlich hygroskopischer als Natriumchlorid. Lösungen mit Calciumchlorid trocknen erst bei einer deutlich geringeren Luftfeuchte ab.

Tabelle 3 enthält die ermittelten Feuchte- und Schmutzanteile nach einer Tausalzaufnahme im Winterhalbjahr. Die Länge der Streustreifen betrug bei diesem Versuch 10 Meter. Die Tabellen 4 bis 5 enthalten Ergebnisse von zwei Tausalzaufnahmen im Sommerhalbjahr über jeweils eine Länge von 20 Meter. Die Aufnahme der Tausalze erfolgte etwa eine Stunde nach der Ausbringung. Alle Teilproben wurden danach sofort in luftdichte Flaschen gefüllt und zu einem späteren Zeitpunkt in einem Trockenschrank bei Temperaturen um 50 °C getrocknet.

Die gemessenen Feuchteanteile schwanken in den einzelnen Streuabschnitten zwischen 0,2 und 1,6 % von der jeweiligen im Abschnitt aufgenommenen Masse. Die Werte fallen damit deutlich geringer aus als bei den Versuchen mit von Hand ausgebrachten angefeuchteten Tausalzen. Die ermittelte höhere Feuchte bei den von Hand ausgebrachten Tausalzen lässt sich mit der höheren Durchmischung von Trockenstoff und Lösung erklären. Bei diesen Versuchen backten auch größere Tausalzkörner zusammen. Dieses Zusammenbacken ist bei den Streubildbeurteilungen mit Streumaschinen infolge der geringeren Durchmischung und des Flugverhaltens nach dem Verlassen des Streutellers nicht in diesem Maße zu beobachten. Durch eine geringere Durchmischung wird beim Kehren weniger Lösung aufgenommen. Die Lösung bleibt auf der Fläche liegen.

Im Bereich hinter den Fahrzeugen traten öfters hohe Vermischungen ähnlich wie bei den Handauftragungen auf, bei denen aber meist kleinere Körner durch Feuchte verbunden an einer Stelle haften (siehe Bild 5 im Kapitel 7.1). In den äußeren Bereichen eines Streubildes sind diese Anhaftungen nicht mehr zu beobachten. Dorthin rollen meist größere Salzkörner, die nur wenig Lösung binden können. Der Umfang des Verhaltens hängt nach bisherigen Beobachtungen hauptsächlich vom jeweiligen Einstellpunkt und damit von der zu mischenden Menge (in Abhängigkeit von der Streubreite, -dichte und der Fahrgeschwindigkeit) ab. Die Tabellen 3 bis 5 weisen bei allen drei Versuchen tendenziell höhere Feuchtemengen im Bereich hinter dem Fahrzeug aus.

Die Schmutzanteile schwanken in absoluten Zahlen bei den Aufnahmen nach dem Kehren über 20 m Länge zwischen 0,7 und 4,7 g (Tabellen 4 und 5).

| Bezeichnung des Streuabschnitts in Bezug zur Fahrzeugmitte | Gewichtung der aufgenommenen Tausalze vor dem Trocknen [g] | ermittelte Feuchteanteile [g] | prozentualer Feuchteanteil in Bezug zur aufgenommenen Masse im Streuabschnitt [%] | ermittelte Schmutzanteile [g] | prozentualer Schmutzanteil in Bezug zur aufgenommenen Masse im Streuabschnitt [%] |
|--|--|-------------------------------|---|-------------------------------|---|
| Überwurf links | 27 | 0,2 | 0,7 | 7,2 | 26,8 |
| links 5 m | 61 | 0,4 | 0,6 | 5,1 | 8,4 |
| links 4 m | 75 | 0,6 | 0,8 | 4,4 | 5,9 |
| links 3 m | 49 | 0,4 | 0,9 | 3,4 | 7,0 |
| links 2 m | 26 | 0,3 | 1,0 | 1,9 | 7,5 |
| links 1 m | 28 | 0,2 | 0,9 | 1,2 | 4,3 |
| rechts 1 m | 18 | 0,2 | 1,0 | 0,8 | 4,7 |
| rechts 2 m | 24 | 0,3 | 1,1 | 0,9 | 3,6 |
| rechts 3 m | 33 | 0,4 | 1,2 | 1,6 | 4,9 |
| Überwurf rechts | 273 | 1,0 | 0,4 | 15,4 | 5,6 |
| Summe | 614,0 | 3,9 | | 42,0 | |
| prozentualer Anteil zur Gesamtmenge | | | 0,6 | | 6,8 |

Tab. 3: Ermittelte Feuchte- und Schmutzanteile bei einer Streubildbeurteilung für 8 m Streubreite mit 20 g/m² Streudichte, über 10 m Länge aufgenommen, Umfeldbedingungen: wolkenlos, Lufttemperatur ca. 10 °C, trockene Prüffläche, geringe Windgeschwindigkeit

| Bezeichnung des Streuabschnitts in Bezug zur Fahrzeugmitte | Gewichtung der aufgenommenen Tausalze vor dem Trocknen [g] | ermittelte Feuchteanteile [g] | prozentualer Feuchteanteil in Bezug zur aufgenommenen Masse im Streuabschnitt [%] | ermittelte Schmutzanteile [g] | prozentualer Schmutzanteil in Bezug zur aufgenommenen Masse im Streuabschnitt [%] |
|--|--|-------------------------------|---|-------------------------------|---|
| Überwurf links | 54,0 | 0,3 | 0,5 | 4,7 | 8,7 |
| links 9 m | 128,4 | 0,2 | 0,2 | 3,6 | 2,8 |
| links 8 m | 224,2 | 0,7 | 0,3 | 3,0 | 1,3 |
| links 7 m | 339,9 | 1,1 | 0,3 | 4,3 | 1,3 |
| links 6 m | 343,1 | 1,4 | 0,4 | 4,5 | 1,3 |
| links 5 m | 331,7 | 2,8 | 0,8 | 2,2 | 0,7 |
| links 4 m | 238,3 | 3,1 | 1,3 | 3,6 | 1,5 |
| links 3 m | 231,7 | 3,8 | 1,6 | 3,6 | 1,6 |
| links 2 m | 267,4 | 4,1 | 1,5 | 3,4 | 1,3 |
| links 1 m | 264,7 | 4,0 | 1,5 | 4,4 | 1,7 |
| rechts 1 m | 301,9 | 4,2 | 1,4 | 2,4 | 0,8 |
| rechts 2 m | 240,8 | 2,8 | 1,2 | 1,8 | 0,8 |
| rechts 3 m | 153,0 | 0,5 | 0,3 | 1,4 | 0,9 |
| Überwurf rechts | 106,1 | 0,3 | 0,3 | 0,7 | 0,6 |
| Summe | 3.225,2 | 29,2 | | 43,6 | |
| prozentualer Anteil zur Gesamtmenge | | | 0,9 | | 1,4 |

Tab. 4: Ermittelte Feuchte- und Schmutzanteile bei einer Streubildbeurteilung für 12 m Streubreite mit 20 g/m² Streudichte, über 20 m Länge aufgenommen, Umfeldbedingungen: bedeckt, Lufttemperatur ca. 18 °C; trockene Prüffläche, geringe Windgeschwindigkeit, relative Luftfeuchte ca. 60-70 %

| Bezeichnung des Streuabschnitts in Bezug zur Fahrzeugmitte | Gewichtung der aufgenommenen Tausalze vor dem Trocknen [g] | ermittelte Feuchteanteile [g] | prozentualer Feuchteanteil in Bezug zur aufgenommenen Masse im Streuabschnitt [%] | ermittelte Schmutzanteile [g] | prozentualer Schmutzanteil in Bezug zur aufgenommenen Masse im Streuabschnitt [%] |
|--|--|-------------------------------|---|-------------------------------|---|
| Überwurf links | 48,5 | 0,4 | 0,8 | 1,3 | 2,6 |
| links 2 m | 110,4 | 1,1 | 1,0 | 2,3 | 2,0 |
| links 1 m | 107,5 | 1,2 | 1,2 | 2,3 | 2,1 |
| rechts 1 m | 103,4 | 1,3 | 1,2 | 1,9 | 1,9 |
| rechts 2 m | 67,9 | 0,6 | 1,0 | 1,2 | 1,7 |
| Überwurf rechts | 44,6 | 0,4 | 0,9 | 0,7 | 1,5 |
| Summe | 482,4 | 5,0 | | 9,6 | |
| prozentualer Anteil zur Gesamtmenge | | | 1,0 | | 2,0 |

Tab. 5: Ermittelte Feuchte- und Schmutzanteile bei einer Streubildbeurteilung für 4 m Streubreite mit 10 g/m² Streudichte, über 20 m Länge aufgenommen, Umfeldbedingungen: bedeckt, Lufttemperatur ca. 18 °C; trockene Prüffläche, geringe Windgeschwindigkeit, relative Luftfeuchte 60-70 %

Diese Mengen können etwa den unlöslichen Anteilen im ausgebrachten Trockenstoff angerechnet werden. Eine genaue Analyse fand dazu jedoch nicht statt.

Bei dem Kehrversuch (Tabelle 3) über 10 m Länge sind die Werte vergleichsweise deutlich höher und erreichen mit 15,4 g einen sehr extremen Wert. Allerdings wird auf diesem Streustreifen die mit Abstand größte Menge Tausalz je Quadratmeter aufgenommen.

Prozentual schwanken die Schmutzanteile auf den einzelnen Streustreifen zwischen unter 1 % und fast 27 %. Die Ergebnisse in Tabelle 3 weisen wesentlich höhere Werte im Vergleich zu den anderen beiden Versuchen aus. Eine mögliche Ursache kann darin gesehen werden, dass diese Ergebnisse von einem Versuch stammen, der nach längerer Zeit als Erstes auf der Prüffläche stattfand. Die Ergebnisse der anderen beiden Versuche wurden erzielt, nachdem bereits mehrere Versuche am selben Tag durchgeführt wurden. Dadurch war die Prüffläche sicherlich deutlich sauberer.

Auffällig ist bei allen drei Versuchen, dass tendenziell in den Überwurfbereichen prozentual die höchsten Schmutzanteile liegen. Der Grund kann darin liegen, dass in den Überwurfbereichen infolge der besseren Rolleigenschaften meist die größeren Körner liegen. Diese besitzen vielleicht einen größeren Anteil von unlöslichen Stoffen, der hier nicht berücksichtigt wird.

7.3 Zusammenfassung der Ergebnisse zur Bestimmung der Wiederfindungsrate

Die Ergebnisse der Versuche zur Wiederfindungsrate lassen folgende Aussagen zu:

- Bis auf eine Ausnahme betrug die Wiederfindungsraten von Hand ausgebrachter Tausalze in Bezug zu den Trockenstoffanteilen über 80 %. In über 50 % der Fälle liegt die Wiederfindungsrate über 90 %. Dabei muss beachtet werden, dass die von Hand ausgebrachten Feuchtsalze (FS30) eine hohe Durchmischung von Trockenstoff und Tausalzlösung erhalten. Nach dem Auftreffen auf der Fahrbahnoberfläche bilden sich teilweise große zusammenhaftende Korngruppen mit einer guten Haftung auf der Fahrbahnoberfläche. Dieses erfolgt in diesem Maße bei Ausbringen durch Streumaschinen nicht. Die von Hand ausgebrachten Tausalze sind aufgrund der Haftung schlechter zusammenkehrbar. Deshalb können beim Kehren von mit Streumaschinen ausgebrachten Tausalzen mit einem Lösungsanteil bis rund 30 % noch höhere Wiederfindungsraten angenommen werden. Voraussetzung ist dabei immer eine trockene und glatte Prüffeldoberfläche.
- Der Schmutz im aufgenommenen Kehrgut erreichte Anteile bis über 30 %. Die Höhe des Schmutzanteils hängt sehr vom Oberflächenzustand der Prüffläche ab. Von den Flächen dürfen sich durch das Kehren keine Bestandteile an der

Oberfläche lösen. Bei einer geeigneten und gut gereinigten Fläche beeinflussen mögliche Schmutzanteile die Messergebnisse mit maximal 1-2 %.

- Der Feuchteanteil bei aufgenommenen Proben nach der Ausbringung mit FS30-Streumaschinen lag bei trockenen Verhältnissen immer unter 2 %. Größere Einflüsse durch die Feuchte sind innerhalb eines Streubildes bei trockenen Bedingungen nicht zu erwarten.
- Für eine hohe Wiederfindungsrate ist ein Nachkehren unbedingt erforderlich.
- Der Versatz von Tausalzen in andere Bewertungsabschnitte war bei vorgenommenen Versuchen mit bis zu 7 % aufgetreten. Je größer die Korngröße, desto höher ist der Versatz. Für die Bewertung wird ein Austausch der Körner zwischen den einzelnen Bewertungsabschnitten erwartet, der das Prüfergebnis nur wenig verfälschen.

Zunehmende subjektive Erfahrungen bei den Streubildbeurteilungen mit dem Kehrverfahren zeigen auch einen wesentlichen Einfluss der Besenqualität. Die Besen müssen ein sehr dichtes Borstenfeld besitzen. Zur Vermeidung des Wegspringens von Salzkörnern sind weiche Borsten am besten geeignet. Sie sind besonders geeignet für feine trockene Körner. Bei größeren Körnern muss mit ihnen mehr nachgekehrt werden. Für anhaftende feuchte Salzkörner sind dagegen etwas härtere Borsten günstiger. Die Besenbreite sollte 60-80 cm betragen (Saalbesen). Gängige Straßenkehrbesen mit ihren harten Borsten sind für die Versuche ungeeignet. Diese Aussagen gelten für Prüffelder mit einer geringen Rauigkeit. Bei höheren Rauigkeiten sind härtere Borsten günstiger, die die Salzkörner aus den Poren besser herausholen.

Eine weitere Fehlerquelle beim Kehren entsteht, wenn die ausgebrachte Lösung aufgrund höherer Luftfeuchte nicht ausreichend abtrocknet. Angefeuchtete Salzkörner bleiben dann mehr oder weniger an den Borsten kleben. Durch ständiges Ausklopfen des Besens nach dem Fegen in einer Längsbahn kann das Versetzen der Körner in andere Längsbahnen vermieden werden.

Ein weiterer Messfehler ist durch so genanntes „Querkehren“ möglich. Der Prüfer fegt in diesem Fall nicht genau längs der Fahrtrichtung. Dieser Fehler lässt sich durch Versuche nur schwer ermit-

teln, da eine definierte großflächige Ausbringung von Tausalzen nicht mit einfachen Mitteln realisierbar ist. Der Fehler kann erheblich reduziert werden, wenn das Messfeld entsprechende Orientierungslinien in Längsrichtung aufweist. Linien im Abstand von einem Meter sind dafür ausreichend.

Weitere prüfmittelbedingte Messfehler, z. B. bei der Wägung oder Längenmessungen, werden bei anwendungsgerechter Handhabung der Prüfmittel als vernachlässigbar angesehen. Waagen sind regelmäßig zu prüfen.

8 Versuche zur Wiederholbarkeit von Streubildergebnissen

8.1 Festlegungen zur Bestimmung der Wiederholbarkeit

Mit verschiedenen Streumaschinen bei unterschiedlichen Streueinstellungen und Geschwindigkeiten sollten zunächst jeweils 20 Einzelergebnisse für Aussagen zur Wiederholbarkeit gemäß den Vorschriften des Merkblattes über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen ausgewertet werden. Der Schwerpunkt lag dabei bei Streubildbeurteilungen mit Geschwindigkeiten von 40 bis 60 km/h. Die Länge der Prüffelder war entsprechend den gegenwärtigen Vorgaben in der vorgesehenen Europäischen Norm mit 2 x 10 m Länge je Prüffahrt vorgesehen.

Als wesentliche zu untersuchende Einflussbedingungen wurden die Windverhältnisse und die Konstruktion der Streumaschine einschließlich Fahrzeug gesehen. Die anderen Einflüsse gemäß Kapitel 6 waren ebenfalls zu betrachten.

Aufgrund von meteorologischen und organisatorischen Problemen konnten die Versuche nicht in der gewünschten Anzahl mit einer Streumaschine wiederholt werden. Eine statistisch gesicherte Auswertung gemäß dem Merkblatt ist daher nicht möglich.

Alle Prüfungen fanden auf dem im Kapitel 7.1 genannten Prüffeld auf der Rastanlage „Hummerich“ an der BAB A 61 statt. Zum Teil wurden spezielle Versuche für die Bestimmung der Wiederholbarkeit mit einem Streufahrzeug durchgeführt. Weitere Auswertungen nutzen Ergebnisse von Prüfungen, die die BASt gemäß einer Prüfvorschrift des Landesbetriebes Straßenbau NRW durchgeführt hat. Dabei werden aber immer nur zwei Einzelwerte ver-

glichen, die jeweils auf einem 20 Meter langen Prüffeld erzielt wurden.

Vor den eigentlichen Versuchen zur Wiederholbarkeit fanden noch Versuche statt, die zu Aussagen über die Gleichmäßigkeit der Streustoffverteilung während einer Streufahrt unter gleichen Bedingungen führen sollten. Dabei war die Streustoffverteilung über eine längere Strecke als die genannten 20 Meter zu erfassen. Dafür fanden mehrere Streufahrten mit zwei verschiedenen Streumaschinen statt. Die Prüfflächen waren zwei Autobahnabschnitte, die infolge Baumaßnahmen für den Verkehr gesperrt waren.

8.2 Ergebnisse vom Zusammenkehren über längere Abschnitte

8.2.1 Versuche auf der BAB A 10

Die ersten Projektversuche fanden am 6. Dezember 2005 auf der BAB A 10 statt. Hierbei ging es noch um die grundsätzliche Untersuchung zur Durchführung derartiger Versuche. Der genutzte dreistreifige Autobahnabschnitt besaß eine neu erstellte Betonfahrbahn, die zum Zeitpunkt der Versuche noch nicht unter Verkehr war. Die Fahrbahnoberfläche wies nur eine sehr geringe Rauigkeit auf und war für das Zusammenkehren sehr gut geeignet. Schwierigkeiten bereiteten die Fugen in der Fahrbahn. Diese mussten mit besonderer Sorgfalt ausgekehrt werden.

An diesem Tag fanden drei Streufahrten mit einem Streufahrzeug mit zwei verschiedenen Einstellungen statt. Das Kehren erfolgte in drei 10-m-Abschnitten. Zwischen dem ersten und zweiten Feld bestand ein Abstand von 20 Metern. Die Felder 2 und 3 grenzten unmittelbar aneinander.

Die Streubreite war bei allen Versuchen mit 8 m (6 m links und 2 m rechts von der Fahrzeugmitte) vorgegeben. Die gefahrene Geschwindigkeit betrug immer 60 km/h. Zwei Fahrten fanden bei einer eingestellten Streudichte von 5 g/m² statt. Bei der dritten Fahrt betrug die eingestellte Streudichte 20 g/m². Eine spezielle Justierung für die Streudichte, -breite und -streifenlage erfolgte unmittelbar im Vorfeld nicht. Die Streudichte wurde vor dem Streuen bei einer simulierten Geschwindigkeit von 30 km/h bei drei verschiedenen Streudichten geprüft. Die Abweichungen lagen unter 10 % zu den Sollwerten. Als Streustoffe kam Steinsalz mit Na-

triumchloridlösung zur Anfeuchtung nach dem FS30-Verfahren zum Einsatz.

Die Temperaturen lagen etwas über 0 °C, und es war sonnig bis teilweise neblig. Der Wind war eher gering, genaue Messwerte liegen nicht vor. Vor den Streufahrten erfolgte eine Reinigung der Fahrbahn mit einer Kehrmaschine. Die Fahrbahnoberfläche war leicht feucht. Trotzdem ging nach den visuellen Eindrücken beim Kehren kaum Salz in Lösung. Bei der ersten Prüffahrt lag trotz Reinigung mit der Kehrmaschine noch viel Schmutz vor allem im Randbereich vor. Die Ergebnisse der ersten Prüffahrt können deshalb schmutzbedingt in der Summe bis zu 10 % höher liegen. Eine Korrektur von Einzelergebnissen erfolgte im Nachhinein nicht.

Alle erzielten Einzelergebnisse je Fahrt sind in den Bildern 9 bis 11 grafisch dargestellt.

Die Ergebnisse weisen teilweise erhebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Prüffeldern auf. Tendenziell wird bei beiden Einstellungen links neben dem Fahrzeug deutlich mehr gestreut als hinter dem Fahrzeug. Die Verhältnisse zwischen den einzelnen 1-m-Streifen sind allerdings auf den einzelnen Prüffeldern nicht gleich. Eine einheitliche Tendenz der Streustoffverteilung auf allen Prüffeldern ist nur bei der zweiten Fahrt mit 5 g/m² Streudichte ersichtlich.

Auffällig sind auch die großen Unterschiede zwischen den einzelnen Prüffeldern bei der Summe der aufgenommenen Mengen. Sie schwanken bei den Versuchen mit der 5-g/m²-Einstellung zwischen -18 % (Feld 1-2) bis +88 % (Feld 1-1) im Vergleich zum auszubringenden Soll bei der Trockenstoffmenge. Bei den Versuchen mit der 20-g/m²-Einstellung wurden in der Summe nur zwischen rund 59 und 73 % des Solls beim Trockenstoff aufgenommen. Dies kann auch an einer fehlerhaften Justierung für die Streudichte liegen. Die Dosierungsprüfungen fanden nur mit bis zur halben Durchsatzmenge (auszubringende Menge pro Zeiteinheit) im Vergleich zu der genutzten 20-g/m²-Einstellung statt.

Bild 12 zeigt die Spannweite zwischen dem größten und kleinsten Wert einerseits sowie die prozentuale Werte der Spannweite im Bezug zum Mittelwert für jeweils einen Messstreifen andererseits. Dafür sind die Ergebnisse der beiden Fahrten mit 5 g/m² zusammengefasst.

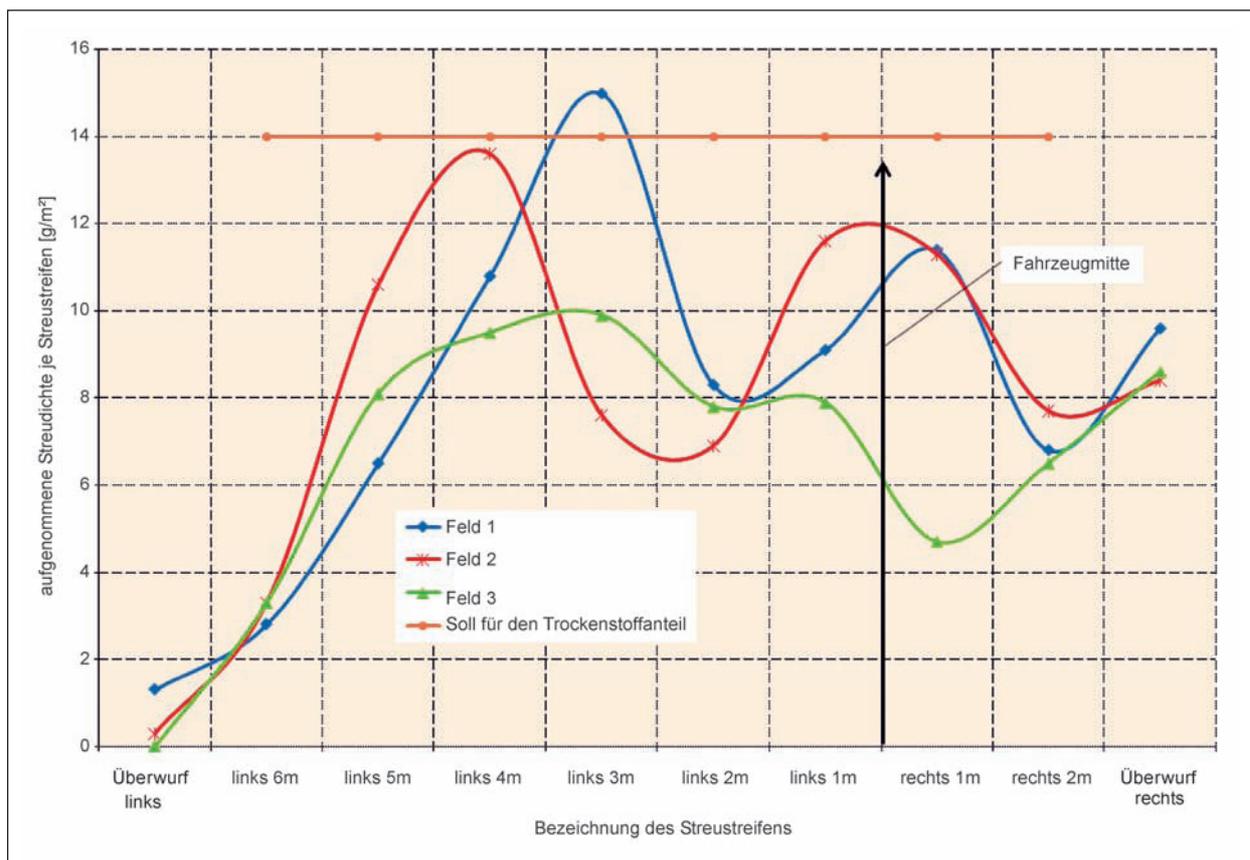


Bild 9: Aufgenommene Streudichten bei Ausbringung mit eingestellter Streudichte 20 g/m² und 60 km/h

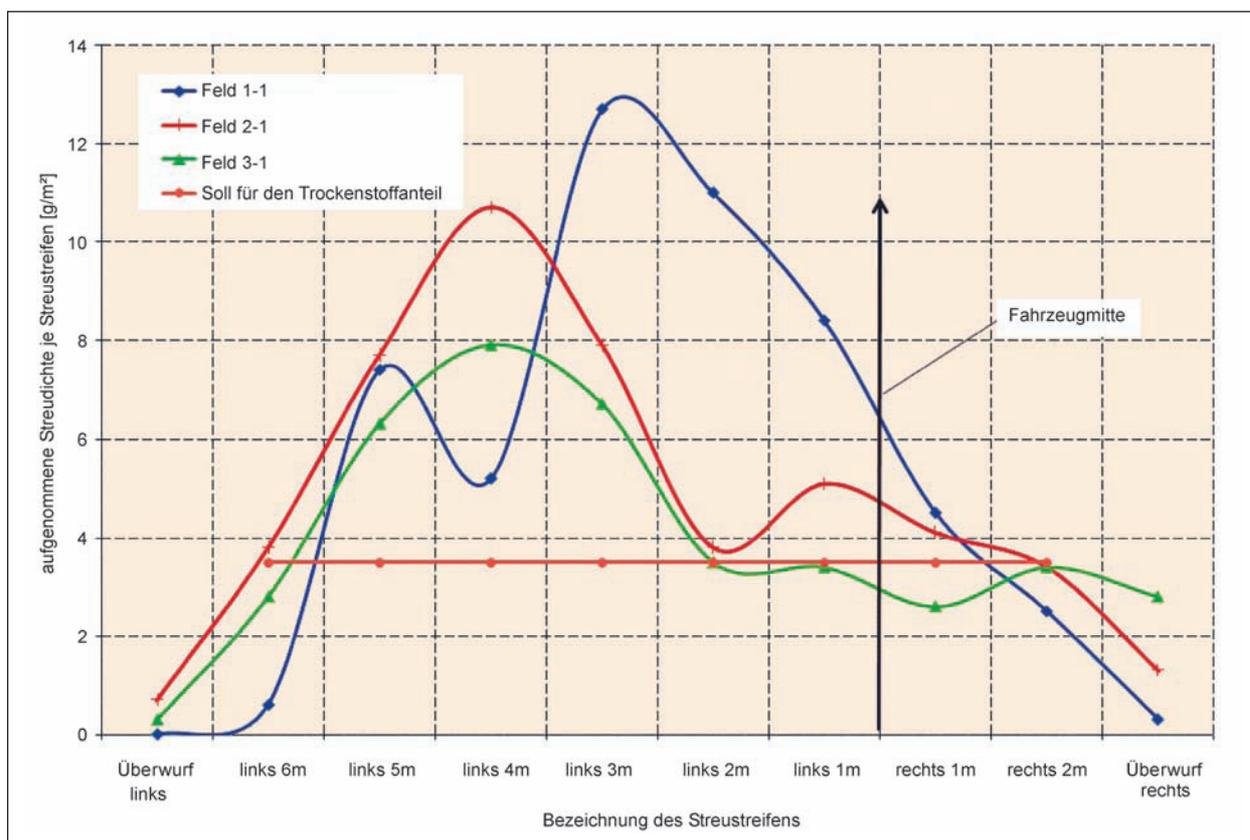


Bild 10: Aufgenommene Streudichten bei Ausbringung mit eingestellter Streudichte 5 g/m² und 60 km/h (1. Fahrt)

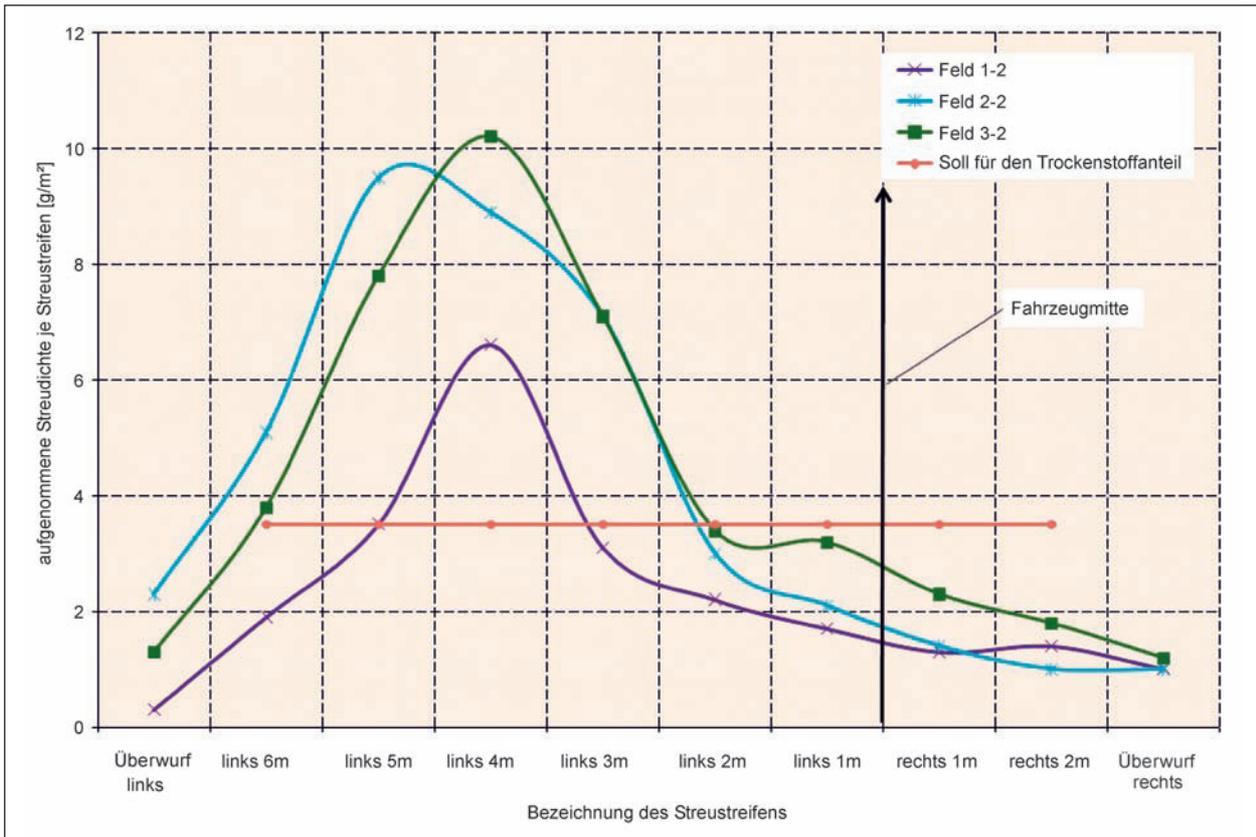


Bild 11: Aufgenommene Streudichten bei Ausbringung mit eingestellter Streudichte $5 g/m^2$ und $60 km/h$ (2. Fahrt)

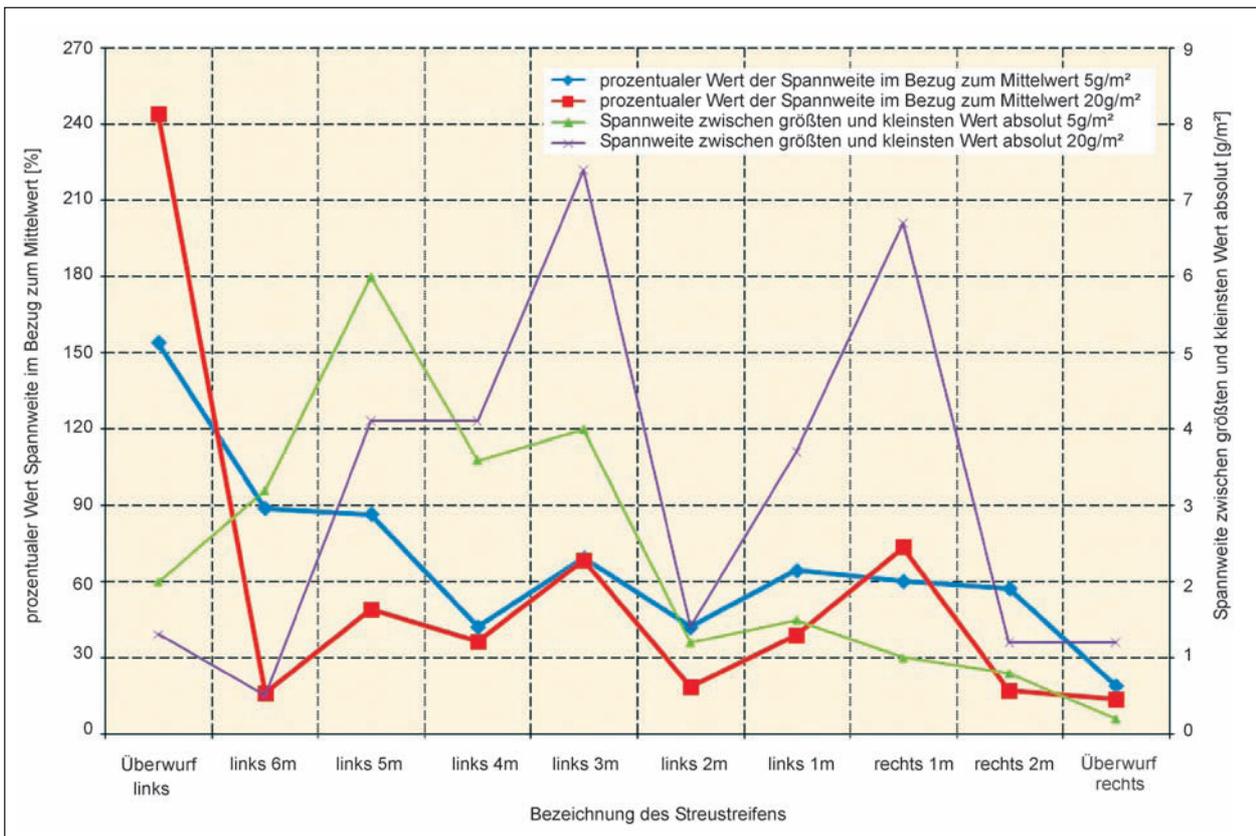


Bild 12: Ermittelte Spannweiten zwischen den einzelnen Prüffeldern bei den Versuchen auf der BAB A 10 – prozentual zum erzielten Mittelwert und absolut

Die Abweichungen zum Mittelwert innerhalb der 1-m-Streifen schwanken bei der 20-g/m²-Fahrt zwischen rund 16 und 73 % innerhalb der Sollstreuung. Im linken Überwurfbereich ist die Abweichung mit 244 % sehr groß, im rechten Überwurfbereich mit 17 % dagegen gering. Allerdings sind die absoluten Werte in beiden Überwurfbereichen vergleichsweise gering.

Bei den beiden 5-g/m²-Fahrten schwanken die Differenzen zum Mittelwert innerhalb der 1-m-Streifen zwischen 42 und 89 %. Im Überwurfbereich sind die Ergebnisse ähnlich wie bei der 20-g/m²-Einstellung.

8.2.2 Versuche auf der BAB A 4

Zwei weitere Versuche fanden am 19. Juli 2006 auf der BAB A 4 auf einem gesperrten Abschnitt im Bereich der Anschlussstelle Gummersbach statt. Die Einstellungen am Bedienpult betragen 6 m für die Streubreite (4 m links/2 m rechts von der Fahrzeugmitte) und 20 g/m² für die Streudichte. Die Bedingungen waren mit Temperaturen über 30 °C und wolkenlosem Himmel extrem trocken. Der Wind wehte nur wenig. Als Streustoffe kamen wieder Steinsalz und Natriumchloridlösung zur Anfeuch-

tung nach dem FS30-Verfahren zum Einsatz. Die Dosierung wurde unmittelbar vor dem Streuen überprüft. Die Abweichungen betragen maximal +6 %.

Die Fahrbahnoberfläche bestand aus Asphalt. Sie besaß im Querschnitt eine sehr unterschiedliche Oberflächenstruktur. Der rechte Bereich der Sollstreuung war vergleichsweise wenig rau. Im rechten Überwurfbereich lag dagegen eine sehr grobe Textur mit tieferen Poren vor. Die Wiederfindung in diesem Bereich wurde aufgrund der Poren nur mit 50 % eingeschätzt. Der linke Bereich des Prüffeldes besaß dagegen eine Art grob „genobte“ Fahrbahnoberfläche, auf der nach visueller Einschätzung ein nahezu vollständiges Zusammenkehren möglich war. Der linke Überwurfbereich war stärker verschmutzt. Die aufgenommenen Mengen in diesem Bereich wurden um den Schmutzanteil nach visueller Einschätzung reduziert.

Die beiden Versuche unterschieden sich in der gefahrenen Geschwindigkeit. Der erste Versuch erfolgte mit 30 km/h und der zweite Versuch mit 50 km/h.

Bei beiden Versuchen wurden die Tausalze auf jeweils fünf hintereinanderfolgenden 10-m-Abschnitten längs zur Fahrtrichtung zusammengekehrt. Die

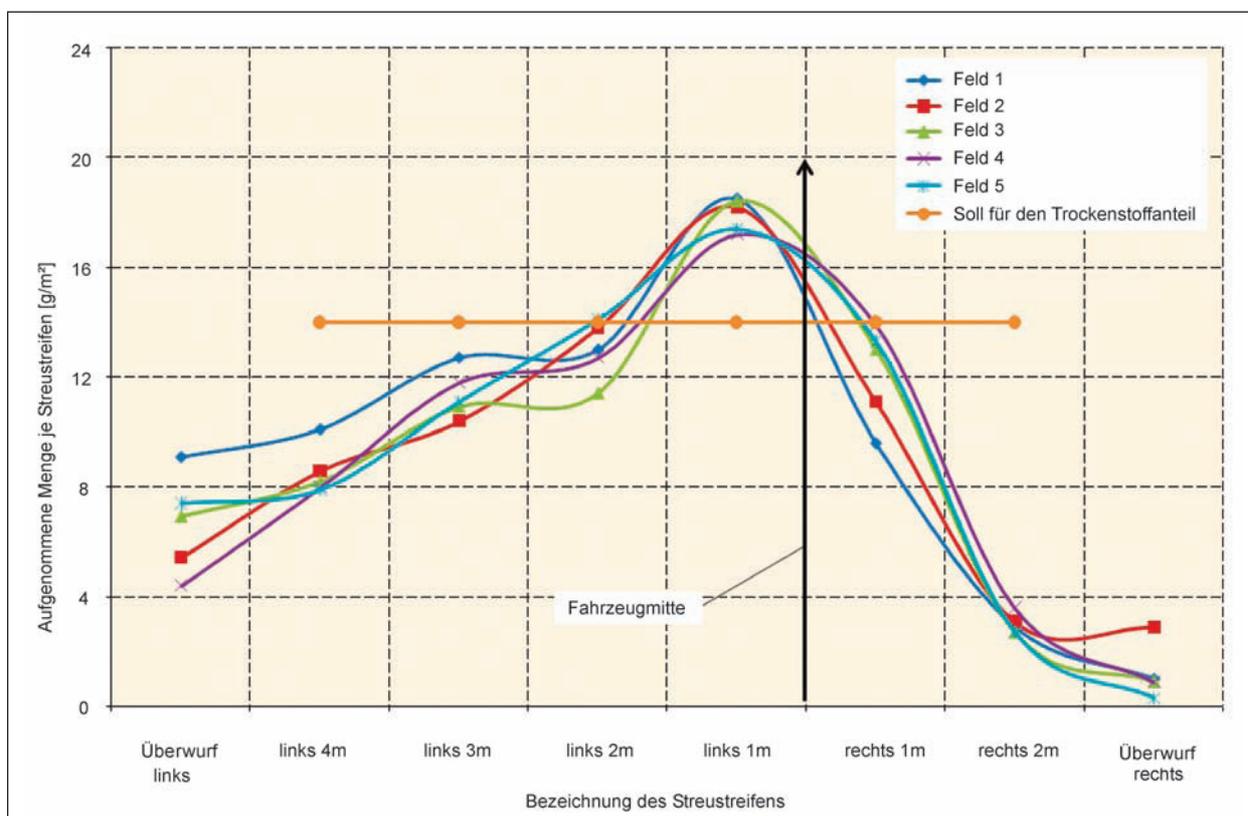


Bild 13: Aufgenommene Streudichten bei Ausbringung mit eingestellter Streudichte 20 g/m² und 30 km/h

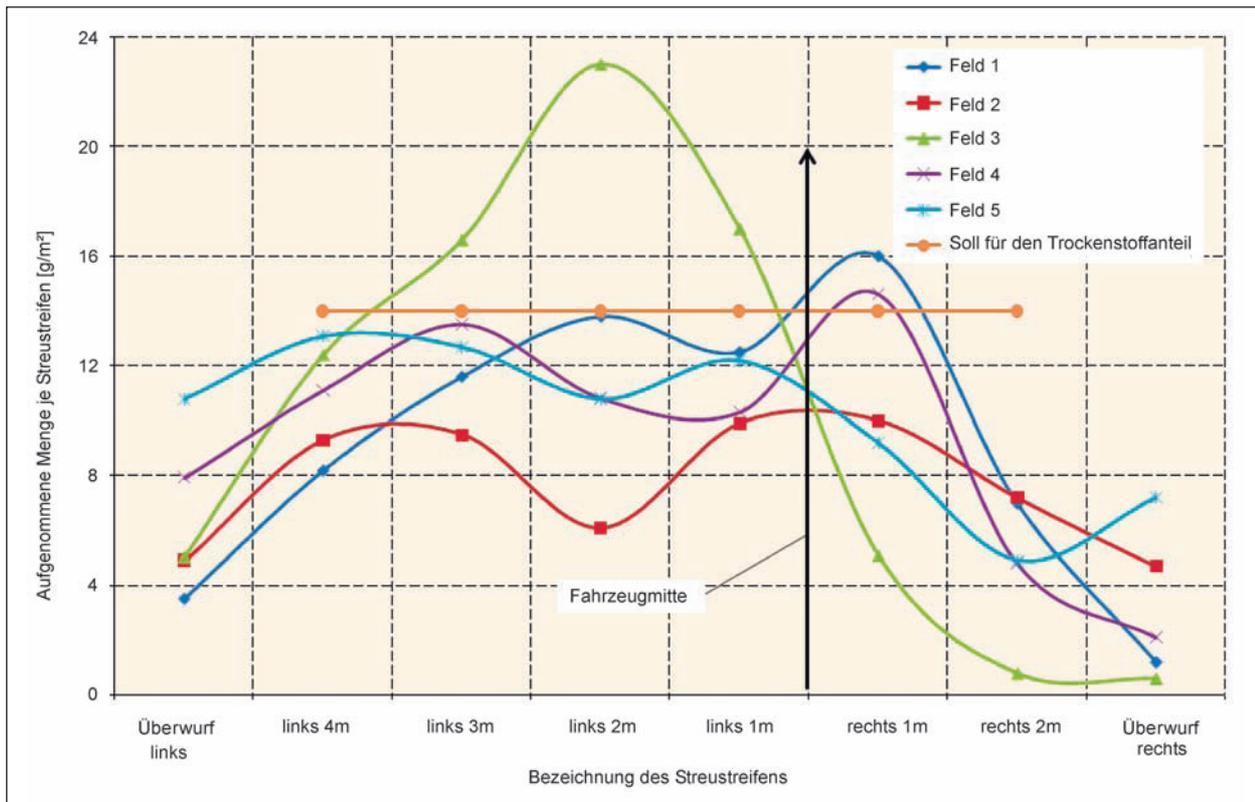


Bild 14: Aufgenommene Streudichten bei Ausbringung mit eingestellter Streudichte 20 g/m² und 50 km/h

Einzelerggebnisse je Längsstreifen sind in den Bildern 13 und 14 grafisch zusammengefasst.

Bei der 30-km/h-Fahrt traten nur geringe Differenzen zwischen den einzelnen Feldern auf. Auf allen fünf Feldern ist immer das gleiche Verhältnis zwischen den Längsstreifen erkennbar. Die aufgenommenen Gesamtmengen je Feld betragen zwischen rund 86 und 91 % zur Sollmenge und sind damit recht gleich (Bild 13). Die Anforderungen für die Streustoffverteilung des Landesbetriebes NRW (siehe Kapitel 5) werden mit Ausnahme des rechten 1-m-Streifen innerhalb der Sollstreubreite immer erfüllt. Eine Verlagerung des Streubildes durch entsprechende Justierung (Streutellerverlagerung) sollte kein Problem sein, da im linken Überwurfbereich eine größere Menge Tausalz gestreut wird.

Im Gegensatz zu den 30-km/h-Ergebnissen streuen die Ergebnisse der einzelnen Prüffelder bei der 50-km/h-Fahrt wesentlich mehr. Eine gleichmäßige Streustoffverteilung ergibt sich weder in Längs- noch Querrichtung. Einen besonders großen Ausreißer stellt das Feld 3 dar (Bild 14).

Die aufgenommenen Gesamtsummen innerhalb der einzelnen Prüffelder schwanken mit rund 73 bis 96 % zum Sollwert wesentlich höher als die Ergebnisse beim dem 30-km/h-Versuch.

Die Streustoffverteilung gemäß den Anforderungen des Landesbetriebes Straßenbau NRW (siehe Kapitel 5) wird aber auch in diesem Fall auf allen Feldern mit jeweils einer Ausnahme auf den Streifen „rechts 1 m“ und „links 2 m“ und drei Werten im Streifen „rechts 2 m“ erfüllt. Im Feld 5 wird eine größere Menge als zulässig in die Überwurfbereiche gestreut.

Die Gegenüberstellung der Spannweiten für die einzelnen Streustreifen zeigen die deutlichen Unterschiede zwischen beiden Versuche aufgrund der Fahrgeschwindigkeiten (Bild 15).

Bei dem 30-km/h-Versuch beträgt die mittlere Spannweite bei den fünf Feldergebnissen für die jeweiligen Streifen 2,6 g/m². Der Maximalwert beträgt 4,7 g/m². Die mittlere Spannweite bei dem 50-km/h-Versuch erreicht einen Wert von 8,4 g/m² (größter Wert 16,9 g/m²) und ist damit mehr als dreimal so hoch im Vergleich zum 30-km/h-Versuch. Damit entstand beim Maximalwert eine größere Spannweite als die Soll-Streumenge selber.

Die prozentuale Abweichung der Spannweite zum Mittelwert für die jeweiligen Streifen ist bei dem 50-km/h-Versuch im Durchschnitt etwa doppelt so hoch wie bei dem 30-km/h-Versuch (105,0 %: 53,3 %).

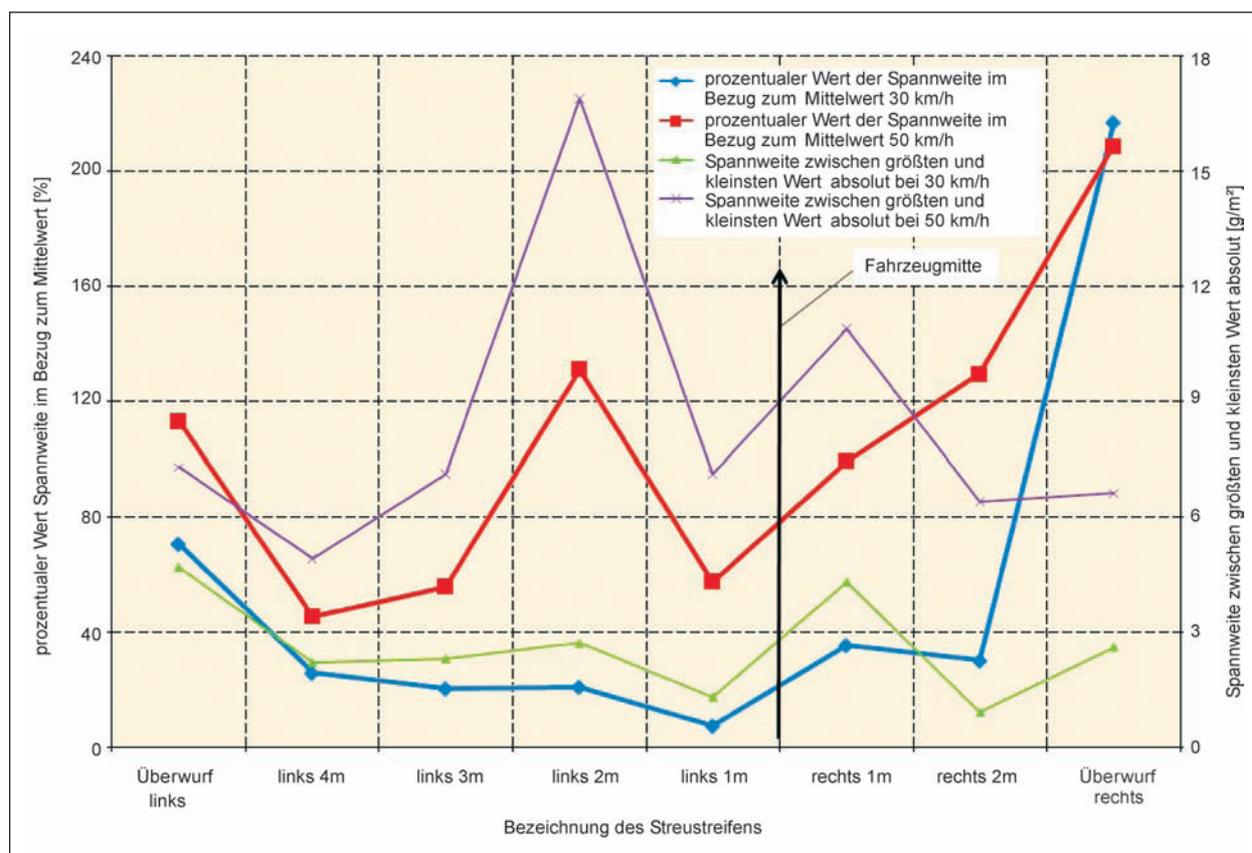


Bild 15: Ermittelte Spannweiten zwischen den einzelnen Prüffeldern bei den Versuchen auf der BAB A 4 – prozentual zum erzielten Mittelwert und absolut

8.2.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zur Einschätzung der Gleichmäßigkeit eines Streubildes während einer Streufahrt fanden fünf Fahrten auf zwei verschiedenen Prüfflächen statt. Für jede Prüffläche stand jeweils eine Streumaschine zur Verfügung. Die Fahrten für die jeweiligen Prüfpunkte wurden an jeweils einem Tag durchgeführt. Die Prüffelder besaßen teilweise nicht die Eigenschaften, die für eine hohe Wiederfindungsrate erforderlich sind. Die Wiederfindungsraten werden aber bis auf wenige beschriebene Teilflächen mit über 90 % geschätzt.

Bei den drei Fahrten mit 60 km/h auf der BAB A 10 kamen unter etwa gleichen Bedingungen beim Vergleich der einzelnen 10 m langen Prüffelder sehr unterschiedliche Ergebnisse heraus. Teilweise war keine Tendenz für eine gleichartige Verteilung in der Breite erkennbar. Dementsprechend hoch waren die Spannweiten der Einzelwerte in den Streifen. Die prozentualen Werte der Spannweiten im Bezug zum Mittelwert lagen in der überwiegenden Zahl über 30 % und erreichten einen maximalen Wert von über 240 %.

Die beiden Versuche auf der BAB A 4 zeigen größere Unterschiede zwischen den Ergebnissen von den Prüffeldern bei 50 km/h im Vergleich zu den Ergebnissen von den Prüffeldern bei 30 km/h. Bei der 50-km/h-Fahrt entstanden etwa dreimal so große Spannweiten der Einzelwerte in den Streustreifen im Vergleich zur Spannweite bei den Ergebnissen der 30-km/h-Fahrt auf. Da sich die Einflüsse bei beiden Versuchen kaum unterschieden, können die Unterschiede allein auf die größeren Verwirbelungen infolge der höheren Geschwindigkeit zurückgeführt werden.

8.3 Ergebnisse von wiederholten Streufahrten auf der Rastanlage Hummerich

8.3.1 Allgemeines

Im Rahmen der Bestimmung der Wiederholbarkeit (gleicher Prüfplatz, gleiche Prüfer) war als Messort der Rastplatz Hummerich an der BAB A 61 vorgesehen. Auf einer Länge von 20 m und 16 m Breite besteht dort eine spezielle Asphaltfläche mit einer

geringen Rauigkeit, die für das Zusammenkehren sehr gut geeignet ist (siehe auch Kapitel 7.2.2). Die Fläche ist in der Längs- und Querneigung gleichförmig, sodass bei kleineren Teilflächen immer von gleichen Verhältnissen ausgegangen werden kann.

Weiterhin ist eine ausreichende Anlauf- und Abbremsstrecke für Geschwindigkeiten bis 60 km/h vorhanden.

Bei den Wiederholungsversuchen mit einer Streumaschine einer Straßenbauverwaltung erfolgte die Aufnahme auf der speziellen Fläche über zwei 10 m lange Teilabschnitte. Somit können von jeder Überfahrt jeweils unter gleichen Bedingungen zwei Einzelwerte verglichen werden. Die Teilflächen liegen unmittelbar hintereinander.

Aufgrund vor allem der ungünstigen Wettersituationen konnten nur sehr wenige der vorgesehenen Tage für Versuche genutzt werden. Im Winter werden nur sehr selten trockene Bedingungen über einen längeren Tageszeitraum erreicht. Außerhalb der Wintersaison wurden die Tage mit trockenen Bedingungen für Streumaschinenprüfungen im Auftrag von Firmen genutzt (siehe Kapitel 8.4).

Spezielle Justierungen und Dosierungsprüfungen an der Streumaschine fanden vor den Versuchen nicht statt. Die Streumaschine arbeitete mit einer FS30-Anfeuchtung. Als Streustoffe kamen Steinsalz mit einer Korngröße 0-5 mm und Calciumchloridlösung für die Anfeuchtung zum Einsatz.

8.3.2 Versuche am 22.02.2007

Am 22.02.2007 fanden zwei Streufahrten statt. Am Bedienpult waren folgende Werte eingegeben: Streubreite 8 m, 5 m links und 3 m rechts von der Fahrzeugmitte, Streudichte 20 g/m². Die Fahrgeschwindigkeit betrug 50 km/h.

Bei beiden Fahrten herrschten nahezu gleiche Bedingungen: Die Temperaturen lagen bei ca. 10 °C, die Prüffläche war trocken und es wehte nur ein geringer Wind mit 0,2 m/s.

Die Ergebnisse zeigen bei beiden durchgeführten Fahrten eine extrem schlechte Streustoffverteilung (Bild 16). Bei allen 10-m-Abschnitten werden etwa 50 % der Tausalze außerhalb der Sollstreubreite geworfen. Im mittleren Bereich der Sollbreite und

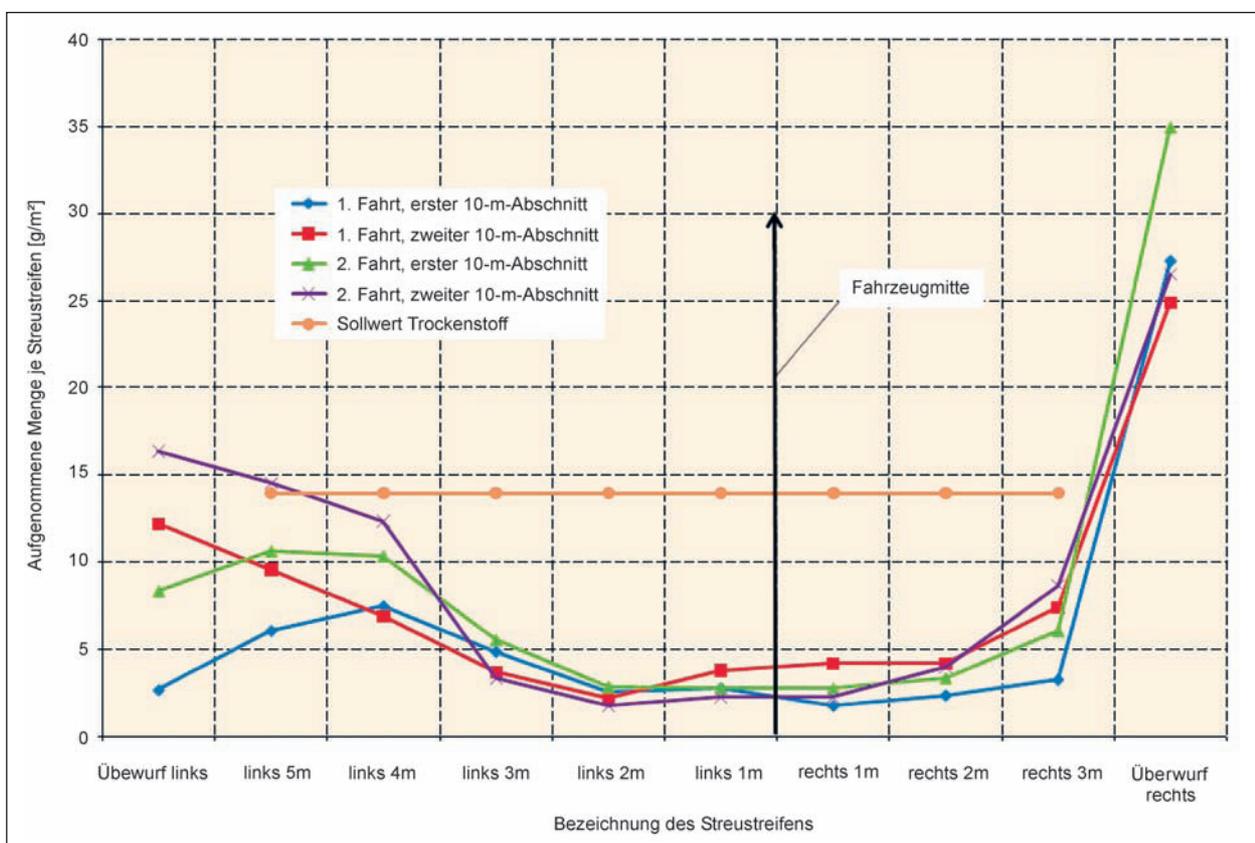


Bild 16: Aufgenommene Mengen in g/m² bei den Streufahrten am 22.02.2007 mit 50 km/h Geschwindigkeit (Einstellwerte: 20 g/m² Streudichte, 8 m Streubreite, 5 m links und 3 m rechts von der Fahrzeugmitte), Mittelwerte von 10-m-Abschnitten

hinter dem Fahrzeug werden teilweise nur etwa 20 % der Soll-Trockenstoffmenge gefunden.

In der Tendenz entstand bei allen Messungen etwa die gleiche Streustoffverteilung. Größere absolute Differenzen ($> 5 \text{ g/m}^2$) traten nur in den Randbereichen auf (siehe Tabelle 6). Aufgrund der geringen

Werte bei den inneren Streustreifen erreichen die Spannweiten in allen Streustreifen prozentuale Werte im Bezug zum Mittelwert $> 50 \%$. Eine Ausnahme ist der rechte Überwurfbereich, in dem aber wiederum sehr hohe absolute Werte vorliegen. Die ermittelten Standardabweichungen erreichen in allen Streustreifen fast 50 % der Spannweiten,

| 1 | 2 | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 |
|--------------------------------|--------------------------------|--|----------------|--|----------------|--|----------------|----------------|--|---|
| | | Spannweite zwischen größtem und kleinstem Wert [g/m ²] | | prozentualer Wert der Spannweite in Bezug zum Mittelwert [%] | | Standardabweichung [g/m ²] | | | | |
| Bezeichnung des Streustreifens | Mittelwert [g/m ²] | 10-m-Abschnitt | 20-m-Abschnitt | 10-m-Abschnitt | 20-m-Abschnitt | 10-m-Abschnitt | 20-m-Abschnitt | 10-m-Abschnitt | | |
| Überwurf links | 9,9 | 13,7 | 5,0 | 138,0 | 49,9 | 5,0 | | | | |
| links 5 m | 10,3 | 8,5 | 4,8 | 82,9 | 46,8 | 3,0 | | | | |
| links 4 m | 9,3 | 5,5 | 4,2 | 59,1 | 45,2 | 2,2 | | | | |
| links 3 m | 4,4 | 2,2 | 0,2 | 50,0 | 4,5 | 0,9 | | | | |
| links 2 m | 2,4 | 1,1 | 0,1 | 46,3 | 2,1 | 0,4 | | | | |
| links 1 m | 2,9 | 1,5 | 0,8 | 51,3 | 25,6 | 0,5 | | | | |
| rechts 1 m | 2,8 | 2,4 | 0,5 | 86,5 | 16,2 | 0,9 | | | | |
| rechts 2 m | 3,5 | 1,8 | 0,4 | 51,4 | 11,4 | 0,7 | | | | |
| rechts 3 m | 6,4 | 5,4 | 2,1 | 84,7 | 32,2 | 2,0 | | | | |
| Überwurf rechts | 28,4 | 10,1 | 4,7 | 35,5 | 16,4 | 3,9 | | | | |

Tab. 6: Mittelwerte, Spannweiten, prozentuale Werte der Spannweiten im Bezug zum Mittelwert und Standardabweichungen der Messwerte vom 22.02.2007

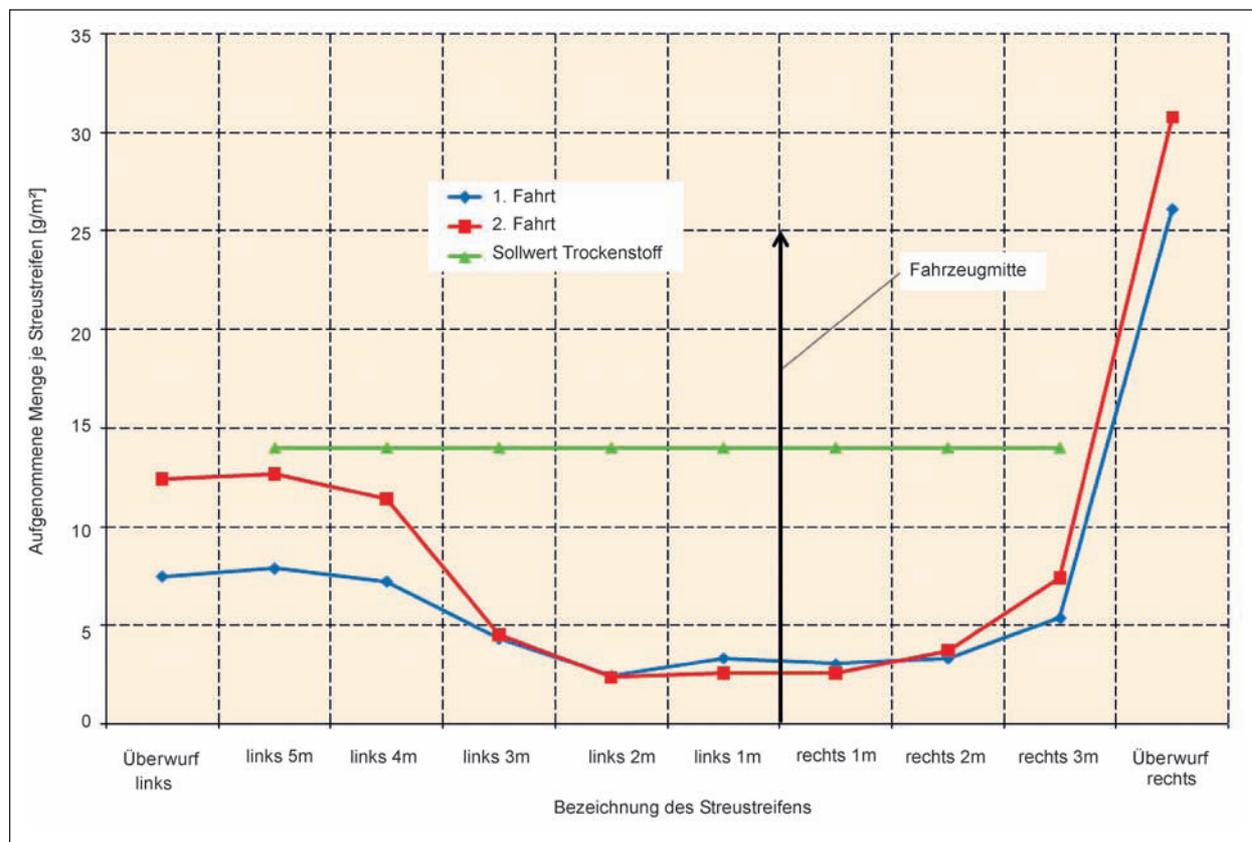


Bild 17: Aufgenommene Mengen in g/m² bei den Streufahrten am 22.02.2007 mit 50 km/h Geschwindigkeit (Einstellwerte: 20 g/m² Streudichte, 8 m Streubreite, 5 m links und 3 m rechts von der Fahrzeugmitte), Mittelwerte aus der Addition der beiden 10-m-Prüffelder je Streufahrt

womit die hohe Streuung der Einzelwerte je Streustreifen zum Ausdruck kommt. Allerdings ist diese Aussage aufgrund der wenigen Messungen weniger aussagekräftig.

Größere Unterschiede entstanden auch bei der Wiederfindungsrate im Bezug zur eingestellten Sollmenge. Die Werte lagen zwischen rund 55 und 83 %. Da keine Überprüfung der Dosierung erfolgte, lässt sich aus diesen Werten keine Güte der Aufnahme ableiten.

In Bezug auf die Prüfvorschriften des Landesbetriebes Straßenbau NRW können die Ergebnisse der jeweils beiden 10-m-Abschnitte zu einem 20-m-Abschnitt zusammengefasst werden (Bild 17).

Die Ergebnisse der beiden 20-m-Abschnitte werden untereinander wesentlich gleichmäßiger. Die Spannweite vermindert sich auf die Hälfte bis sogar weniger als ein Zehntel im Vergleich zu den Werten für die 10-m-Abschnitte (vergleiche Spalten 3 und 4 in Tabelle 6). Eine Ausnahme bildet der Streustreifen „links 4 m“. In diesem Streustreifen reduziert sich die Spannweite nur um etwa 20 %.

Die prozentualen Werte der Spannweiten im Bezug zum Mittelwert liegen für die 20-m-Abschnitte in den mittleren Streustreifen sowie im rechten Überwurfbereich unter 30 % (± 15 %) und in den anderen Bereichen nicht über 50 %.

Die Wiederfindungsraten für die beiden 20-m-Abschnitte betragen rund 63 und 81 %.

8.3.3 Versuche am 15.11.2007

Die Versuche am 15.11.2007 fanden mit dem gleichen Streufahrzeug, den gleichen Einstellungen am Bedienpult und mit der gleichen Geschwindigkeit wie am 22.02.2007 (siehe Kapitel 8.3.2) statt. Allerdings wurde die Streumaschine nach den schlechten Ergebnissen im Februar gleich neu justiert. An diesem Tag konnten 4 Versuchsfahrten durchgeführt werden.

Während der Versuche bestanden folgende Umfeldbedingungen: trockene Prüffläche, Lufttemperaturen steigend von ca. $+2$ °C auf ca. $+5$ °C, relative Luftfeuchte von ca. 75 % abnehmend auf ca. 65 %. Der Wind wehte bei den Fahrten 1, 3, und 4 von vorn in Fahrtrichtung gesehen mit einer Geschwin-

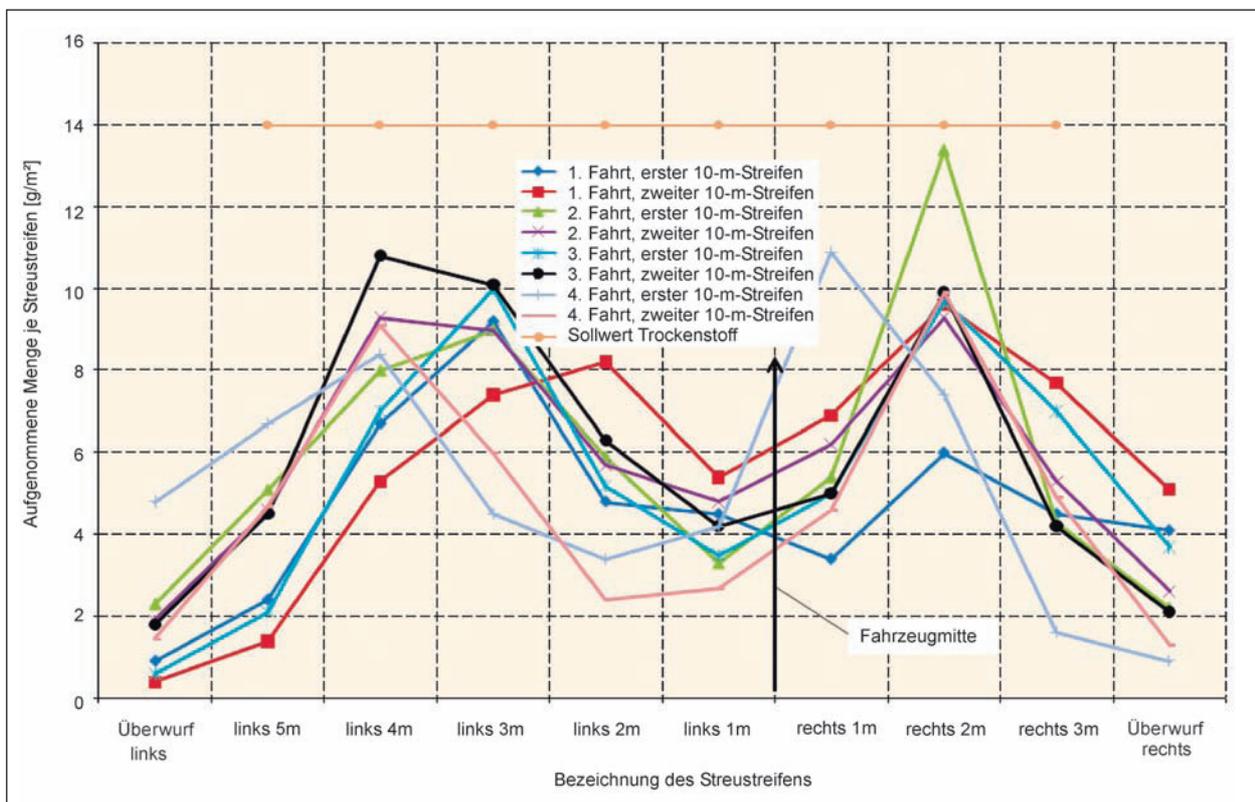


Bild 18: Aufgenommene Mengen in g/m² bei den Streufahrten am 15.11.2007 mit 50 km/h Geschwindigkeit (Einstellwerte: 20 g/m² Streudichte, 8 m Streubreite, 5 m links und 3 m rechts von der Fahrzeugmitte), Mittelwerte von 10-m-Prüffeldern

digkeit von 1,2 bis 1,7 m/s, beim Versuch 2 war es windstill.

Die Einzelwerte für die 10-m-Prüffelder sind in Bild 18 dargestellt. Bild 19 enthält die Einzelwerte für die 20-m-Prüffelder, die sich aus der Addition der jeweils beiden 10-m-Werte pro Fahrt ergeben.

In der Tendenz entstehen bei allen aufgenommenen 8 Streubildern ähnliche Streustoffverteilungen. Bis auf wenige Ausnahmen lässt sich die Streustoffverteilung wie folgt beschreiben: In den beiden mittleren Streustreifen liegen weniger Streustoffe als auf den jeweils zwei anschließenden Streifen. Zum Rand fällt die Streudichte in allen Fällen ab. Auf allen Prüffeldern wurde außerhalb weniger gestreut als im letzten Streifen der Soll-Streubreite. Einen völligen Ausreißer zu dieser Beschreibung gibt es nicht.

Die aufgenommenen Mengen von den jeweils gesamten 10-m-Prüffeldern liegen in Bezug zu den Soll-Trockenstoff-Streudichten ($8 \times 14 \text{ g/m}^2 = 112 \text{ g/m}^2$) zwischen rund 43 und 53 %. Sie liegen damit enger zusammen als bei den Versuchen am 22.02.2007. Sie sind aber auch deutlich geringer. Aufgrund der fehlenden Dosierungsprüfung können

aus diesen Zahlen wieder keine Ableitungen zur Wiederfindungsrate im Bezug zur Aufnahmegüte erfolgen.

Bei der Zusammenfassung der 10-m-Werte je Fahrt zu je einen 20-m-Wert ändern sich die aufgenommenen Gesamtmengen nur wenig. Sie erreichen Werte zwischen rund 45 und 52 %.

Die Spannweiten der Ergebnisse in den 10-m-Streustreifen betragen zwischen 2,7 und 7,4 g/m². Prozentual im Bezug zum jeweiligen Mittelwert liegen alle Werte über 65 % und gehen bis maximal fast 250 % (Tabelle 7, Spalte 5). Die höhere Anzahl von Versuchen führt damit zu einer größeren Spannweite der Ergebnisse (vergleiche Tabelle 6 und 7 jeweils Spalten 5 und 6).

Die Standardabweichung ist aufgrund der geänderten Justierung an beiden Tagen und der damit verbundenen anderen Streustoffverteilung nicht direkt vergleichbar. Prozentual sind jedoch die Standardabweichungen im Bezug zu den Spannweiten am 15.11. geringer als am 22.02. Daraus lässt sich schließen, dass aufgrund der höheren Anzahl der Einzelwerte innerhalb der Spannweiten keine wesentlich größere Streuung der Einzelwerte auftritt.

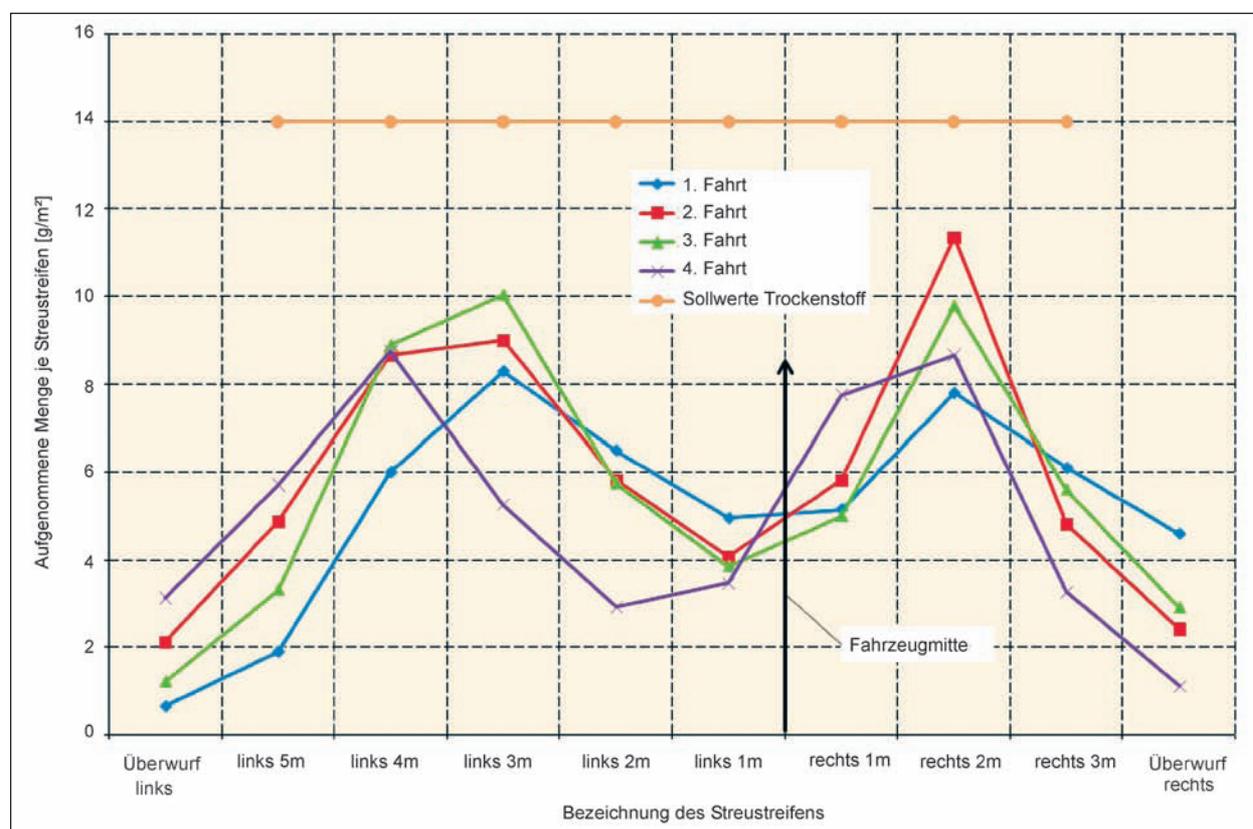


Bild 19: Aufgenommene Mengen in g/m² bei den Streufahrten am 15.11.2007 mit 50 km/h Geschwindigkeit (Einstellwerte: 20 g/m² Streudichte, 8 m Streubreite, 5 m links und 3 m rechts von der Fahrzeugmitte), Mittelwerte von 20-m-Prüffeldern

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------------------------|--------------------------------|--|----------------|--|----------------|--|----------------|
| Bezeichnung des Streustreifens | Mittelwert [g/m ²] | Spannweite zwischen größtem und kleinstem Wert [g/m ²] | | prozentualer Wert der Spannweite in Bezug zum Mittelwert [%] | | Standardabweichung [g/m ²] | |
| | | 10-m-Abschnitt | 20-m-Abschnitt | 10-m-Abschnitt | 20-m-Abschnitt | 10-m-Abschnitt | 20-m-Abschnitt |
| Überwurf links | 1,8 | 4,4 | 2,5 | 248,9 | 139,7 | 1,3 | 0,9 |
| links 5 m | 3,9 | 5,3 | 3,8 | 134,6 | 96,5 | 1,7 | 1,5 |
| links 4 m | 8,1 | 5,5 | 2,9 | 68,1 | 35,9 | 1,6 | 1,2 |
| links 3 m | 8,2 | 5,6 | 4,8 | 68,7 | 58,9 | 1,9 | 1,8 |
| links 2 m | 5,2 | 5,8 | 3,6 | 110,7 | 68,7 | 1,7 | 1,4 |
| links 1 m | 4,1 | 2,7 | 1,5 | 66,3 | 36,8 | 0,8 | 0,5 |
| rechts 1 m | 5,9 | 7,5 | 2,8 | 126,6 | 46,4 | 2,1 | 1,1 |
| rechts 2 m | 9,4 | 7,4 | 3,6 | 78,7 | 37,8 | 2,0 | 1,3 |
| rechts 3 m | 4,9 | 6,1 | 2,9 | 123,5 | 57,7 | 1,7 | 1,1 |
| Überwurf rechts | 2,8 | 4,2 | 3,5 | 152,7 | 127,3 | 1,3 | 1,3 |

Tab. 7: Mittelwerte, Spannweiten, prozentuale Werte der Spannweiten im Bezug zum Mittelwert und Standardabweichungen der Messwerte vom 15.11.2007

Die größeren Spannweiten sind eher auf Ausreißer zurückzuführen. Die Ausreißer in den Streustreifen entstehen nicht infolge eines abweichenden Prüffeldergebnisses über die gesamte Streubreite, sondern vielmehr durch einzelne abweichende Streustreifenwerte aus den verschiedenen Prüffeldern.

Die Zusammenfassung der jeweils zwei 10-m-Werte zu 20-m-Werten führt zwar zu deutlich geringeren Spannweiten und Standardabweichungen. Im gesamten rechten Streubreite-Bereich halbieren sich die Spannweiten etwa. Im linken Bereich ist die Minderung nicht gleichermaßen ausgeprägt. Allerdings liegen die Spannweiten am 15.11. deutlich höher im Vergleich zu den Werten am 22.02. Die prozentualen Werte der Spannweiten im Bezug zum Mittelwert erreichen in allen Streustreifen über 30 % und gehen bis rund 140 %. Auch bei der Betrachtung der 20-m-Ergebnisse trifft zu, dass mehr Ergebnisse zu einer höheren Spannweite der Einzelwerte führen.

8.4 Ergebnisse von Streumaschinenprüfungen

8.4.1 Beschreibung der Versuchsdurchführung

Die Ergebnisse stammen von sechs Streumaschinenprüfungen aus den Jahren 2007 und 2008. Die Prüfungsdurchführung erfolgte nach den Vorgaben des Landesbetriebes Straßenbau NRW (siehe Kapitel 5). Alle Prüfungen fanden auf der bereits beschriebenen Raststätte „Hummerich“ an der BAB A 61 statt. Die Anforderungen unterschieden sich für

zwei Einsatzbestimmungen, die sich durch die verschiedenen geforderten maximalen Streubreiten (8 und 12 m) ausdrückten. Dementsprechend gab es teilweise unterschiedliche Prüfpunkte.

Für die Prüfungen waren trockene Bedingungen gefordert (trockene Prüffläche, kein Niederschlag). Aufgrund fehlender Erkenntnisse wurden für die Windbedingungen maximal 1 m/s festgelegt. Bei höheren Windgeschwindigkeiten waren Wiederholungen der Versuche möglich. Die Wiederholungsmöglichkeit wurde allerdings nur in Ausnahmefällen genutzt. In den überwiegenden Fällen führte die Nichterfüllung von Anforderungen nach zwei Prüffahrten zu einem Prüfpunkt zu Neujustierungen oder zum Abbruch der Prüfungen.

8.4.2 Beschreibung der Prüfergebnisse und Umfeldbedingungen

Die Ergebnisse der Prüfungen dürfen nicht direkt offengelegt werden. Deshalb sind in den Bildern 20 bis 26 nur die Werte der Spannweiten aus den Ergebnissen der jeweiligen Versuchsfahrten dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Streudichten sind sie immer prozentual im Bezug zum jeweiligen Mittelwert aufgeführt.

Mit den im Weiteren dargestellten Ergebnissen bei Geschwindigkeiten bis einschließlich 40 km/h erfüllten alle Streumaschinen mit einer Ausnahme die vorgegebenen Anforderungen des Landesbetriebes Straßenbau NRW. Bei den Versuchen mit Geschwindigkeiten von 50 und 60 km/h werden bei einzelnen Streustreifen diese Anforderungen wie-

derum mit einer Ausnahme nicht erfüllt. Dies trifft vor allem für die Ränder innerhalb der Sollbreite und für die Überwurfbereiche zu. Eine Erfüllung der Anforderung war für Prüfpunkte mit Geschwindigkeiten über 40 km/h nicht gefordert.

Die Bedingungen waren bei allen Versuchen annähernd gleich. In 19 der ausgewerteten 29 Prüfpunkte wehte der Wind bei beiden Prüffahrten nicht mehr als mit 1 m/s Geschwindigkeit. Bei fünf Prüffahrten lag die Windgeschwindigkeit über 2 m/s bei maximal 2,7 m/s. Der Wind kam dabei aber aus sehr unterschiedlichen Richtungen. Die Fahrbahn war in den meisten Fällen trocken. Durch mehrfach hintereinanderfolgende Versuche an einem Tag bildeten sich in Einzelfällen sehr geringe Feuchtigkeitsfilme infolge der ausgebrachten Lösung. Die jeweils zwei Prüffahrten zu einem Prüfpunkt fanden bis auf sehr wenige Ausnahmen unmittelbar hintereinander statt. Somit kann von weitgehend gleichen Bedingungen in Bezug auf Luftfeuchte und Temperaturen bei den jeweils zwei Prüffahrten für einen Prüfpunkt ausgegangen werden. Besondere Situationen sind im Weiteren beschrieben.

8.4.3 Bewertung der Wiederfindungsraten

Neben der Spannweite der Einzelergebnisse in den einzelnen Streustreifen können auch die jeweiligen Wiederfindungsraten im Bezug auf die auszubringende Soll-Trockenstoffmenge für die jeweiligen Prüffelder etwas über die Gleichmäßigkeit der Streustoffverteilung aussagen.

Die durchschnittlichen Wiederfindungsraten für die einzelnen Prüffahrten lagen bei einer Streumaschine bei nur rund 80 % (Spannweite der Ergebnisse aller Versuchsfahrten mit dieser Streumaschine: 75-85 %). Zwei Streumaschinen erreichten Werte von rund 90 % (79-113 % bzw. 81-96 %). Bei den drei anderen Maschinen lagen die Durchschnittswerte immer über 95 % bei etwa gleichen Spannweiten wie bei den anderen Maschinen.

Die Gründe für die unterschiedlichen Wiederfindungsraten können im Nachhinein zum Teil auf das unterschiedliche Abtrocknen der ausgebrachten Lösungen oder auf Abweichungen in der Dosierung zurückgeführt werden.

Unterschiedliche Umfeldbedingungen haben zur Folge, dass bei sehr trockenen Bedingungen die ausgebrachte Lösung auch sehr schnell abtrocknet. Die Salzanteile in der Lösung (rund 6 % der Gesamtsalzmenge) werden dann beim Kehren mit

aufgenommen. Bei weniger trockenen Verhältnissen (keine hohen Temperaturen und vergleichsweise höhere Luftfeuchte) können die ausgebrachten Salzlösungen noch Teile der ausgebrachten trockenen Tausalze lösen. Diese können je nach Haftung an festen Bestandteilen (Fahrbahnoberfläche oder Körnung) unterschiedlich aufgenommen werden.

Die Höhe der Haftung hängt dann wiederum von der Korngröße ab. Visuelle Beobachtungen zeigen mit zunehmendem Abstand zur Fahrzeugmitte einen höheren Anteil von größeren Salzkörnern in den aufgenommenen Mengen je Streustreifen. Sofern nicht allgemein sehr trockene Bedingungen bei den Prüfungen herrschten, bildeten sich im Bereich der Fahrzeugbreite nach mehreren Prüffahrten immer zuerst leicht feuchte Prüffeldoberflächen.

Prüfungen der Dosierungsgenauigkeit fanden nur im unmittelbaren Vorfeld der Streubildbeurteilungen, aber nicht danach statt. Bei den Dosierungsprüfungen erfüllten alle Streumaschinen die Anforderungen mit maximal ± 6 % zulässiger Abweichung. Größere Abweichungen bei den Streubildprüfungen sind daher eher unwahrscheinlich, aber nicht auszuschließen.

Die Unterschiede bei den Wiederfindungsraten zwischen den jeweiligen zwei Prüffahrten betragen bei einem Prüfpunkt 12 %, bei 8 Prüfpunkten von 6 bis einschließlich 10 %. Bei den 20 anderen bewerteten Prüfpunkten waren die Unterschiede 5 % und geringer. Dieses Ergebnis kann als ein sehr gleichmäßiges Verteilen in Längsrichtung bei Betrachtung von Prüffeldern mit 20 m Länge angesehen werden.

8.4.4 Bewertung der Spannweiten in den Streustreifen

Im Prüfpunkt „4 m Streubreite, 10 g/m² Streudichte, 10 km/h Geschwindigkeit“ (Bild 20) wirken die Ergebnisse sehr gleichmäßig. Nur bei der Streumaschine 5 entstand eine Spannweite im rechten Überwurfbereich über 40 % im Bezug zum Mittelwert. In zwei weiteren Überstreubereichen liegen die Spannweiten nahe 40 %. Bei einer der beiden Fahrten mit dieser Streumaschine betrug die Windgeschwindigkeit 1,8 m/s. Allerdings traten auch bei den Streumaschinen 1 und 2 Windgeschwindigkeiten über ein 1 m/s auf. Mit der Streumaschine 2 fand ein Versuch mit dem Spitzenwert von 2,7 m/s aus allen Versuchsfahrten statt. Bei der Streumaschine 1 kam der Wind bei beiden Prüffahrten von vorn, bei den anderen Streumaschinen jeweils ein-

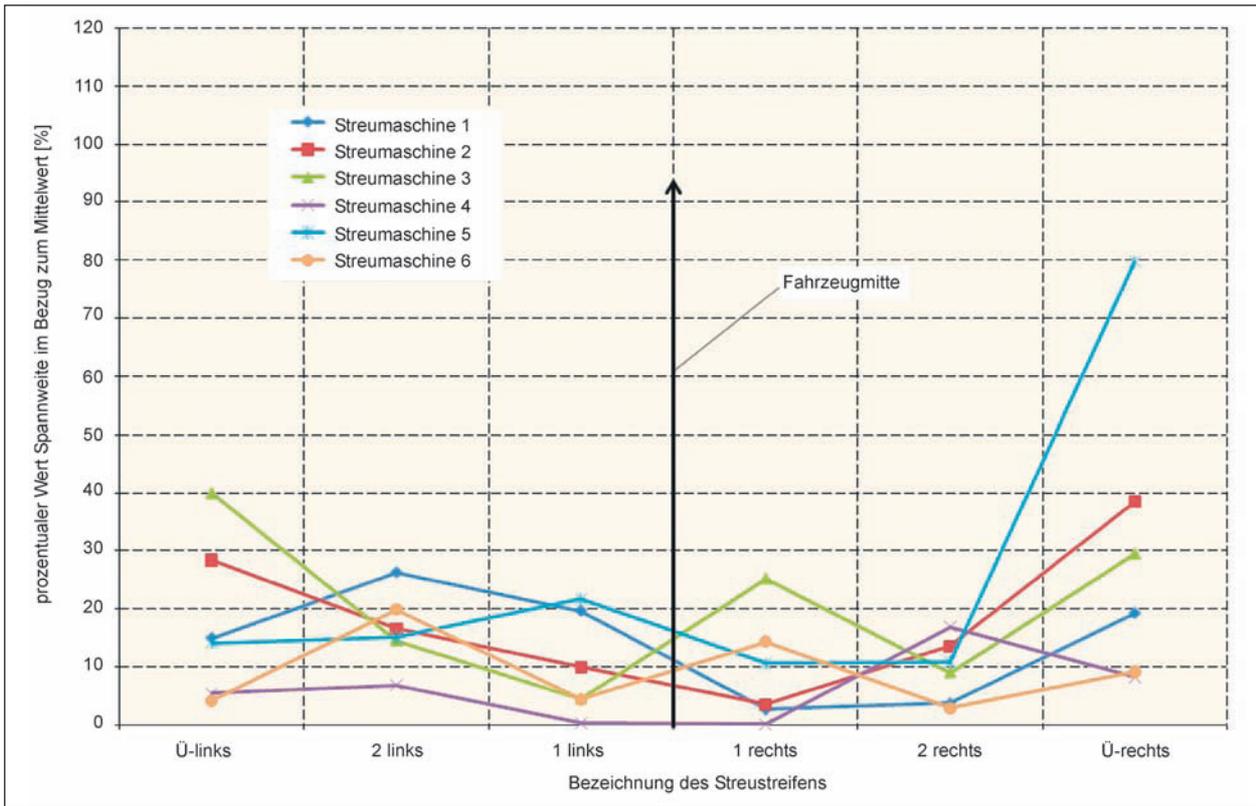


Bild 20: Erzielte prozentuale Werte der Spannweiten im Bezug zu den Mittelwerten bei Streustoffverteilungen mit verschiedenen Streumaschinen bei einer Geschwindigkeit von 10 km/h, eingestellte Vorgaben am Bedienpult: 10 g/m² Streudichte, 4 m Streubreite mittig zum Fahrzeug

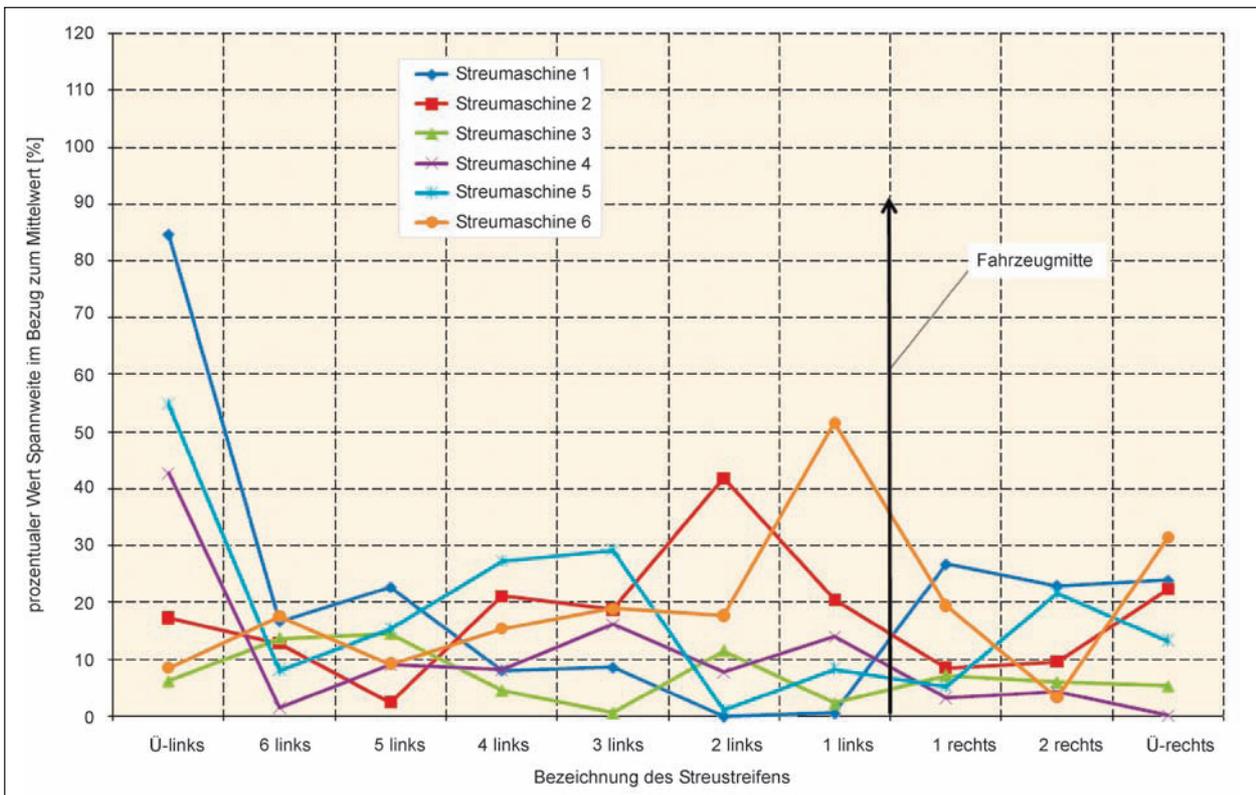


Bild 21: Erzielte prozentuale Werte der Spannweiten im Bezug zu den Mittelwerten bei Streustoffverteilungen mit verschiedenen Streumaschinen bei einer Geschwindigkeit von 40 km/h, eingestellte Vorgaben am Bedienpult: 30 g/m² Streudichte, 8 m Streubreite, Streustreifenlage: 6 m links und 2 m rechts

mal von vorn und hinten. Ein eindeutiger Windeinfluss auf die Streustoffverteilung ergibt sich aus diesen Ergebnissen nicht.

Im Prüfpunkt „8 m Streubreite, 30 g/m² Streudichte und 40 km/h Geschwindigkeit“ (Bild 21) trat bei den Streumaschinen 1 bis 3 bei jeweils einer Fahrt eine Windgeschwindigkeit über 1 m/s auf. Spezielle Auswirkungen des Windes können bei diesem Prüfpunkt nicht erkannt werden. Insgesamt sind die Spannweiten niedrig. Die höheren Spannweiten trat mit über und unter 1 m/s Geschwindigkeit auf.

Die Messwerte beim Prüfpunkt „8 m Streubreite, 20g/m² und 50 km/h Geschwindigkeit“ schwanken ebenfalls vergleichsweise wenig (Bild 22). Die Streumaschine 2 erreichte das gleichmäßigste Ergebnis, obwohl bei beiden Prüffahrten eine Windgeschwindigkeit von 2 bzw. 2,5 m/s vorherrschte. Bei der ersten Prüffahrt kam der Wind von seitlich links vorn (10 Uhr, Erklärung: 12 Uhr = Windrichtung senkrecht aus der Fahrtrichtung) und der zweiten Prüffahrt von vorn rechts (1 Uhr), jeweils in Fahrtrichtung gesehen. Der Unterschied des Windeinflusses (rund 90°) zwischen beiden Prüffahrten kann daher als nicht besonders groß angesehen werden.

Die Streumaschine 3 wies die größten Windunterschiede (0,5/1,2 m/s) zwischen beiden Prüffahrten auf. Innerhalb der Sollstreubreite weist die Maschine dagegen nur geringe Unterschiede auf. Die hohen prozentualen Differenzen in beiden Überwurfbereichen können auch mit den geringen absoluten Werten erklärt werden. Bei beiden Prüffahrten zu diesen Prüfpunkt unterbot diese Streumaschine die zulässigen Überstreumengen von allen Maschinen am weitesten.

Bei einer um 10 km/h höheren Geschwindigkeit und 10 g/m² niedrigeren Streudichte ergibt sich im Vergleich zum vorherigen Prüfpunkt keine andere Aussage (Bild 23). Bei allen Prüffahrten wehte ein Wind mit weniger als 1 m/s. Somit können die unterschiedlichen Ergebnisse weitgehend nur auf die Verwirbelungen durch das Fahrzeug selber zurückgeführt werden.

Die Spannweiten der Streifenergebnisse beim Prüfpunkt „12 m Streubreite mit einer Streustreifenlage 9 m nach links und 3 m nach rechts von der Fahrzeugmitte, 20 g/m² Streudichte und 40 km/h Geschwindigkeit“ sind weitgehend gering (Bild 24).

Auffällig sind die extrem hohen Werte bei der Streumaschine 2 im linken Randbereich, die die

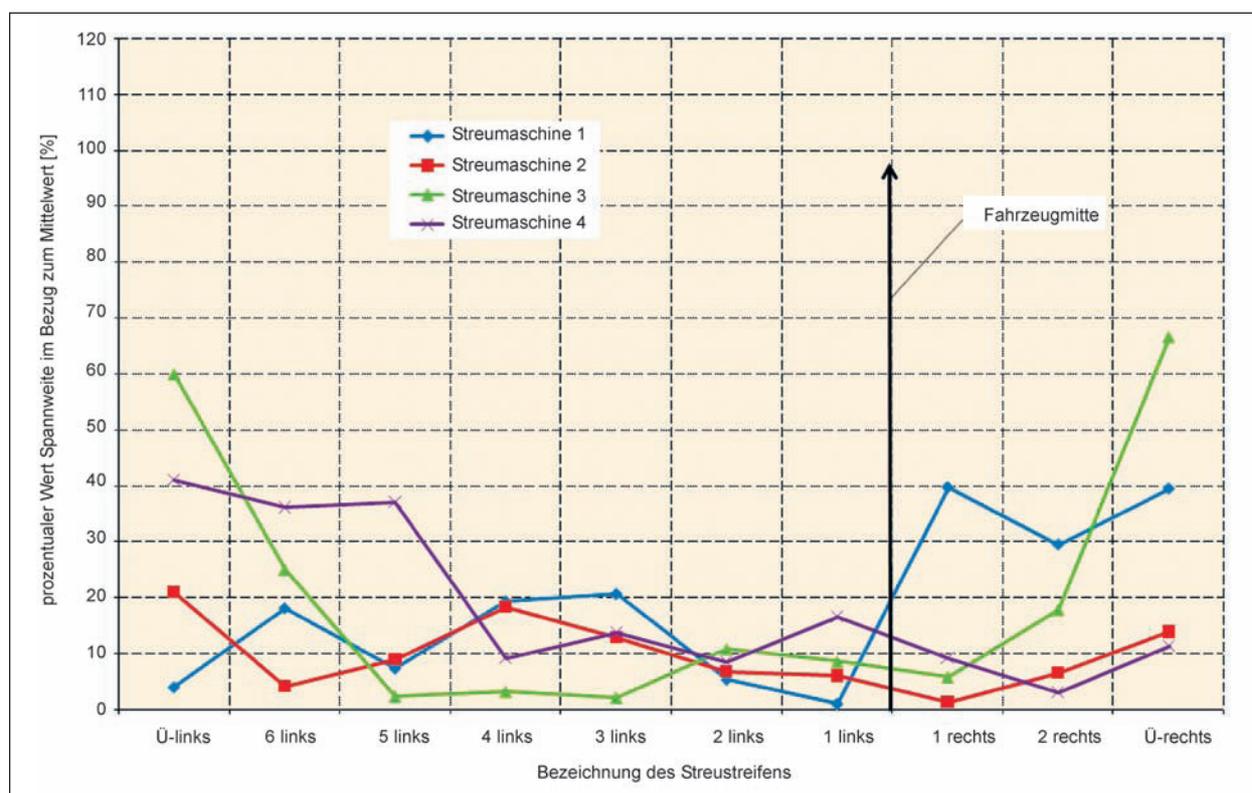


Bild 22: Erzielte prozentuale Werte der Spannweiten im Bezug zu den Mittelwerten bei Streustoffverteilungen mit verschiedenen Streumaschinen bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h, eingestellte Vorgaben am Bedienpult: 20 g/m² Streudichte, 8 m Streubreite, Streustreifenlage: 6 m links und 2 m rechts

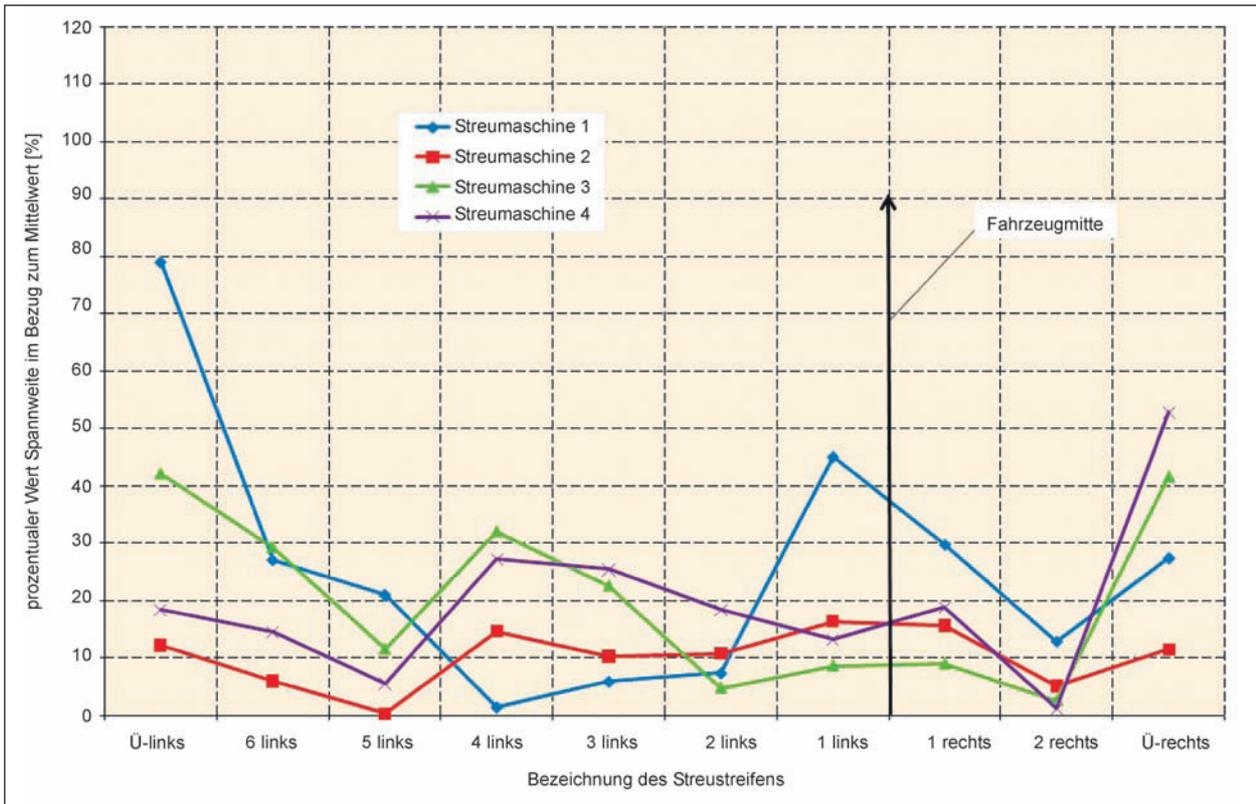


Bild 23: Erzielte prozentuale Werte der Spannweiten im Bezug zu den Mittelwerten bei Streustoffverteilungen mit verschiedenen Streumaschinen bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h, eingestellte Vorgaben am Bedienpult: 10 g/m² Streudichte, 8 m Streubreite, Streustreifenlage: 6 m links und 2 m rechts

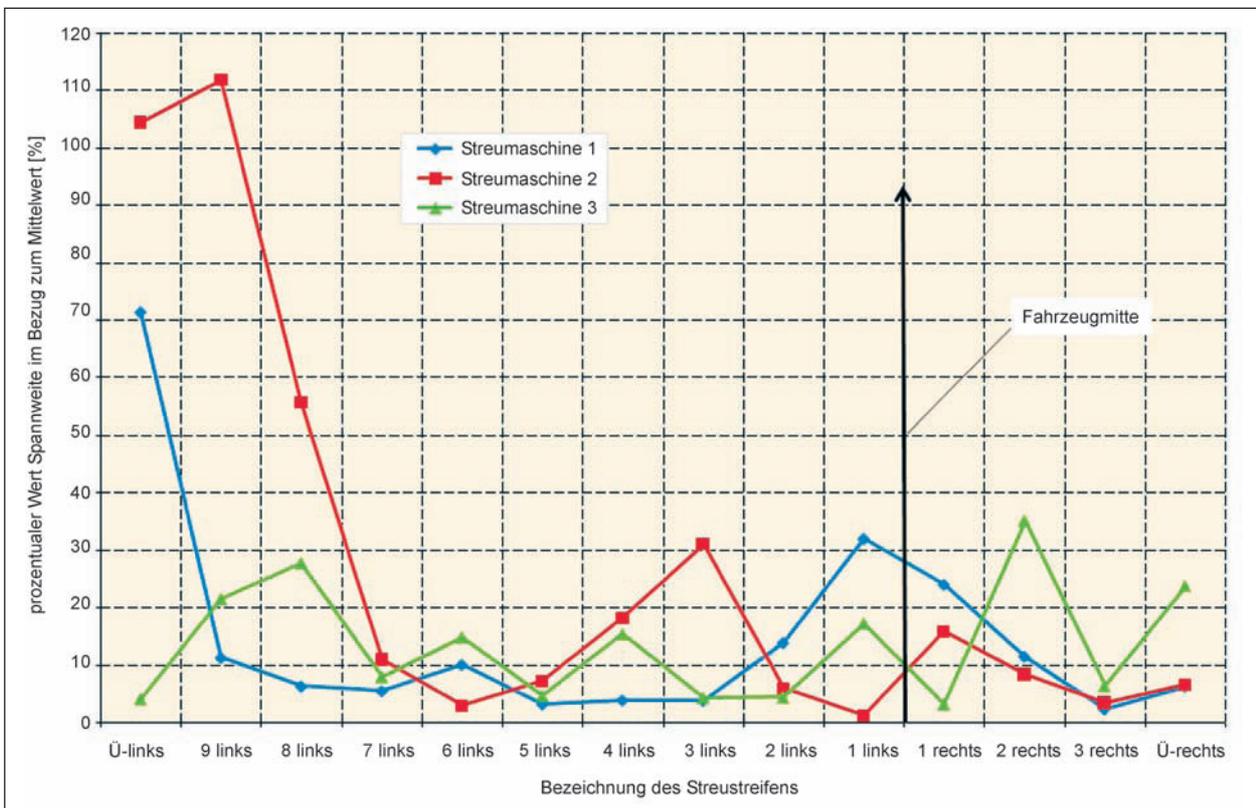


Bild 24: Erzielte prozentuale Werte der Spannweiten im Bezug zu den Mittelwerten bei Streustoffverteilungen mit verschiedenen Streumaschinen bei einer Geschwindigkeit von 40 km/h, eingestellte Vorgaben am Bedienpult: 20 g/m² Streudichte, 12 m Streubreite, Streustreifenlage: 9 m links und 3 m rechts

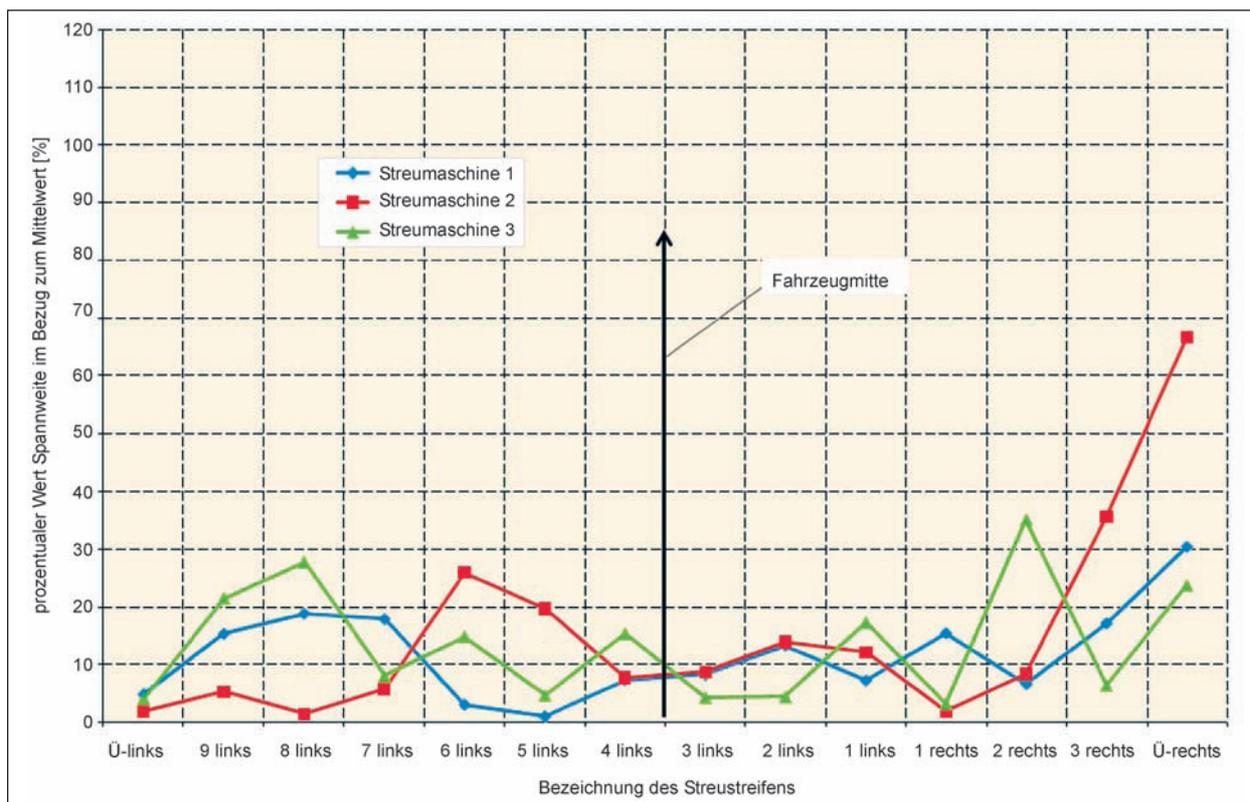


Bild 25: Erzielte prozentuale Werte der Spannweiten im Bezug zu den Mittelwerten bei Streustoffverteilungen mit verschiedenen Streumaschinen bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h, eingestellte Vorgaben am Bedienpult: 10 g/m² Streudichte, 12 m Streubreite mittig zum Fahrzeug

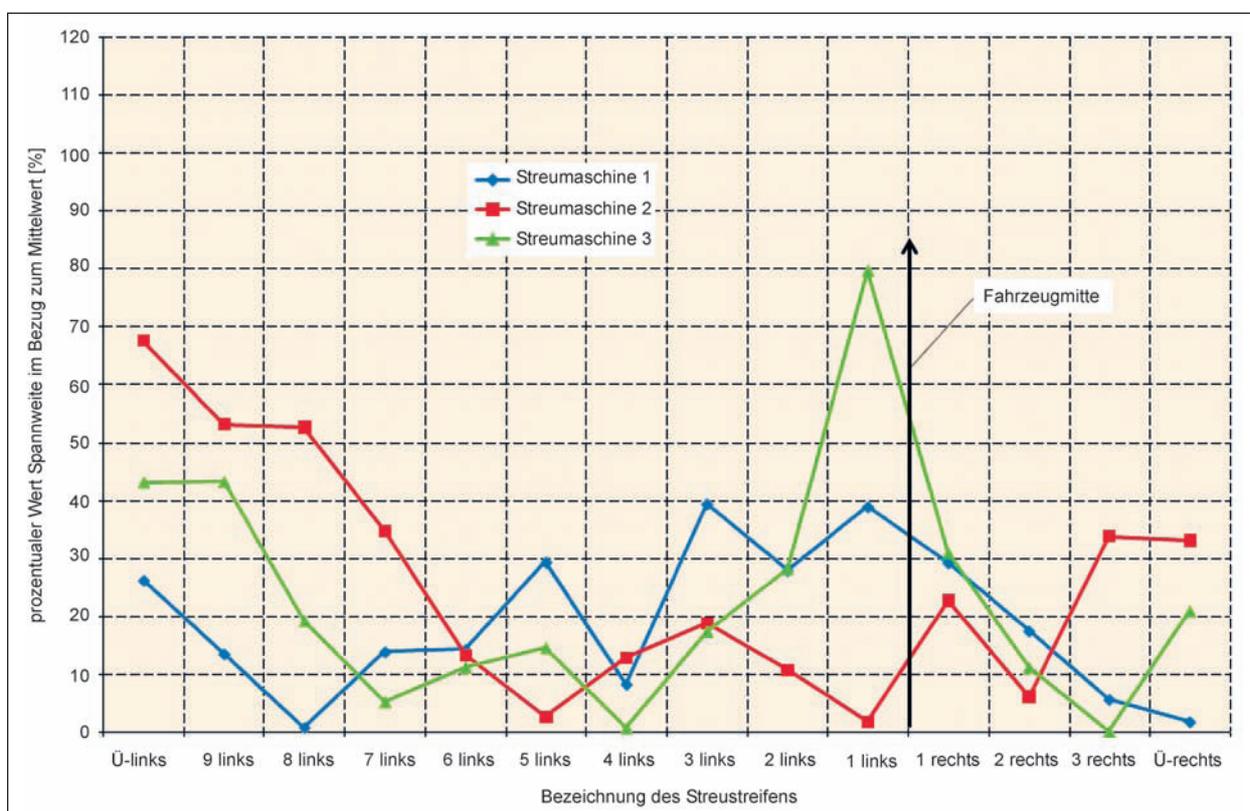


Bild 26: Erzielte prozentuale Werte der Spannweiten im Bezug zu den Mittelwerten bei Streustoffverteilungen mit verschiedenen Streumaschinen bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h, eingestellte Vorgaben am Bedienpult: 10 g/m² Streudichte, 12 m Streubreite, Streustreifenlage: 9 m links und 3 m rechts

höchsten Werte aller Spannweiten bei den Prüfungen darstellen. Bei diesem Prüfpunkt tritt im Vergleich zu allen anderen Prüfpunkten der einmalige Fall auf, dass zwischen den beiden Prüffahrten mehrere Tage lagen. Bei der ersten Prüffahrt verfehlte die Streumaschine die Ergebnisse nur unwesentlich im Überwurfbereich. Bei der zweiten Prüffahrt werden im linken Sollbereich die Anforderungen deutlich verfehlt. Der Windeinfluss ist mit einer Geschwindigkeit von 0,9 und 1,3 m/s und der Richtung von links in Fahrtrichtung gesehen bei beiden Fahrten nahezu gleich. Bei der ersten Prüffahrt lagen die Luftfeuchte um 80 % und die Temperaturen um 20 °C. Bei der zweiten Prüffahrt bestanden mit einer Luftfeuchte um 30 % und Temperaturen über 30 °C deutlich trockenere Verhältnisse. Diese unterschiedlichen Bedingungen können die Konsistenz des Salzes im Behälter beeinflusst haben. Durch die längere Lagerungszeit können sich zwischen den Prüffahrten Änderungen bei der Dichte und beim Feuchtegehalt ergeben haben, die wiederum das Flugverhalten beeinflussen können. Die genauen Ursachen lassen sich aber aufgrund fehlender Messungen zur Salzqualität nicht ermitteln.

Beim Prüfpunkt „12 m Streubreite mittig, 10 g/m² Streudichte und 60 km/h Geschwindigkeit“ bleiben die Spannweiten zwischen den Ergebnissen trotz der höheren Geschwindigkeit gering (Bild 25). Bei allen Prüffahrten betragen die Windgeschwindigkeiten unter 1 m/s.

Eine vergleichsweise etwas höhere Anzahl von Spannweiten über 30 % im Bezug zum Mittelwert ergab sich bei dem Prüfpunkt mit 12 m Streubreite, einer Geschwindigkeit von 60 km/h und einer Streustreifenlage von 9 m links und 3 m rechts von der Fahrzeugmitte (Bild 26). Bei der Streumaschine 2 trat im Bezug zu allen Prüfpunkten der größten Unterschied bei der Windgeschwindigkeit zwischen den beiden Prüffahrten auf (0,1 und 2,5 m/s). Bei den beiden anderen Maschinen waren die Windunterschiede zwischen den beiden Prüffahrten gering.

8.4.5 Zusammenfassung der Bewertung für die einzelnen Streustreifen

Von 302 Streustreifen liegen jeweils 2 Einzelergebnisse vor, aus denen die jeweilige Spannweite gebildet wurde. Die Ergebnisse fallen zwischen den verschiedenen Streumaschinen bei den Prüfpunkten etwas unterschiedlich aus. Keine der getesteten Streumaschinen weist allerdings in allen Prüfpunkten besonders niedrige oder hohe Spannweiten

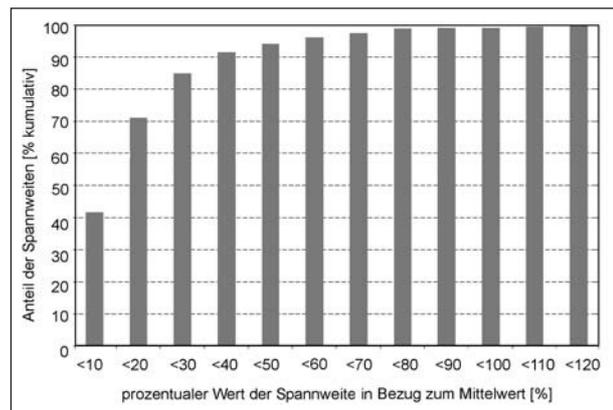


Bild 27: Histogramm (kumulativ) der prozentualen Werte der Spannweiten im Bezug zum Mittelwert (Werte von 302 Streustreifen)

auf. Die jeweiligen prozentualen Werte im Bezug zum Mittelwert größer 30 % treten nur in weniger als 15 % aller Streustreifen auf (Bild 27). Die Abweichung vom Mittelwert ist in diesen Fällen kleiner ± 15 %. Von den Spannweiten über 30 % liegen wiederum 2/3 der Fälle im Randbereich, also in den äußeren 1-m-Streifen innerhalb der Sollstreubreite bzw. außerhalb der Sollstreubreite. Die absoluten Werte in den äußeren Bereichen sind dabei in den meisten Fällen deutlich niedriger als in den innen liegenden Streustreifen.

8.5 Zusammenfassung aller Ergebnisse zur Wiederholbarkeit

Für die Bewertung der Wiederholbarkeit von Ergebnissen für die Streubildbeurteilung mit dem Kehrverfahren fanden verschiedene Versuche statt. Ein vorgesehene Versuchsprogramm, wie es laut dem Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen erforderlich ist, konnte aus verschiedenen Gründen nicht durchgeführt werden. Daher können nur anhand vorliegender Ergebnisse von wenigen speziellen Wiederholungsversuchen und einer umfangreichen Reihe von durchgeführten Streumaschinenprüfungen folgende Abschätzungen zur Wiederholbarkeit von Prüfergebnissen vorgenommen werden:

- Die Spannweite von Ergebnissen für die einzelnen Streustreifen fällt mit zunehmender Länge des Prüffeldes geringer aus. Im Vergleich zu den 10-m-Prüffeldern halbieren sich die Spannweiten von Einzelwerten der 20-m-Prüffelder. Die prozentualen Werte der Spannweiten im Bezug zum Mittelwert lagen bei den 10-m-Prüffeldern zwischen rund 35 und 250 %.

Eine doppelte Anzahl von Einzelwerten für Streustreifen bei einem Prüfpunkt (8 statt 4 Einzelwerte) führte etwa zu einer Verdopplung der Ergebnisspannweiten. Die dazugehörigen Standardabweichungen der Ergebnisse änderten sich durch die steigende Anzahl von Prüffahrten allerdings nicht wesentlich. Daraus ergibt sich, dass die größeren Spannweiten bei mehr Einzelergebnissen für einen Streustreifen hauptsächlich durch Ausreißer hervorgerufen werden.

Diese Ergebnisse entstanden bei genutzten älteren und nicht speziell justierten Streumaschinen. Mit genau justierten Maschinen der neuesten Generationen fanden derartigen Versuche nicht statt.

- Die Unterschiede bei Ergebnissen von Prüffeldern mit 10 m Einzellänge innerhalb einer Gesamtlänge von 50 m stiegen bei einer Streumaschine älterer Generation mit zunehmender Geschwindigkeit (Vergleich der Streustoffverteilung mit 30 und 50 km/h).

Bei verschiedenen Prüfpunkten mit 60 km/h waren die Streustoffverteilungen auf hintereinanderfolgenden Prüffeldern mit 10 Meter Länge wesentlich ungleichmäßiger. Große Unterschiede traten sowohl in den einzelnen Streustreifen als auch bei den erzielten Wiederfindungsraten auf den gesamten Prüffeldern auf.

- Steigende Geschwindigkeiten bis 60 km/h beim Streuen mit Streumaschinen der neuesten Generation führten dagegen nicht zu einer wesentlichen Erhöhung der Spannweiten zwischen zwei Einzelwerten. Diese Aussage gilt sowohl bei den Wiederfindungsraten auf den einzelnen Prüffeldern als auch bei den Vergleichen der jeweiligen Streustreifen zwischen zwei Einzelfahrten. Eine erkennbare Erhöhung der Spannweite zwischen zwei Ergebnissen ergab sich nur bei einer Einstellung 10 g/m², 12 m Streubreite (9 m links/3 m rechts von der Fahrzeugmitte) und einer Geschwindigkeit von 60 km/h. Dabei muss auch ein höherer Einfluss der Sogwirkungen des Fahrzeuges berücksichtigt werden.
- Windgeschwindigkeiten von 1 bis 2 m/s führten zu keinem erkennbaren höheren Einfluss auf die Ergebnisse im Vergleich zu Ergebnissen, die bei Windgeschwindigkeit unter 1 m/s erzielt wurden. Für höhere Geschwindigkeiten liegen keine umfassenden Ergebnisse vor. Einzelne Ergebnisse bei höheren Windgeschwindigkeiten lassen auf einen deutlicheren Einfluss schließen.

9 Anforderungen an die Streustoffverteilung

Aus allen durchgeführten auch hier nicht einbezogenen Streumaschinenprüfungen auf 20-m-Prüffeldern lassen sich folgende Aussagen über die erzielbare Güte der Streustoffverteilung ableiten:

- Bei den Typprüfungen konnte etwas mehr als die Hälfte der Streumaschinen die Anforderungen des Landesbetriebes Straßenbau NRW für die Streustoffverteilung bei Geschwindigkeiten bis 40 km/h erfüllen.
- Anforderungen bei Geschwindigkeiten bis 60 km/h werden teilweise nur sehr knapp nicht erfüllt. Nur einmal konnten auf einem 20 m langen Prüffeld alle Anforderungen erfüllt werden. Alle Ergebnisse weisen keine wesentlich höheren Spannweiten im Vergleich zu niedrigen Geschwindigkeiten auf.

Da für diese Geschwindigkeiten keine Erfüllung der Anforderungen Pflicht war, wurde der Justieraufwand teilweise geringer gehalten. Wenn entsprechende Justiermöglichkeiten für die einzelnen Maschinen bestehen, sollten auch bei höheren Geschwindigkeiten noch bessere Ergebnisse möglich sein.

- Die Hauptprobleme bei der Einhaltung der Anforderungen treten bei den Außenstreifen innerhalb der Sollstreubreite und bei den Überwurfbereichen auf. Nur eine geprüfte Streumaschine hatte überwiegend Probleme bei den innen liegenden Streustreifen. Die geforderten 50 % in den äußeren Streifen der Sollstreubreite und nur 80 % einer Sollstreumenge eines 1-m-Streustreifens außerhalb der Sollstreubreite stellen die Anforderungen dar, die teilweise nicht mehr durch steuerungstechnische Maßnahmen erfüllt werden können. Hierzu ist auch eine entsprechende mechanische Gestaltung des Streustoffverteilers oder nur des Streutellers notwendig.
- Die Wiederfindungsraten auf den einzelnen Prüffeldern betragen bis auf wenige Ausnahmen über 80 %. Für die Einhaltung einer gleichmäßigen Ausbringung der Dosierungsmenge über die gesamte Streubreite über einen Streuabschnitt von 20 m können daher entsprechende Anforderungen gestellt werden.

Alle Aussagen beziehen sich auf die Mittelwerte aus Ergebnissen von zwei Prüffahrten über jeweils

ein 20 m langes Prüffeld. Damit wird in der Summe die Gleichmäßigkeit einer Verteilung über 40 m Länge betrachtet. Auch wenn die Streuungen der jeweils zwei Einzelergebnisse in 85 % mit kleiner ± 15 % vom Mittelwert gering sind, so werden nur in etwa der Hälfte der Fälle die Anforderungen für Prüfpunkte bis 40 km/h allein auf einem 20 m langen Prüffeld voll erfüllt.

Eine mögliche Erfüllung der genannten Anforderungen auch auf Prüffeldern mit 10 m Länge lässt sich aus den vorliegenden Ergebnissen nur unzureichend ableiten. Bei einem Prüfpunkt mit 30 km/h kamen sehr gleichförmige Ergebnisse zustande. Die dabei genutzte Streumaschine würde bei entsprechender Justierung auch die Anforderungen des derzeitigen Entwurfs der EN 15597-2 mit hoher Sicherheit erfüllen. Auch für eine Geschwindigkeit bis 50 km/h erscheint bei einer der genutzten Streumaschinen nach entsprechender Justierung eine Erfüllung der Anforderungen möglich. Ergebnisse von anderen Streumaschinen lassen eine Erfüllung der EN-15597-2-Anforderungen zumindest bei höheren Geschwindigkeiten zurzeit nicht erwarten. Allerdings waren alle genutzten Streumaschinen nicht entsprechend justiert. Genaue Aussagen lassen sich erst anhand von umfangreichen Versuchen mit entsprechend justierten Streumaschinen ableiten.

Aus nicht dokumentierten Beobachtungen bei den Streumaschinenprüfungen lassen sich noch weitere Aussagen zur Einhaltung von Anforderungen für die Streustoffverteilung ableiten:

- Der Aufwand der Justierung für die genaue Einhaltung der Anforderungen ist erheblich. Obwohl je Streumaschine je nach geforderter Streubreite nur für zwei bzw. drei Prüfpunkte die Anforderungen zwingend zu erfüllen waren, fanden in fast allen Fällen vor den eigentlichen Prüfungen mehrtägige Justierarbeiten durch die Hersteller statt.
- Die Möglichkeiten der Justiereinstellungen sind zwischen den verschiedenen Typen sehr unterschiedlich. Alle bekannten Maschinen nutzen zur Einstellung einer Streustoffverteilung die Streutellerdrehzahl (hauptsächlich für die Streubreite) und die Positionierung verschiedener Teile des Streustoffverteilers zur Änderung des Abwurfpunktes (hauptsächlich für die Streustreifenlage). Ein Hersteller nutzt für die Einstellung zusätzlich noch den Anfeuchtungsgrad.

Vor allem in älteren Streumaschinentypen gibt es nur wenige Vorgabemöglichkeiten für mögli-

chen Einstellparameter (Stützstellen), die für die große Spannweite bei den möglichen Einstellungen für Streudichte, -breite und -streifenlage sowie den dazugehörigen Geschwindigkeiten nicht ausreichend sind. Sind die möglichen Stützstellen nur sehr gering, können vorgenommene Änderungen für eine Einstellung erhebliche negative Auswirkungen bei anderen Einstellungen haben.

Die neueste Generation von Steuerungssoftware bei einigen Herstellern lässt viele Stützstellen innerhalb der großen Spannweiten zu. Streumaschinen mit diesen Programmiermöglichkeiten lassen sich daher wesentlich besser für die Einhaltung der Anforderungen im gesamten Einstellbereich justieren. Die höhere Anzahl von Stützstellen könnte zwar auch einen höheren Aufwand bedeuten, der aber durch die zielgerichteten Einstellungsmöglichkeiten nicht erwartet wird. Genaue Erfahrungen wird die zukünftige Anwendung bringen.

- Unabhängig von den Programmiermöglichkeiten sind zwischen den Streumaschinentypen Qualitätsunterschiede erkennbar. Bei einigen Maschinen führten kleine Änderungen in der Steuerung sehr genau zu den erwarteten Streubildänderungen. Diese waren auch wiederholbar darstellbar. Bei anderen Maschinentypen war dies nicht im gleichen Umfang der Fall. Die Unterschiede werden eher auf die fehlende Gleichmäßigkeit der Anfeuchtung, Gestaltung des Streutellers oder die Ausführung der Steuerungshardware (Hydraulikregelung) als auf die herrschenden Prüfbedingungen zurückgeführt. Die Unterschiede sind allerdings im Vergleich zu vorhandenen Ergebnissen aus der Streupraxis eher unbedeutend, können aber Bedeutung bei Aussagen zur Wiederholbarkeit von Prüfergebnissen für neue Streumaschinen bekommen.
- Als ein großer Mangel ist bei der Mehrzahl der Streumaschinen die nicht genaue Anzeige der Streustreifenlage anzusehen. Nur einer von allen getesteten Maschinentypen stellte bei den Typprüfungen immer die genaue Position der Streustreifenlage auch auf dem Display des Bedienpultes dar. Bei den anderen Maschinentypen entsprach die Anzeige nicht den logischen Erwartungen.

Für unterschiedliche Streudichten und Geschwindigkeiten waren trotz gleicher geforderter

Streustreifenlage unterschiedliche Einstellungen im Display erforderlich. Mittige Streustreifenlagen waren im Display teilweise mehr ausmittig dargestellt als die geforderten außermittigen Streustreifenlagen von 6 m links/2 m rechts bei 8 m Streubreite oder 9 m links/3 m rechts bei 12 m Streubreite. Hier gehen diese Hersteller davon aus, dass der Streufahrzeugführer die genaue Anpassung entsprechend seiner Beobachtung vornimmt.

Die überwiegend beobachteten falschen Streubilder in der Streupraxis widersprechen dieser Annahme erheblich. Eine Überprüfung der Streustreifenlage durch den Fahrer des Streufahrzeuges erscheint sehr schwierig. Dies zeigen mehrere Überprüfungen der von Fahrern als richtig angesehenen Streustoffverteilungen bei Hinterherfahrten oder auf Prüffeldern, die zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führten. Zukünftig sollten hierzu genauere Einstellmöglichkeiten auch unter Hinnahme eines höheren Justierungsaufwandes gefordert werden. Dass derartige Einstellungen möglich sind, zeigen die erzielten positiven Ergebnisse.

10 Überarbeitete Beschreibung des Kehrverfahrens

10.1 Allgemeines

Aus den vorliegenden Ergebnissen der beschriebenen Versuche wird nachfolgende überarbeitete Beschreibung des Kehrverfahrens abgeleitet. Mit diesem Verfahren soll der Anwender in die Lage versetzt werden, geforderte Anforderungen an die Verteilung von trockenen oder angefeuchteten Streustoffen mit einer hohen Genauigkeit objektiv überprüfen zu können. Dies ist insbesondere bei der Abnahme von gelieferten Streumaschinen als auch nach durchgeführten (jährlichen) Wartungsarbeiten sinnvoll. Das Verfahren kann bis zur Einführung eines Verfahrens zur besseren Feuchtsalzerfassung auch für Typprüfungen zum Einsatz kommen.

Die Prüfungsdurchführung und die Ergebnisbewertung beziehen sich auf die gestellten Anforderungen des Landesbetriebes Straßenbau NRW. Beides lehnt sich an die Empfehlungen der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Länder „Überprüfung der Streuqualität an Streumaschinen“ an.

Bei Abweichung von der vorgeschlagenen Verfahrensdurchführung muss mit abweichenden Ergebnissen gerechnet werden. Der nachfolgende Text ist weitgehend als komplette durchgehende Verfahrensbeschreibung formuliert.

10.2 Kurzbeschreibung des Kehrverfahrens – Allgemeines

Das Verfahren dient zur Beurteilung der Verteilung von trockenen und angefeuchteten Streustoffen durch eine Streumaschine. Das Prüfverfahren kann sowohl bei der Abnahmeprüfung gelieferter Streumaschinen als auch bei Überprüfungen nach Wartungsarbeiten oder zur jährlichen Kontrolle genutzt werden.

Bei der Prüfung wird der Streustoff von der zu prüfenden Streumaschine unter realen und definierten Bedingungen auf einem Prüffeld (Fläche für die Streustoffaufnahme) ausgebracht. Nach der Streufahrt wird auf einer vorgegebenen Länge der ausgebrachte Streustoff längs zur Fahrtrichtung zu einer Linie quer zur Fahrtrichtung zusammengekehrt. Der Streustoff wird entlang dieser Linie meterweise aufgenommen und die Verteilung entsprechend bewertet.

Die Verteilung ist definiert mit einer zu erreichenden Gleichmäßigkeit der auszubringenden Streustoffe in Gramm Streustoff je Quadratmeter. Dazu wird das Prüffeld in ein Meter breite Streustreifen eingeteilt (siehe Bild 28). Innerhalb der Sollstreubreite ist eine mittlere Mindestmenge je 1-m-Streustreifen einzuhalten. Außerhalb der Sollstreubreite darf eine zulässige Höchstmenge nicht überschritten werden.

Die Bewertung bezieht sich nur auf die auszubringenden Trockenstoffanteile ohne Lösungsanteile. Die Verteilung der eingesetzten Salzlösungen zur Anfeuchtung der Streustoffe wird nicht bewertet.

10.3 Einsetzbare Streustoffe

- Die Prüfungen können mit allen abstumpfenden und auftauenden Streustoffen durchgeführt werden, die sich auf einer Prüffläche gemäß Kapitel 10.5.1 weitgehend vollständig zusammenkehren lassen.
- Durch die Anfeuchtung der Streustoffe dürfen nur maximal 5 % der auszubringenden festen Streustoffe gelöst werden.

10.4 Vorläufige Anforderungen an die Streustoffverteilung

Die nachfolgenden Anforderungen sind in Bezug auf den Nachweis von Qualitätsanforderungen für die Streustoffverteilung bei einer Abnahmeprüfung formuliert. Bis zur Einführung einer eingeführten Norm für die Streustoffverteilung und deren Prüfung werden diese Anforderungen auch für Leistungsbeschreibungen empfohlen. Die Anforderungen sind an die genaue Verfahrensdurchführung gemäß dieser Beschreibung gebunden. Kann das Verfahren nicht mit den vorgesehenen Bedingungen (z. B. durch geringere Wiederfindungsrate, Wind oder anderes) durchgeführt werden, sind bei der Bewertung die Anforderungen herunterzusetzen.

Für alle Bewertungen der 1-m-Streustreifen innerhalb einer Sollstreubreite und der Bereiche außerhalb der Sollstreubreite (Überwurfbereich rechts und links) ist der Sollwert der vorgegebenen Streudichte in g/m^2 als Basis zu verwenden. Hierbei bezieht sich die Sollstreuemenge auf den auszubringenden Trockenstoffanteil ohne Lösung. Zu beachten ist hierbei, dass mit dem gewählten Aufnahmeverfahren eine Wiederfindungsrate von $> 80\%$ des ausgebrachten Streustoffes erzielt werden muss.

Anforderungen an die Streustoffverteilung:

- Die ermittelte mittlere Streudichte in den inneren Streustreifen muss $\geq 60\%$ der Sollstreudichte betragen.
- In dem jeweiligen äußeren Meter (rechts und links) innerhalb der Sollstreubreite muss die durchschnittliche Streudichte $\geq 50\%$ von der Sollstreudichte betragen.
- Außerhalb der eingestellten Sollstreubreite (Überwurfbereich rechts und links) dürfen in der Summe auf beiden Seiten maximal 80% von der Sollstreudichte innerhalb eines 1-m-Streustreifens als Überwurf abgelegt sein.
- Der Streustoff wird bei der Streufahrt auf ein 20 m langes Prüffeld mit verschiedenen konstanten Prüfgeschwindigkeiten und Einstellungen am Bedienpult (Prüfpunkte) ausgebracht.
- Je Prüfpunkt sind zwei Fahrten durchzuführen. Aus den beiden Einzelergebnissen je Prüfpunkt sind die Mittelwerte zu bilden. Diese Mittelwerte werden als Ergebnis gewertet.
- Die aufgenommene Menge von einem Prüffeld muss mindesten 75% der Sollmenge Trocken-

stoff betragen (neue Anforderung, die sich aus den positiven Ergebnissen der durchgeführten Typprüfungen ergibt).

Die Anforderungen müssen bei Abnahmeprüfungen für Geschwindigkeiten bis einschließlich 40 km/h erfüllt werden. Für höhere Geschwindigkeiten ist die Qualität zu prüfen. Bei festgestellten Abweichungen von den Anforderungen ist gegebenenfalls die Streupraxis anzupassen (z. B. Ausgleich von zu niedrigen Streumengen in Teilabschnitten durch eine höhere Streudichteeinstellung). Fehlerhafte Streubreiten lassen sich im Regelfall korrigieren.

Diese Anforderungen widerspiegeln sich nach dem gegenwärtigen Stand der Technik. Die Einhaltung der Anforderungen bei höheren Geschwindigkeiten als den genannten 40 km/h sollte als entsprechend wirtschaftlicher Vorteil bewertet werden.

10.5 Prüffläche und technische Mittel für die Verfahrensdurchführung

10.5.1 Prüffläche (Bild 28)

- Die Prüffläche muss aus einem 20 m langen Prüffeld für die Aufnahme der ausgebrachten Streustoffe sowie den entsprechenden Beschleunigungs- und Abbremsstrecken vor bzw. nach dem Prüffeld bestehen.
- Über eine Länge von 15 m vor und nach dem Prüffeld muss das Streufahrzeug ein stabiles Streubild mit der vorgegebenen Geschwindigkeit gleichmäßig einhalten können.
- Im Bereich des Prüffeldes können seitliche Barrieren zur Verringerung der Überwurfbereiche bei Streustoffaufnahme aufgestellt werden. Diese müssen mindestens 30 cm hoch sein. Der Abstand zur Sollstreubreite muss mindestens ein Meter betragen. Dabei ist der mögliche Versatz einer idealen Fahrlinie für die vorgesehene Fahrzeugmitte von erfahrungsgemäß bis maximal $\pm 50\text{ cm}$ berücksichtigt.
- Das Prüffeld muss eine Oberfläche besitzen, auf der die ausgebrachten Streustoffe von mindestens 80% einer ausgebrachten Menge Trockenstoff zusammengekehrt werden können.

Die Wiederfindungsrate ist vor den Prüfungen zu ermitteln. Dazu sind auf ausgewählten Teilflächen ($10 \times 1\text{ m}$) des Prüffeldes definierte von Hand ausgebrachte Streustoffe auszubringen

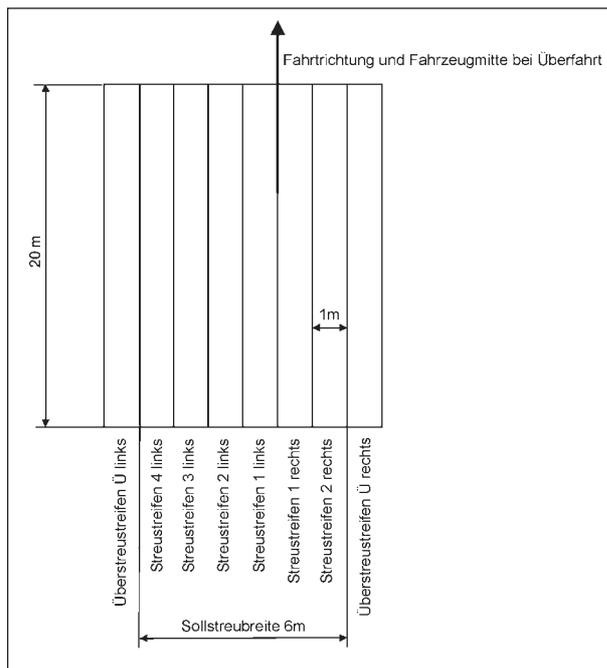


Bild 28: Beispiel für eine Prüffeldteilung für 6 m Streubreite, Streustreifenlage: 4 m links bis 2 m rechts von der Fahrzeugmitte

und mit den vorgesehenen Geräten wieder aufzunehmen. Die Wiederfindungsrate ergibt sich aus dem Quotient zwischen aufgenommener und ausgebrachter Menge Trockenstoff. Bei vorgesehenen Feucht-salzstreuungen sind die Wiederfindungsraten mit angefeuchteten Tausalzen zu ermitteln.

- Die Längs- und Querneigung darf 2 % nicht überschreiten.

10.5.2 Sonstige Prüfausstattung

- Kehrmaschine/Staubsauger,
- Besen (am günstigsten geeignet sind Besen mit 60-80 cm Breite, dichtes Borstenfeld, weiche bis mittlere Härte),
- Handschaufel und Handbesen,
- Bandmaß mindestens 20 m Länge,
- Wassersprühflasche, sinnvollerweise mit mindestens 5 l Inhalt,
- Kreide,
- Waage (Anzeigeauflösung ≤ 1 g, Messgenauigkeit ± 1 g),
- Windschutz für die Streustoffwägung,
- Windgeschwindigkeitsmesser (Anzeigeauflösung $\leq 0,1$ m/s, Messgenauigkeit $\pm 0,5$ m/s).

10.6 Voraussetzung für die Verfahrensdurchführung

- Das Prüffeld muss sauber und weitgehend trocken sein. Die Menge loser Bestandteile oder sich lösender Stoffe auf der Fahrbahnoberfläche muss $< 0,5 \text{ g/m}^2$ betragen. Eine vorhandene Feuchte darf durch Lösen der Streustoffe bzw. durch Anhaften an den Streustoffen zu einem Fehler von maximal $\pm 5 \%$ führen.

Um das Verfahren einfach zu halten, ist die Forderung auf „augenscheinlich trocken“ anzusetzen. Diese ist aufgrund der unterschiedlichen Färbung einer trockenen oder feuchten Fahrbahnoberfläche erkennbar.

- Die Windgeschwindigkeit muss $< 2 \text{ m/s}$ betragen.
- Es müssen mindestens $\geq 3 \text{ g/m}^2$ feste Streustoffe ausgebracht werden.

10.7 Verfahrensdurchführung

- Prüffeld entsprechend Vorgaben im Kapitel 10.6 mit einer Kehrmaschine, Staubsauger oder Besen reinigen.
- Prüffeld (siehe Bild 28) für die Orientierung beim Zusammenkehren markieren oder dauerhaft markiertes Prüffeld nutzen.

Die Länge muss $20 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$ betragen. Die Längsrichtung in 1-Meter-Prüfstreifen (je $\pm 0,02 \text{ m}$) markieren.

- Vor dem Prüffeld im Bereich der zu erwartenden Rollspuren ausreichend Wasser für Reifenabdrücke auf dem Prüffeld während der Überfahrt auftragen (für die Bestimmung der genauen Fahrzeugmitte nach der Überfahrt).
- Ausbringen des Streustoffes entsprechend den Vorgaben in Bezug auf Streudichte, -breite und -lage mit der geforderten Fahrgeschwindigkeit auf der Prüffläche.

Die Fahrgeschwindigkeit darf den Sollwert nicht unterschreiten bzw. bis maximal 5 km/h überschreiten.

- Bestimmung der gefahrenen Fahrzeugmitte auf dem Prüffeld anhand der Reifenabdrücke.
- Zusammenkehren der ausgebrachten Streustoffe im markierten Prüffeld von den festgelegten

Rändern in Längsrichtung bis etwa zur Mitte des Prüffeldes zu einer Linie senkrecht zur Längsrichtung.

Das Kehren der Streustoffe quer zur Fahrrichtung ist zu vermeiden.

- g) Linie der zusammengekehrten Streustoffe ausgehend von der ermittelten Fahrzeugmitte in 1-Meter-Abschnitte teilen. Anschließend die Streustoffe je Abschnitt aufnehmen und verwiegen.

10.8 Bewertung der Ergebnisse – Dokumentation der Prüfung

Die Messwerte sind zu protokollieren (Musterprotokoll siehe Bilder 29 bis 31).

Bei der Bewertung sind mögliche gelöste und nicht aufgenommene Bestandteile zu berücksichtigen, wenn keine Wiederfindungsrate > = 80 % erzielt werden kann.

Im Prüfbericht sind neben den Messergebnissen die genutzten Einstellungen, Streustoffarten und die Witterungsbedingungen bei der Prüfung zu dokumentieren.

11 Zusammenfassung und Ausblick

Eine gleichmäßige Verteilung der Streustoffe auf der Fahrbahn gemäß den Bedienvorgaben ist für effektive Winterdienstmaßnahmen eine wesentliche Voraussetzung. Viele in der Winterdienstpraxis eingesetzte Streumaschinen mit der Feuchtsalztechnologie erreichen heute nicht die gewünschte Gleichmäßigkeit der Streustoffverteilung. Zum einen verwirbelt der Fahrtwind beim Ausbringen die Streustoffe mit zunehmender Geschwindigkeit, zum anderen sind die Möglichkeiten einer optimalen Justierung der Streumaschinen nur unzureichend ausgeschöpft. Ungenaue Justierungen haben schon zu fehlerhaften Verteilungen geführt, wodurch nicht die gewünschte und für die Verkehrssicherheit notwendige Auftauwirkung erzielt wurde. Teilweise glatte Fahrbahnen erhöhen das Unfallrisiko, da hier die Glätte für die Fahrzeugführer überraschend auftreten kann („Glättefallen“). Dies muss durch eine entsprechende Justierung der Streumaschinen vor dem Winter vermieden werden.

Eine genaue Kontrolle der Streustoffverteilung während des Einsatzes durch den Fahrer des Streufahrzeuges erweist sich durch die ungenügenden Sichtmöglichkeiten als sehr schwierig. Ver-

Prüfprotokoll für Beurteilung der Streustoffverteilung nach Merkblatt "Streumaschinen"

Ausbringen mit realer Fahrgeschwindigkeit/Aufnahme nach Kehren über 20 m Länge je 1-Meter-Streifen

Fahrgeschwindigkeit: x km/h

Einstellwerte am Bedienpult:

Streudichte: 10 g/m²
 Streubreite: 6 m
 Streifenlage in Bezug zur Fahrzeugmitte: 4 m links/2 m rechts
 Sollmenge Trockenstoff bei der ausgetragenen Menge: 7 g/m²

Bezugswert

Firma:
 Streumaschinentyp:
 Seriennummer:
 Baujahr:
 Trägerfahrzeug:
 Anfeuchtungsgrad: FS30
 Trockenstoff:
 Lösung:

Gesamtergebnis = Mittelwert aus beiden Prüffahrten

| Bezeichnung des Meter-Streifens | 1- Ü links | 4 links | 3 links | 2 links | 1 links | 1 rechts | 2 rechts | Ü rechts |
|---|---------------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| prozentualer Anteil in Bezug zur Sollmenge Trockenstoff [%] | 50,3 | 67,1 | 121,0 | 134,6 | 122,2 | 98,1 | 57,8 | 36,4 |
| geforderter Mindestanteil in Bezug zur Sollmenge Trockenstoff innerhalb der Streubreite [%] | | 50 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50 | |
| Angabe zur Erfüllung der Anforderungen innerhalb der Streubreite | | erfüllt | erfüllt | erfüllt | erfüllt | erfüllt | erfüllt | |

zulässiger prozentualer Anteil ausserhalb der Streubreite in Bezug zur Sollmenge Trockenstoff <= 80%

tatsächlicher prozentualer Anteil ausserhalb der Streubreite in Bezug zur Sollmenge Trockenstoff: 86,7 %

Angabe zur Erfüllung der Anforderung ausserhalb der Streubreite: nicht erfüllt

Bild 29: Musterprotokoll für Streubildbeurteilung, 1. Seite (Daten fiktiv)

schiedene Überprüfungen durch Hinterherfahrten oder genauen Aufnahmen auf Prüffeldern zeigen die Fehlerhaftigkeit von vom Fahrer als richtig angesehene Einstellungen.

Anforderungen an die Streustoffverteilung sind in Deutschland zurzeit in Technischen Lieferbedingungen der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen aufgeführt – die TLG B3

| Ergebnisse der ersten Prüffahrt: | | | | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------------|----------|------------------------------|
| Bezeichnung des 1-Meter-Streifens | Ü-links | 4 links | 3 links | 2 links | 1 links | 1 rechts | 2 rechts | Ü-rechts | aufgenommene Gesamtmasse [g] |
| aufgenommene Tausalzmenge je 1-Meter-Streustreifen [g] | 83,5 | 100,3 | 185,3 | 190,3 | 173,2 | 138,6 | 69,5 | 47,6 | 988,3 |
| aufgenommene Tausalzmenge je g/m ² | 4,2 | 5,0 | 9,3 | 9,5 | 8,7 | 6,9 | 3,5 | 2,4 | Wiederfindungsrate |
| prozentualer Anteil in Bezug zur Sollmenge Trockenstoff [%] | 59,6 | 71,6 | 132,4 | 135,9 | 123,7 | 99,0 | 49,6 | 34,0 | 88 |
| geforderter Mindestanteil in Bezug zur Sollmenge Trockenstoff innerhalb der Streubreite [%] | | 50 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50 | | |
| Angabe zur Erfüllung der Anforderungen innerhalb der Streubreite | | erfüllt | erfüllt | erfüllt | erfüllt | erfüllt | nicht erfüllt | | |

| | |
|--|---------------|
| zulässiger prozentualer Anteil ausserhalb der Streubreite in Bezug zur Sollmenge Trockenstoff <= 80% | |
| tatsächlicher prozentualer Anteil ausserhalb der Streubreite in Bezug zur Sollmenge Trockenstoff: | 93,6 % |
| Angabe zur Erfüllung der Anforderung ausserhalb der Streubreite: | nicht erfüllt |

Umfeldbedingungen: Prüfer: Mustermann/Musterfrau
 Zustand der Prüffläche: trocken Datum der Prüfung: tt.mm.jjjj
 Lufttemperatur: x°C
 Bewölkungsgrad: x/8 (Angabe in Achtel der Himmelsbedeckung, 0/8= wolkenlos, 8/8 bedeckt)
 Relative Luftfeuchte: x%
 Windgeschwindigkeit: x m/s
 Windrichtung: von seitlich links hinten (8 Uhr)

Bild 30: Musterprotokoll für Streubildbeurteilung, 2. Seite (Daten fiktiv)

| Ergebnisse der zweiten Prüffahrt: | | | | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|------------------------------|
| Bezeichnung des 1-Meter-Streifens | Ü-links | 4 links | 3 links | 2 links | 1 links | 1 rechts | 2 rechts | Ü-rechts | aufgenommene Gesamtmasse [g] |
| aufgenommene Tausalzmenge je 1-Meter-Streustreifen [g] | 57,2 | 87,5 | 153,6 | 186,5 | 168,9 | 136,2 | 92,3 | 54,4 | 936,6 |
| aufgenommene Tausalzmenge je g/m ² | 2,9 | 4,4 | 7,7 | 9,3 | 8,4 | 6,8 | 4,6 | 2,7 | Wiederfindungsrate |
| prozentualer Anteil in Bezug zur Sollmenge Trockenstoff [%] | 40,9 | 62,5 | 109,7 | 133,2 | 120,6 | 97,3 | 65,9 | 38,9 | 84 |
| geforderter Mindestanteil in Bezug zur Sollmenge Trockenstoff innerhalb der Streubreite [%] | | 50 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50 | | |
| Angabe zur Erfüllung der Anforderungen innerhalb der Streubreite | | erfüllt | erfüllt | erfüllt | erfüllt | erfüllt | erfüllt | | |

| | |
|--|---------|
| zulässiger prozentualer Anteil ausserhalb der Streubreite in Bezug zur Sollmenge Trockenstoff <= 80% | |
| tatsächlicher prozentualer Anteil ausserhalb der Streubreite in Bezug zur Sollmenge Trockenstoff: | 79,7 % |
| Angabe zur Erfüllung der Anforderung ausserhalb der Streubreite: | erfüllt |

Umfeldbedingungen: Prüfer: Mustermann/Musterfrau
 Zustand der Prüffläche: trocken Datum der Prüfung: tt.mm.jjjj
 Lufttemperatur: x°C
 Bewölkungsgrad: x/8 (Angabe in Achtel der Himmelsbedeckung, 0/8= wolkenlos, 8/8 bedeckt)
 Relative Luftfeuchte: x%
 Windgeschwindigkeit: x m/s
 Windrichtung: von hinten (6 Uhr)

Bild 31: Musterprotokoll für Streubildbeurteilung, 3. Seite (Daten fiktiv)

„Streugeräte“ – enthalten. Sie beinhalten einerseits zum Teil hohe Anforderungen an die Streustoffverteilung, aber keine geeigneten Verfahren zu deren Überprüfung. Die Bundesanstalt für Straßenwesen hat daher ein neues Verfahren – das Kehrverfahren – weitergehend auf seine Anwendungsmöglichkeit untersucht. Bei diesem Verfahren werden unter realen Bedingungen ausgebrachte Streustoffe längs der Fahrtrichtung über eine vorgegebene Länge zusammengekehrt und anschließend in jeweils 1-m-Abschnitten quer zur Fahrtrichtung aufgenommen. Die anschließende Wägung der aufgenommenen Streustoffe lässt eine Bewertung der durchschnittlichen Verteilung in diesen Abschnitten zu.

Neu ist auch der Bewertungsansatz. Ist nach der TLG B3 eine gewisse Gleichmäßigkeit innerhalb eines kurzen Querstreifens unter Vernachlässigung einer Mindestmenge gefordert, gehen neuere Anforderungen von einer Mindestmenge in festgelegten Teilabschnitten auf der Fahrbahn aus. Grundlage der Untersuchungen war der derzeitige Arbeitsstand für eine Europäische Norm zur Streustoffverteilung und ihrer Prüfung.

Die Ausbringung der Streustoffe wird von einer Vielzahl von Parametern – Qualität der Maschinenjustierung, Art des Aufbaus auf dem Trägerfahrzeug, Streustoffqualität oder die Witterung – beeinflusst. Über den quantitativen Einfluss der einzelnen Parameter lagen bisher fast keine Erkenntnisse vor. Für die Beurteilung der Wiederholbarkeit von Streubildbeurteilungen war daher eine umfangreiche Versuchsreihe vorgesehen. Dabei waren auch Fehler bei der Prüfungsdurchführung zu analysieren.

Ein entscheidendes Qualitätsmerkmal eines Prüfverfahrens für die Streustoffverteilung ist die so genannte Wiederfindungsrate der ausgebrachten Streustoffe. In speziellen Versuchen konnte eine Wiederfindungsrate > 80 % für feinkörnige Tausalze sowie > 90 % für die in Deutschland am meisten verbreiteten Steinsalze nachgewiesen werden. Voraussetzungen sind eine geringe Rauigkeit der Prüffeldoberfläche, geeignete Besen und trockene Bedingungen.

Als eine weitere Frage war vorab zu klären, mit welcher Gleichmäßigkeit eine Streumaschine die Streustoffe innerhalb einer Streustrecke unter gleichen Bedingungen verteilen kann. Nur mit dieser Kenntnis lässt sich die Aussagesicherheit einer stichprobenartigen Prüfung über kurze Strecken belegen. Verschiedene durchgeführte Aufnahmen

über mehrere 10 m lange Abschnitte nach einer Streufahrt weisen insbesondere bei Geschwindigkeiten von 50 und 60 km/h sehr große Unterschiede in der Verteilung auf.

Zu ähnlichen Ergebnissen führten einige Versuche, bei denen Streufahrten mit gleichen Einstellungen und unter ähnlichen Bedingungen über ein Prüffeld mehrfach (2 x und 4 x) wiederholt wurden. Je Fahrt fanden Aufnahmen über zwei zusammenhängenden Prüffeldern mit 10 m Länge statt. Die prozentualen Werte der Spannweiten im Bezug zum erzielten Mittelwert lagen in der Mehrzahl der Fälle über 60 %. Diese Zahl steigt mit zunehmender Zahl der Wiederholungen deutlich. Zusammengefasste 10-m-Ergebnisse für 20 m lange Abschnitte führen etwa zur Halbierung der Spannweiten und damit zu einer deutlichen Reduzierung ungleichmäßiger Ergebnisse. Einzelne 20-m-Prüfergebnisse stellen aber trotzdem erhebliche Ausreißer dar. Statistisch gesicherte Angaben zur Aussageschärfe des Prüfverfahrens ließen sich aus der geringen Zahl der durchgeführten Versuche nicht ableiten.

Die witterungsbedingten Umfeldbedingungen waren bei den Versuchen recht gleich. Ein Einfluss von geringen Unterschieden bei den Umfeldbedingungen auf die Versuchsergebnisse ließ sich nicht ableiten.

Alle bis hier beschriebenen Versuche fanden immer mit älteren Streumaschinen statt, die für die genutzten Einstellungen nicht ausreichend justiert waren. Teilweise streuten die Maschinen sehr viel in Bereiche außerhalb der geforderten Streubreite (im Einzelfall bis 50 %!) oder innerhalb einzelner Streustreifen sehr häufig unter 50 % der Sollstreumenge. In einigen Fällen konnten nur rund 20 % der Sollstreumenge auf 20 x 1 m großen Streustreifen gefunden werden.

In die Bewertung der Wiederholbarkeit flossen auch Ergebnisse von durchgeführten Typprüfungen mit Streumaschinen nach Vorgaben des Landesbetriebes Straßenbau NRW ein. Die erzielten Ergebnisse zeigen, dass mit einer genauen Justierung eine wesentlich bessere Verteilung der Tausalze möglich ist. Zum einen werden bei Geschwindigkeiten bis 40 km/h die geforderten Mindestmengen von 50 bis 60 % auf 1-m-Streustreifen mit 20 m Länge innerhalb der Sollstreubreite wesentlich häufiger eingehalten. Gleichzeitig streuen die Streumaschinen nur sehr geringe Mengen außerhalb der Sollstreubreite. Zum anderen differieren die Ergebnisse von Wiederholungen nicht im gleichen Umfang wie bei

den Versuchen mit älteren Streumaschinen. Auch Geschwindigkeiten bis 60 km/h führen nicht zu wesentlich ungleichmäßigeren Ergebnissen. In rund 85 % der Fälle weichen die Ergebnisse von jeweils zwei Versuchen weniger als ± 15 % vom Mittelwert ab.

Die durchgeführten Typprüfungen zeigen aber auch den erheblichen zeitlichen Aufwand, um eine Streumaschine für eine geforderte Streustoffverteilung genau zu justieren.

Eine wesentliche Vereinfachung der Justierung wäre, wenn während der Hinterherfahrt die beobachtende Person in entsprechenden Wartungsprogrammen im Bedienpult Anpassungen vornehmen könnte. Damit ist mit Sicherheit keine so genaue Justierung wie nach einem Prüffeldversuch möglich. Dieses Verfahren sollte aber zu deutlich besseren Ergebnissen im Vergleich zur heutigen Streupraxis führen, wenn entsprechende Anwendungserfahrungen vorliegen. Die erforderlichen technischen Verfahren (Stichwort: wireless) bestehen dafür bereits. Sie sollten für diesen Anwendungsfall schnell umgesetzt werden.

Eine weitere Voraussetzung für genaue Justierungen ist die Schaffung einer möglichst hohen Anzahl von Justierungspunkten für die verschiedenen Einstellungen bei der Streudichte, -breite und -streifenlage sowie den dazugehörigen Geschwindigkeiten. Bei einer zu geringen Anzahl ist eine genaue Justierung für die verschiedenen Einstellungen nicht möglich. Ältere Maschinentypen liefern diese Möglichkeiten nicht, neueste Maschinentypen nicht immer.

Das Kehrverfahren hat sich bei durchgeführten Prüfungen für die Überprüfung von Feuchtsalzverteilungen bewährt. Bei entsprechenden Voraussetzungen führt es zu genauen Ergebnissen. Es ist einfach durchführbar, aber aufgrund der Anforderungen an die Prüffeldoberfläche und der notwendigen trockenen Umfeldbedingungen in der Durchführung an zwei sehr einschränkende Voraussetzungen gebunden. Eine Aufnahme des Verfahrens in bestehende Regelwerke der FGSV [8] wird empfohlen.

Aufgrund der nur wenigen durchgeführten Versuche während der Projektarbeit sind keine umfassend gesicherte Angaben über Streumaße (zulässige Spannweiten oder Vertrauensbereich) für Prüfergebnisse zur Beurteilung der Streustoffverteilung möglich. Die durchgeführten Versuche zeigen aber,

dass die hohen Toleranzen in den Ergebnissen hauptsächlich durch nicht beeinflussbare Einwirkungen beim Streuen (z. B. Fahrtwind) und nicht infolge ungleicher Prüfbedingungen oder durch die Prüfungsdurchführung selber entstehen. Für bessere wissenschaftlich begründete Aussagen sind umfangreiche weitere Versuche erforderlich.

Dabei soll mit einem neu entwickelten Spül-Sauggerät ein neues Verfahren zur Aufnahme ausgebrachter Streustoffe zum Einsatz kommen. Dieses Verfahren ist wesentlich witterungsunabhängiger und kann auch für flüssige Streustoffe genutzt werden.

Trotz aller erkennbaren erfreulichen Entwicklungen seitens der Streumaschinenhersteller bleibt die Aussage bestehen, dass eine gute Qualität der Streustoffverteilung letztendlich bei allen Streumaschinen nur durch eine entsprechende Sorgfalt der Anwender bei der Einsatzvorbereitung gewährt ist [2, 14].

Literatur

- [1] BADEL, H., GÖTZFRIED, F.: Wirksamkeit verschiedener Tausalze, Straßenverkehrstechnik, 10/2003, S. 527-533
- [2] BADEL, H.: Richtig dosieren und verteilen, KommunalTechnik, 11/12/2004
- [3] BADEL, H., HAUSMANN, G., MÜLLER, A.: Tausalzverteilungen nach Verkehrseinwirkungen gemessen mit dem Feuchtsalzaufnahmegesetz der Firma ESG, Abschlussbericht 05/2008, unveröffentlicht
- [4] BADEL, H., MORITZ, K.: Beurteilung von Feuchtsalzstreubildern und deren Einflussgrößen, Abschlussbericht zum Projekt 04650 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach 01/2006
- [5] CEN TC 337/WG1/PWG „Streumaschinen“: Arbeitspapier für EN 15597-2 „winter maintenance equipment – Spreading machines, Part 2 “spreading machines – requirements for distribution and their test“, Stand 04/2008, unveröffentlicht
- [6] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 1: Grundlagen zur Präzision von Prüfverfahren, Ausgabe 2000

- [7] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt für die Überprüfung von Streugeräten für den Straßenwinterdienst, Ausgabe 1989, Ergänzung 1993
- [8] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt für den Unterhaltungs- und Betriebsdienst an Straßen, Teil: Winterdienst, Ausgabe 1997
- [9] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Lieferbedingungen und Richtlinien für Geräte des Straßenunterhaltungs- und -betriebsdienstes, TLG, Teil B3, Streugeräte, Ausgabe 1991
- [10] HANKE, H., LEVIN, C., MATTHEß, V., SENDROWSKI, R.: Einsatz und Wirtschaftlichkeit von Feuchtsalz in der Praxis, Technische Hochschule Darmstadt, Schlussbericht 09/1990
- [11] HAUSMANN, G.: Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben FE 03.0404/2005HRB von KOMMZEPT, Ingenieurbüro Hausmann, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, 10/2008, unveröffentlicht
- [12] KÜNSTER, G., BÜNDGEN, A., BADEL, H., NIEBRÜGGE, L., KÖLLERER, F.: Qualitätssicherung Streustoffverteilung im Winterdienst; Hinweise und Empfehlungen für Beschaffungsstellen, Einsatzleiter, Einsatz- und Werkstattpersonal, Abschlussbericht der Bund-Länder Arbeitsgruppe des LFA Betriebsdiensts „Überprüfung der Streuqualität an Streumaschinen“, Koblenz 06/2005
- [13] Landesbetrieb Straßenbau NRW: Typprüfung über die Einhaltung der Anforderungen zur Streustoffdosierung und Streustoffverteilung; Anhang zur Leistungsbeschreibung für Lkw-Aufsatzstreumaschinen mit Feuchtsalztechnologie 2008, unveröffentlicht
- [14] NIEBRÜGGE, L., BADEL, H.: Qualitätssicherung im Winterdienst, Beschaffung und Betrieb von Streumaschinen, VKS-News 7/8 2005