

Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tausalzlösungen

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 218

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving them a 3D appearance as if they are floating above a surface. The background is a light gray gradient.

Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tausalzlösungen

von

Günter Hausmann

KOMMZEPT
Ingenieurbüro Hausmann

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 218

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die Berichte der BAST zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BAST-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de/benutzung.php?la=de>

Impressum

Bericht zu den Forschungsprojekten FE 04.0224/2008/DRB:
Wissenschaftliche Validierung eines im Winter 2008/2009 beginnenden Modellvorhabens zur Ausbringung von Taustoffen mittels Taustofflösungen
und FE 04.0238/2010/KRB: Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tausalzlösungen

Projektbetreuung

Horst Badelt

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9331

ISBN 978-3-86918-267-4

Bergisch Gladbach, Dezember 2012

Kurzfassung – Abstract

Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tausalzlösungen

Nach im Jahr 2009 abgeschlossenen Untersuchungen im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) werden auch bei Anwendung der Feuchtsalzstreuung FS30 erhebliche Anteile des Streustoffes (bis zu 85 %) durch den Fahrverkehr von der Fahrbahn verfrachtet, bevor sie zur Wirkung kommen. Diese Untersuchungen führten zu der These, dass bei Anwendung von Tausalzlösungen deutlich weniger Streustoffverluste zu erwarten sind.

Im Rahmen des Forschungsthemas sollten sichere Erkenntnisse darüber gewonnen werden, mit welchen Streudichten beim Einsatz von Salzlösungen unter Berücksichtigung von Randbedingungen (Wasserfilmdicken, Temperaturen) Ergebnisse erzielt werden, die dem Einsatz von Feuchtsalz FS30 vergleichbar sind. Darüber hinaus war festzustellen, ob für in Tausalzlösungen ausgebrachtes Salz eine höhere Liegedauer angenommen werden kann als für die Trockenkomponente im FS30.

Die Liegedauer der Tausalzlösung wurde unter Verkehrseinfluss in Messintervallen untersucht. Die Messflächen waren auf dem rechten Fahrstreifen jeweils zwischen den Rollspuren und in der rechten Rollspur angeordnet. Im Laufe der Untersuchungen hat sich folgende Messmethodik als besonders geeignet herausgestellt:

1. Nullmessung vor Ausbringung der Sole,
2. Messung unmittelbar nach Ausbringung der Sole,
3. Messung nach einer Stunde Verkehrseinfluss,
4. Messung nach vier Stunden Verkehrseinfluss,
5. Messung nach 20-22 Stunden Verkehrseinfluss.

Die Messungen haben gezeigt, dass bei der präventiven Streuung durch Einsatz der FS100-Technologie etwa 60 % NaCl eingespart werden können. Bei präventiven Einsätzen mit Sole kann mit dem 1,5fachen der Streustoffmenge gearbeitet werden, die bei der FS30-Technologie eingesetzt wurde. Umweltbelastungen durch den Winterdienst werden deutlich reduziert.

Die Anwendung der FS100 erfordert neue Technik zur Ausbringung und zur Bereitstellung des flüssigen Taustoffes. Die dafür erforderlichen Investitionen werden durch Streustoffeinsparungen gedeckt.

Recommendations for the correct spreading of melting salt solutions

According to the analyses conducted on behalf of the Bundesanstalt für Straßenwesen (Federal Highway Research Institute – BASt) completed in 2009, it is also the case that when applying FS30 pre-wetted melting agent a significant proportion of the spreading material (up to 85%) is transported by traffic from the road surface before it has had time to have an effect. These investigations led to the thesis that significantly less spreading material losses may be anticipated with the use of melting salt solutions

The object of the research topic was to secure precise data as to which spreading densities achieve comparable results as with the use of FS30 pre-wetted melting salt when salt solutions are applied, taking ambient conditions (water film thicknesses, temperatures) into consideration. Another thing to be determined, moreover, was if the salt spread via melting salt solutions could be expected to have a longer staying period than the dry components in FS30.

The staying period of the melting salt solution was analysed at measured intervals under the impact of traffic conditions. The measurement areas were arranged on the right-hand side lane both between the wheel tracks and in the right wheel track. The following measurement methodology proved itself to be especially suitable during the course of the analysis:

1. baseline measurement prior to application of brine,
2. measurement directly following application of brine,
3. measurement after one hour of traffic impact,
4. measurement after four hours of traffic impact,

5. measurement after 20-22 hours of traffic impact.

The measurements showed that with preventative spreading, which uses FS100 technology, approximately 60% NaCl is saved. The preventative application of brine enables 1.5 times of the spreading material volume to be used compared to that when FS30 technology is used. Environmental impacts are significantly reduced in relation to winter road services.

The application of FS100 requires new technology for spreading and supplying the liquid melting material. The investment required here is covered by the savings made in relation to spreading materials.

Inhalt

Glossar	6	5.12 Erkner 12.01.2011	30
1 Problem und Zielstellung	7	5.13 Erkner 01.02.2011	31
2 Internationaler Stand der Forschung	8	5.14 Erkner 02.02.2011	32
3 Untersuchungsmethodik	11	5.15 Herford 08./09.02.2011	32
3.1 Untersuchung der Querverteilung bei der Ausbringung von Tausalz- lösungen auf die Fahrbahn	11	5.16 Herford 09.02.2011 FS30	34
3.2 Untersuchung der Liegedauer von Taufstofflösungen auf der Fahrbahn ...	11	5.17 Herford 10.02.2011	34
3.3 Beobachtung der Wirkung des Einsatzes von Taufstofflösungen	12	5.18 Erkner 15./16.03.2011	35
4 Feldversuche	12	5.19 Herford 22./23.03.2011	36
4.1 Methodik der Feldversuche	12	5.20 Herford 23./24.03.2011	37
4.2 Vorbereitung der Feldversuche	13	5.21 Herford 24.03.2011	39
4.3 Durchgeführte Feldversuche	13	5.22 Herford – 3-Tage-Verlauf (22. bis 24. März 2011)	40
4.4 Technik zur Soleausbringung	15	6 Liegezeiten von Sole (FS100) im Vergleich zu Feuchtsalz (FS30)	41
5 Messergebnisse	16	7 Wirkung von Einflussfaktoren auf die Liegezeit von Sole	43
5.1 Erkner 25.03.2009	16	7.1 Art der Einflussfaktoren	43
5.2 Herford 16.04.2009	18	7.2 Auswertung der Messergebnisse unter Berücksichtigung möglicher Einflussfaktoren	44
5.3 Erkner 13./14.10.2009	20	7.2.1 Vorbetrachtung	44
5.4 Herford 25./26.11.2009	21	7.2.2 Art des Taufstoffes	44
5.5 Rottweil 03./04.03.2010	22	7.2.3 Verkehrseinfluss	45
5.6 Mendig 10./11.03.2010	24	7.2.4 Restsalz aus früheren Einsätzen	46
5.7 Herford 18.05.2010	25	7.2.5 Witterungseinflüsse	46
5.8 Mendig 14. bis 17.06.2010	25	7.2.6 Oberflächenstruktur der Fahrbahn	49
5.8.1 Überblick über die Messperiode	25	7.2.7 Schlussfolgerungen aus der Bewertung der Einflussfaktoren	49
5.8.2 Mendig 14.06.2010	26	8 Messfehler bei den Salzmengen- messungen	50
5.8.3 Mendig 15.06.2010	26	9 Einsatzerfahrungen mit Sole in den Wintern 2009/10 und 2010/11 ...	51
5.8.4 Mendig 16.06.2010	27	9.1 Sprüheinsätze	51
5.9 Erkner 12./13.10.2010	28	9.2 Sprühtechnik	52
5.10 Herford 15.12.2010	29		
5.11 Erkner 11.01.2011	29		

10	Betriebswirtschaftliche Aspekte der Soleanwendung	53
10.1	Kostenfaktoren	53
10.2	Behältergrößen und Maschinenkosten	54
10.3	Fahrzeugkosten	54
10.4	Ausrüstungskosten	55
10.5	Streustoffkosten	56
10.6	Personalkosten	57
10.7	Kostenvergleich	57
11	Schlussfolgerungen	62
12	Literatur	64

Glossar

FS0	Kurzbezeichnung für Salzstreuung ohne Zugabe von Salzlösung
FS30	Kurzbezeichnung für Salzstreuung unter Zugabe von 30 % Salzlösung
FS100	Kurzbezeichnung für Winterdienst mit 100 % flüssigem Taustoff
FT	Fahrbahntemperatur
LT	Lufttemperatur
MK	Maßnahmekatalog

1 Problem und Zielstellung

Nach jüngeren Untersuchungen im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) werden auch bei Anwendung der Feuchtsalzstreuung FS30 erhebliche Anteile des Salzes durch den Fahrverkehr von der Fahrbahn verfrachtet, bevor sie zur Wirkung kommen können [5, 6, 7]. Bei den häufig durchgeführten präventiven Streuungen zur Verhinderung von überfrierender Nässe und Reifglätte (Fahrbahn trocken oder leicht feucht) wird nur ein geringer Anteil des Salzes von durchschnittlich 12 % wirksam. Der größte Teil wird von der Fahrbahn befördert, bevor er in Lösung gehen kann. Bei Feuchtsalzstreuung auf nasse Fahrbahn gehen in Abhängigkeit von der Streudichte und weiterer Faktoren durchschnittlich nur ca. 25 % des ausgebrachten Salzes in Lösung. Im Minimum wurden Werte von 5 % festgestellt.

Die Untersuchungen führten zu der These, dass bei Anwendung von Tausalzlösungen deutlich weniger Salzverluste zu erwarten sind.

Die Anwendung von Taustofflösungen wurde in den 1980er Jahren schon praktiziert und ist aktuell auch in Skandinavien und in Nordamerika üblich.

Aus der Fachliteratur sind einige Untersuchungen bekannt, die sich speziell mit der Soleanwendung befassen.

Ziel der Forschungsarbeit ist die Vertiefung und Festigung der Erkenntnisse zum Einsatz von Tausalzlösungen im Straßenwinterdienst. Dabei besteht die Möglichkeit, durch den differenzierten Einsatz von Salzlösungen bei dafür geeigneten Winterbedingungen erhebliche Mengen an Taustoffen zu sparen, ohne die Verkehrssicherheit einzuschränken. Gleichzeitig besteht die Chance zu deutlichen Kosteneinsparungen.

Im Rahmen des Forschungsthemas sollen sichere Erkenntnisse darüber gewonnen werden, mit welchen Sprühdichten beim Einsatz von Salzlösungen unter Berücksichtigung von Randbedingungen (Wasserfilmdicken, Temperaturen) Ergebnisse erzielt werden, die dem Einsatz von Feuchtsalz FS30 vergleichbar sind. Darüber hinaus ist festzustellen, ob für in Tausalzlösungen ausgebrachtes Salz eine längere Liegedauer angenommen werden kann als für FS30.

Bei der Messung der Salzmengen auf der Fahrbahn wird mit dem neuartigen Spül-Saug-Gerät ge-

arbeitet, das nach bisherigen Feststellungen eine höhere Messgenauigkeit aufweist als die bei den bekannten internationalen Untersuchungen verwandten Geräte [1].

Ergänzend dazu werden im Anwendungsbereich von Salzlösungen Beobachtungsdaten aufgezeichnet, die dazu geeignet sind, Wirkungsdauer und Wirkungssicherheit der Soletechnologie unter verschiedenen meteorologischen Bedingungen zu beurteilen.

Die Untersuchungen sollen weiterhin Aufschluss darüber geben, mit welcher Genauigkeit die verfügbaren Sprühmaschinen den Taustoff ausbringen.

Die sparsame Verwendung von Taustoffen im Straßenwinterdienst hat hohe ökologische und wirtschaftliche Bedeutung. Die Arbeit kann dazu beitragen, erkannte Einsparungspotenziale auf diesem Gebiet gezielt zu nutzen. Die Einsparungspotenziale liegen insbesondere darin, den in Mitteleuropa häufig auftretenden Glättezuständen mit geringen Wasserfilmdicken effizient vorzubeugen oder sie mit geringem Taustoffaufwand zu bekämpfen.

Es ist davon auszugehen, dass die verstärkte Soleanwendung eine Ergänzung zur FS30-Technologie darstellt und letztlich eine neue Stufe der Differenzierung im Winterdienst einleiten könnte.

Das Interesse der potenziellen Anwender an der Soletechnologie ist aus der Resonanz auf Fachvorträge zu dieser Thematik klar erkennbar [3, 4, 13].

Ein positiver Ausgang der Untersuchungen wird Einfluss auf Entwicklungen der Maschinenindustrie haben und schließt auch Überlegungen zur zukünftigen Ausrüstung der Verwaltungen und Betriebe ein, die Winterdienst durchführen.

Folgende praxiswirksame Handlungsempfehlungen sollen aus der Forschungsarbeit abgeleitet werden:

- differenziertere Vorgaben für die Einstellung der Sprühdichte bei der Ausbringung von Tausalzlösungen,
- Hinweise für die Bewertung und Prüfung von Sprühmaschinen,
- Abschätzung des Investitionsbedarfes, der sich aus der breiten Anwendung von Tausalzlösungen ergeben würde,
- Abschätzung der betriebswirtschaftlichen Auswirkungen der differenzierten Anwendung von Tausalzlösungen.

2 Internationaler Stand der Forschung

Umfangreiche Forschungsarbeiten zur Soleanwendung, die in den letzten Jahren durchgeführt wurden, sind vor allem aus Skandinavien und den USA bekannt [2, 15]. Dabei wird auch die Wirkungsdauer von Sole und Solemischungen auf unterschiedlichen Fahrbahnbelägen untersucht.

Aus der Fachliteratur sind einige Untersuchungen bekannt, die sich speziell mit der Soleanwendung befassen.

In einer dänischen Studie [14] wird festgestellt, dass Reifglätte mit einer Solemenge von ca. 20 g/m² genauso wirksam bekämpft werden kann wie mit FS30 mit einer Streudichte von 10 g/m². Die Soleanwendung bei Schneeniederschlag zeigte Nachteile gegenüber der FS30-Technologie. In diesem Fall konnten keine gleichwertigen Ergebnisse erzielt werden (Bild 1).

Aus Feldversuchen, die in den Jahren 1998 bis 2005 in Dänemark durchgeführt wurden, ist be-

kannt, dass durch den Einsatz von Sole statt Feuchtsalz im Winterdienst erhebliche Salzmenge eingespart werden können (Bild 2). Nach diesen Untersuchungen ergeben sich die Einsparungen durch eine präzisere Ausbringung des Salzes und die längeren Liegezeiten.

Die Untersuchungen ergaben, dass bei der Feuchtsalztreuung mit Streubreiten von 6 m und einer Streugeschwindigkeit von 60 km/h etwa 9 % des Salzes außerhalb der Fahrbahn auftreten und 61 % des Salzes wegen ungleichmäßiger Querverteilung lokal überdosiert werden. Es wurde hinsichtlich der Liegezeiten gemessen, dass nach zwei Stunden noch 85-90 % des als Sole ausgebrachten Salzes auf der Fahrbahn sind, während sich unter vergleichbaren Bedingungen nur noch 60-65 % des Feuchtsalzes auf der Fahrbahn befinden.

Nach diesen Ergebnissen wurde in den zwei Winterdienstperioden von 2005-2007 in der Provinz Funen flächendeckend Sole angewandt. Danach sank der Salzverbrauch pro Flächeneinheit und Winterdienstsaison auf etwa die Hälfte der Nach-

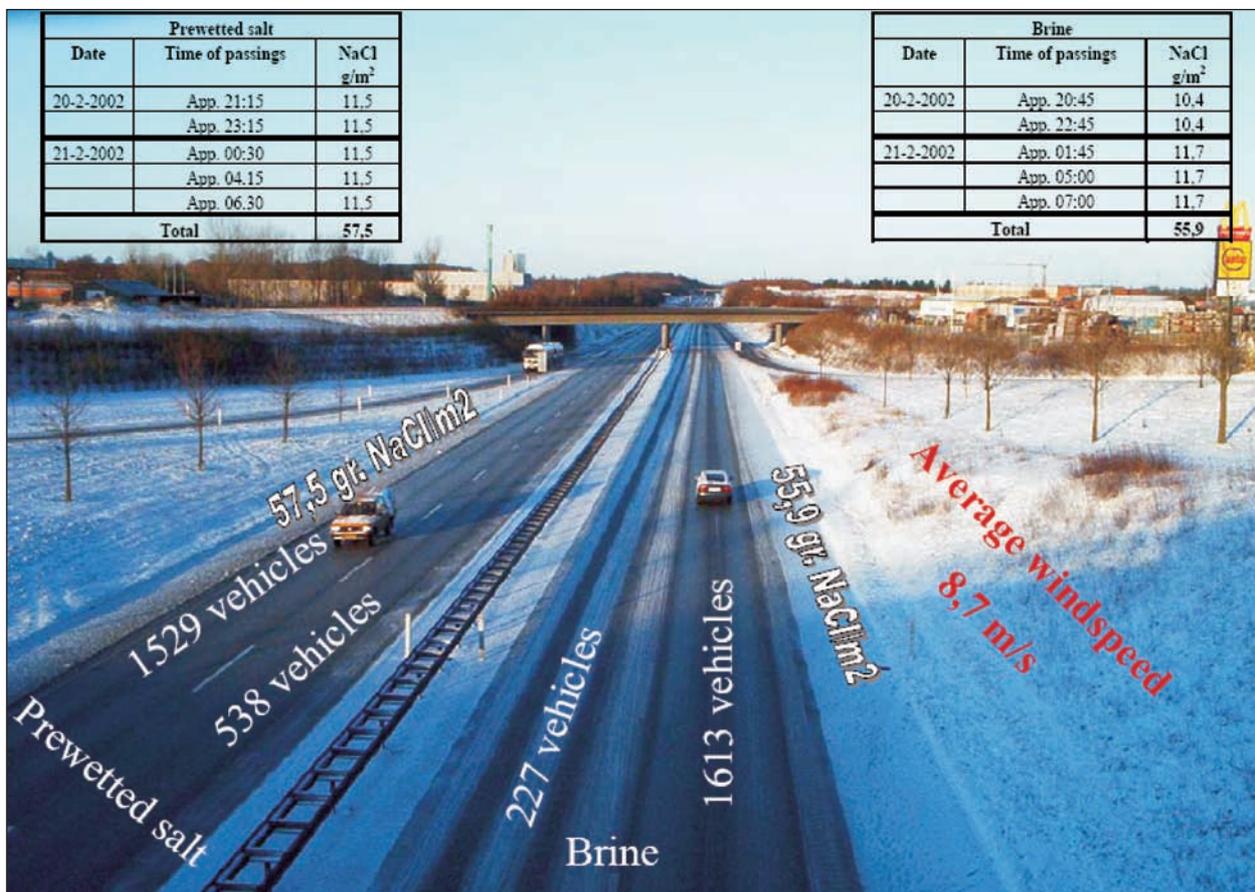


Bild 1: Ergebnis der Glättebekämpfung nach dem Einsatz von nahezu identischen Taustoffmengen in Form von Feuchtsalz (links) und NaCl-Sole (rechts) [1]

barprovinzen. Dabei verringerte sich außerdem die Zahl der Glätteunfälle.

Sehr umfangreiche Studien zur Soleanwendung wurden seit einigen Jahren im Auftrag des Ohio Department of Transportation (ODOT) an der Ohio University erarbeitet [9, 12, 15]. Die Salzmenge-messungen werden mit einer modifizierten Form des SOBO-0-Gerätes der Firma Boschung durchgeführt. Die Aufnahme der Messwerte erfolgt in zwei unterschiedlichen Formen (Bild 3):

1. Nozzle Redings – Messung auf der Linie der Düsen der Sprühmaschine,
2. Diagonal Readings – Messung auf einer Diagonalen, um innerhalb der Breite eines Fahrstreifens eine hohe Messwertdichte zu erreichen, ohne dass sich die Messpunkte beeinflussen können.

In der Winterdienstpraxis werden in den USA je nach Bundesstaat unterschiedliche Taumittel eingesetzt. Als Sole werden NaCl , CaCl_2 und MgCl_2 -Lösungen verwendet. Außerdem kommen auch Kaliumacetat und Calciummagnesiumacetat (CMA) zum Einsatz. Des Weiteren wird auch mit Mischun-

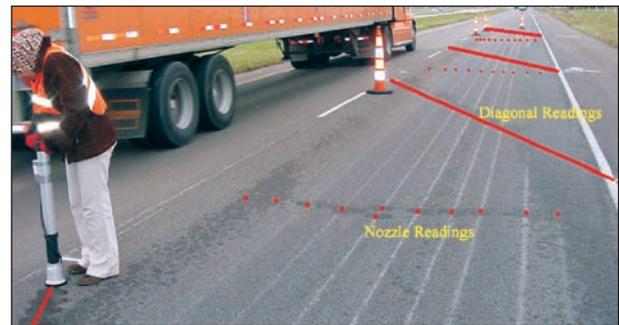


Bild 3: Salzmenge-messungen in der Diagonale und auf den „Düsenlinien“ [3]

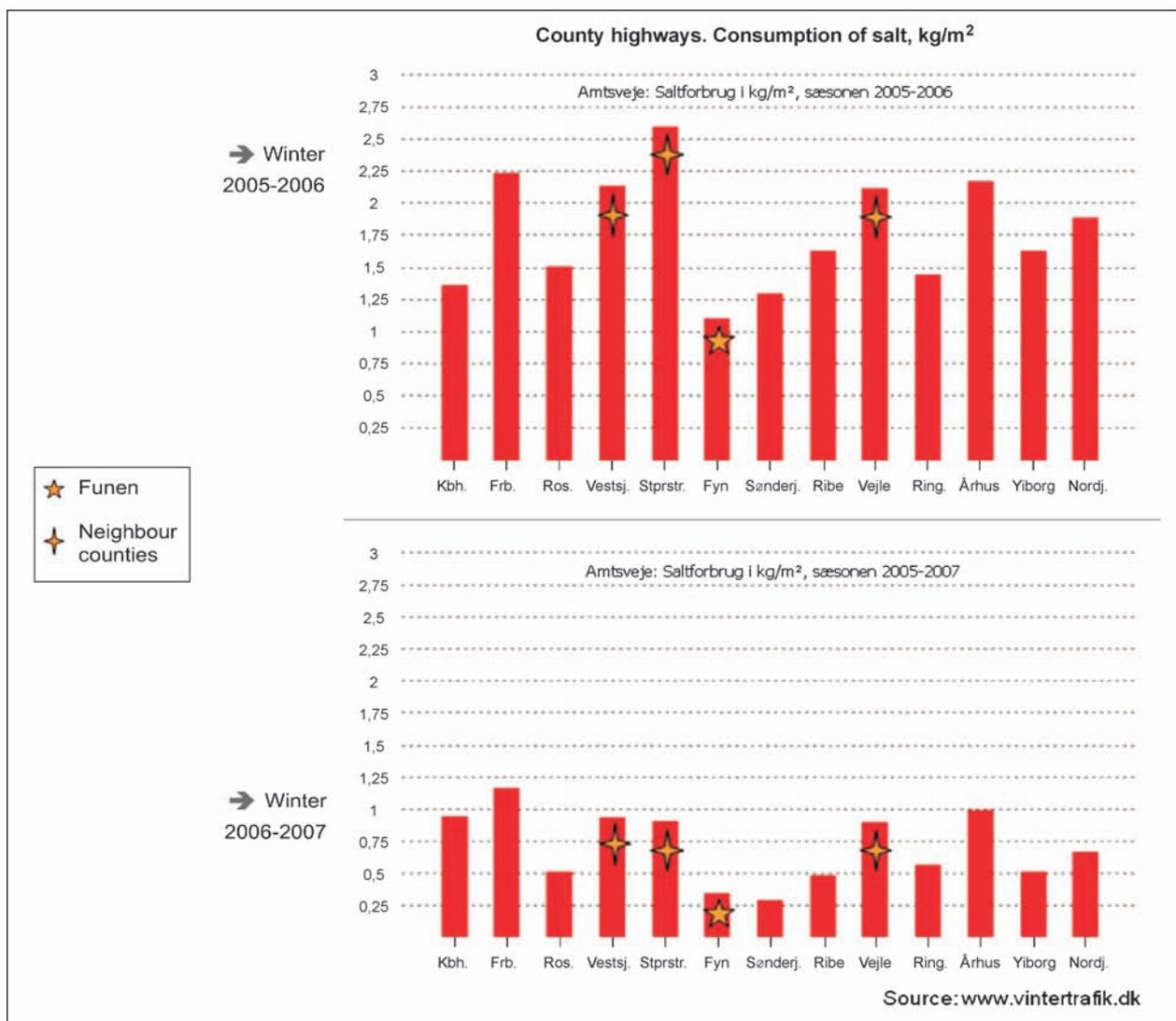


Bild 2: Verbrauchsstatistik der dänischen Provinz Funen im Vergleich mit benachbarten Provinzen

gen unterschiedlicher tauwirksamer Substanzen experimentiert.

Die Salzmengenmessungen wurden in Abständen von mehreren Stunden wiederholt. In Bild 4 sind die Ergebnisse einer Messreihe auf einer Asphaltfahrbahn dargestellt, bei der eine Messung unmittelbar nach der Soleausbringung (C0) und dann nach 3:00 h (C1), 5:30 h (C2), 7:50 h (C3) und 23:00 h (C4) gemessen wurde [12].

Vom Schwedischen Straßenforschungsinstitut (VTI) ist die beim SOBO-20-Gerät angewandte Messmethode weiterentwickelt worden. Dadurch sollen exaktere Ergebnisse bei der Messung der

Salzmengen erzielt werden. Außerdem kann mit dem Gerät auch die Zusammensetzung der Feinstaubablagerungen auf der Straßenoberfläche bestimmt werden [10].

Eine aktuelle US-Studie [15] aus dem Jahr 2007 befasst sich mit dem Einsatz von Sole in unterschiedlichen Sprühdichten von 20, 40 und 60 gallon/lane/mile (ca. 15, 30 und 45 g/m²) auf Asphalt- und Betonfahrbahnen. Die Salzmengen wurden mit dem SOBO-20-Gerät von Boschung ermittelt. Es wurde eine exponentielle Abnahme der Salzmengen in Abhängigkeit von Zeit bzw. Fahrverkehr auf den Fahrbahnen festgestellt (Bild 5).

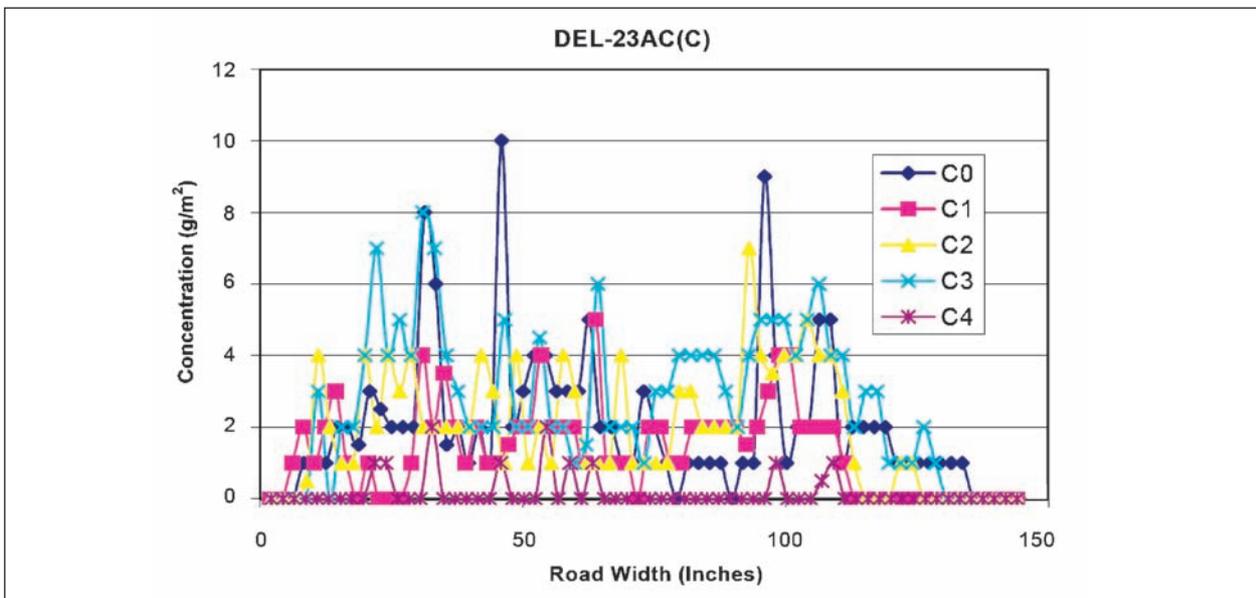


Bild 4: Querverteilung von Salzlösung nach unterschiedlichen Zeiten der Verkehrsbelastung [3]

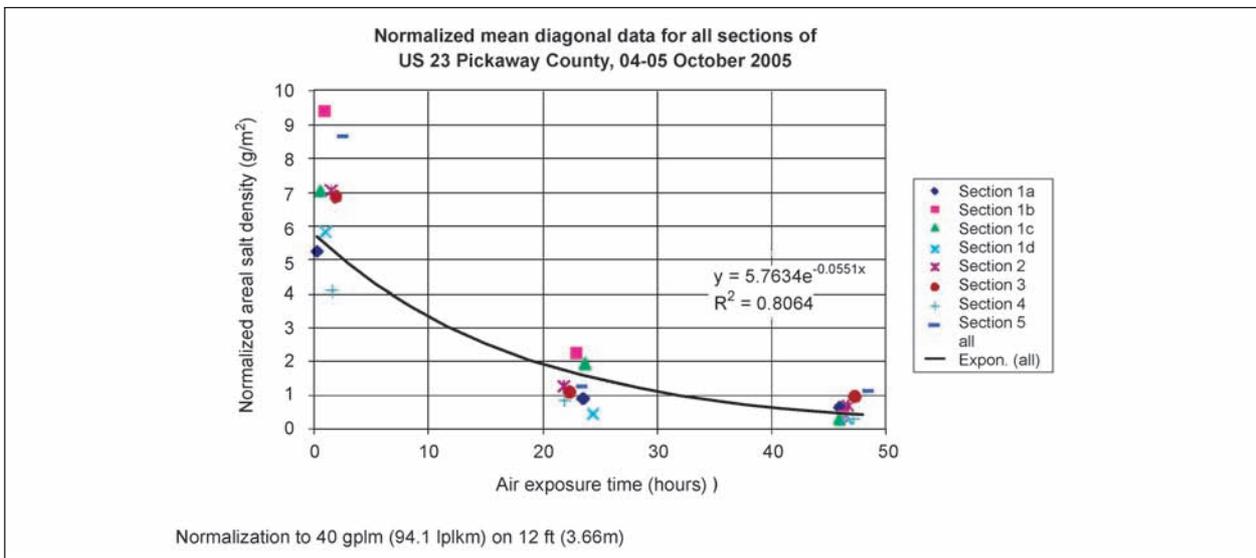


Bild 5: Abnahme der Salzmenge auf der Fahrbahn in Abhängigkeit von der Zeit [15]

Vorteile	Nachteile
Verringerung der Salzmenge bei Reif	Bei Schneefall sind die Beförderung und Ausbringung von großen Solemengen erforderlich
Verbesserung der Querverteilung	Wirkung der Sole bei Schneefall weniger effektiv als mit Feuchtsalz
Höhere Arbeitsgeschwindigkeit	Größere Bereitstellungs- und Lagerkapazitäten für Sole sind erforderlich

Tab. 1: Vor- und Nachteile der Soleanwendung nach Erkenntnissen der dänischen Straßenbauverwaltung

Beim Vergleich der Liegezeiten von NaCl-Lösung zwischen Asphalt- und Betonfahrbahnen wurde festgestellt, dass der Taustoff auf Betonfahrbahnen wesentlich länger wirksam ist als auf Asphaltfahrbahnen. Auf Betonfahrbahnen waren nach 32 Stunden noch 50 % der ausgebrachten Menge vorhanden, während auf Asphaltfahrbahnen nach dieser Zeit nur noch 17,1 % nachweisbar waren.

In der Studie des Ohio Department of Transportation (ODOT) [12] wurden auch die Wirkung präventiver Soleausbringung und deren zeitlicher Verlauf unter Labor- und Feldbedingungen untersucht. Für die Feldmessungen wurde das SOBO-20-Gerät verwendet. Die Genauigkeit der Messungen mit dem SOBO 20 ist offenbar von vielen äußeren Faktoren abhängig. Die Art des Fahrbelages spielt eine ganz wesentliche Rolle. Aus diesem Grund wurden Korrekturformeln durch Laborversuche ermittelt. Bei allen Messungen ist eine sehr große Streuung der Werte festzustellen.

Untersuchungen des dänischen Straßendirektorates [11, 14] kamen zu der in Tabelle 1 dargestellten Einschätzung der Vor- und Nachteile des Sole-sprühverfahrens.

Aus den bisherigen Erkenntnissen wird abgeleitet, dass Kombinationsstreumaschinen die beste technische Lösung sind, um Sole und FS30 einzusetzen. Im Detail wurden im Wesentlichen noch folgende Erkenntnisse und Empfehlungen aufgeführt [11]:

- Kombinationsstreumaschinen mit Düsen können das Salz gleichmäßig über die gesamte Straßenbreite verteilen (Streumaschinen mit Tellern können Sole nicht in voller Breite ausbringen).
- Es können mehr als 20 % Salz eingespart werden, wenn man die Dosieranleitung befolgt.
- Kombinationsstreumaschinen haben einen höheren Anschaffungspreis als Feuchtsalzstreumaschinen.

Erwartete Glättesituation	Dosierempfehlung [ml/m ²]
Reifglätte bei ca. 0 °C	10
Reifglätte bei ≥ -3 °C bis 0 °C	20
Reifglätte bei < -3 °C	30
Überfrierende Nässe bei ≥ -3 °C bis 0 °C	30
Überfrierende Nässe bei < -3 °C	40

Tab. 2: Dosierempfehlungen nach [11]

- Die Anschaffung einer Solemischanlage (Löseanlage) mit entsprechenden Lagerkapazitäten wird erforderlich.
- Die Umstellung auf Kombinationsstreumaschinen ist in den Organisationskonzepten (Räum- und Streupläne) zu berücksichtigen.

Als Dosierempfehlung für die präventive Sprühung bei erwarteter Reifglätte oder überfrierender Nässe gelten die in Tabelle 2 genannten Werte.

3 Untersuchungsmethodik

3.1 Untersuchung der Querverteilung bei der Ausbringung von Tausalz-lösungen auf die Fahrbahn

Im Idealfall wird durch den Einsatz von Sprühmaschinen eine gleichmäßige und streifenfreie Querverteilung der Salzlösung über die gesamte Fahrbahn erwartet. Unterschiedliche Einflussfaktoren führen jedoch zu erheblichen Abweichungen vom Idealfall. Dazu gehören Justierungs- und Bedienfehler an Sprühmaschinen, Windeinfluss und technische Unzulänglichkeiten. Die Feldversuche mit Einsatz des Spül-Saug-Gerätes sind dazu geeignet, die Soleverteilung auf der Fahrbahn unmittelbar nach der Ausbringung festzustellen [1]. Für größere Sprühbreiten, welche die Sperrung von mehr als einem Fahrstreifen erfordern, muss die Dosiergenauigkeit auf einem speziellen Testfeld festgestellt werden.

3.2 Untersuchung der Liegedauer von Taustofflösungen auf der Fahrbahn

Exakt ausgedrückt wurde die Liegedauer der in Form von Tausalzlösung ausgebrachten Salze un-

tersucht. Es galt, die Frage zu klären, wie lange die Salze auf der Straßenoberfläche unter Verkehrseinfluss präsent sind. Das erforderte die Messung der Salzmengen unmittelbar vor der Soleausbringung, damit die Ausgangssituation bezüglich der von vorangegangenen Streuungen noch vorhandenen Salzmengen bekannt war. Des Weiteren musste festgestellt werden, welche Salzmengen unmittelbar nach der Ausbringung der Sole auf der Fahrbahn vorhanden waren. Erfahrungsgemäß weichen die tatsächlichen Salzmengen häufig von den eingestellten Sprühdichten ab. Danach wurde gemessen, welche Salzmengen noch vorhanden waren, nachdem in ein- bis mehrstündigen Intervallen Verkehr im Messbereich zugelassen wurde. Parallel dazu wurden alle Daten aufgezeichnet, die neben dem Verkehr auch Einfluss auf die Liegezeit der Salze haben konnten.

Dazu gehören:

- Lufttemperatur,
- Luftfeuchte,
- Fahrbahntemperatur,
- Fahrbahnfeuchte,
- Restsalzmengen,
- Verkehrsstärke.

Zur Messung der Liegedauer wurde das Spül-Saug-Gerät der Firma ESG verwendet (Bild 6).



Bild 6: Salzaufnahme mit dem Spül-Saug-Gerät

3.3 Beobachtung der Wirkung des Einsatzes von Taustofflösungen

Die Glätte verhindernde Wirkung von Tausalzlösungen wurde visuell beobachtet. Diese Beobachtungen unter Praxisbedingungen wurden von den Autobahnmeistereien Mendig (Rheinland-Pfalz), Herford (Nordrhein-Westfalen), Erkner (Brandenburg), Rottweil (Baden-Württemberg), Trockau, Oberthulba, München-Nord und Würzburg (Bayern) durchgeführt.

4 Feldversuche

4.1 Methodik der Feldversuche

Auf trockene oder leicht feuchte Fahrbahnflächen wurden definierte Solemengen aufgebracht. Zuvor wurde mit einer Nullmessung bestimmt, ob sich noch Salz aus vorangegangenen Winterdienstesätzen auf der Fahrbahn befand. Um eine möglichst praxisnahe Situation zu erzeugen, wurde auch der Fahrstreifen mit Sole behandelt, der neben dem Fahrstreifen lag, auf dem gemessen wurde. Es wurde vermieden, Salzlösung auf den Seitenstreifen aufzubringen. Die ersten Salzmengenmessungen wurden direkt nach der Solesprühung durchgeführt, ohne dass vorher Fahrzeuge über die ausgebrachte Sole fahren konnten. In einem Fall (Herford 16.04.09) wurde nach dem Sprühen für 5 Minuten Fahrverkehr zugelassen, um eine bessere Verteilung der Salzlösung vor den ersten Messungen zu bewirken.

Nach der ersten Messung wurde für eine Stunde Verkehr zugelassen und dann eine weitere Messung durchgeführt. Weitere Messungen erfolgten anfangs in unterschiedlichen Intervallen. Beginnend mit den im November 2009 in Herford durchgeführten Messungen wurde die dritte Messung nach 4 Stunden Verkehrseinfluss durchgeführt. In Abhängigkeit davon, ob bei der dritten Messung nennenswerte Salzmengen festgestellt wurden ($> 1,5 \text{ g/m}^2$), fand eine letzte Messung am Morgen des Folgetages nach etwa 22 Stunden Verkehrseinfluss statt. Zur Vermeidung der Beeinflussung der Messergebnisse durch das von der Fahrbahn entnommene Salz wurden die Messungen immer entgegen der Fahrtrichtung ausgeführt.

4.2 Vorbereitung der Feldversuche

Ein Teil der Feldversuche wurde im Bereich der Autobahnmeisterei Herford auf der A 2 bei km 302,5 in Fahrtrichtung Hannover durchgeführt. Um die Messzeiten zu minimieren, wurden 10 Messfelder mit Dauermarkierungen gekennzeichnet (Bild 7). Dieser Autobahnabschnitt stand wegen Bauarbeiten zeitweise nicht mehr zur Verfügung. Aus diesem Grund wurden weitere Versuche auf der A 2 in Richtung Dortmund durchgeführt.

Darüber hinaus wurden Versuche im Bereich der Autobahnmeistereien Mendig, Rottweil und Erkner durchgeführt. Im Laufe der Versuchsreihe wurde deutlich, dass es geboten ist, immer wieder auf neuen Messflächen zu arbeiten. Deshalb wurde auf die Anbringung von Dauermarkierungen verzichtet. Die Messfelder wurden nur noch temporär mit Ölkreide markiert.

Die Messfelder sind jeweils 5 m voneinander entfernt (Bild 8). Die Messflächen sind so angeordnet, dass auf dem rechten Fahrstreifen zwischen den Rollspuren und in der rechten Rollspur gemessen wird. Zur Messung der Salzverfrachtung in die Randbereiche waren außerdem Messflächen auf dem Seitenstreifen angeordnet. Nach den ersten Versuchen mit Salzlösung zeigte sich, dass durch die Verkehrseinwirkung kaum Salz auf den Seitenstreifen verfrachtet wurde. Deshalb wurde in der Folgezeit auf die Messung der Salz mengen auf dem Seitenstreifen verzichtet.

Jede Messfläche ist 20 cm breit und in der Regel 5,00 m lang. Der Flächeninhalt beträgt damit genau einen Quadratmeter. Mit dem Spül-Saug-Verfahren wird genau von dieser Fläche möglichst alles Salz aufgenommen. Durch Zugabe von demineralisiertem Wasser wird die Messfläche unmittelbar vor der Aufnahme besprüht. Dadurch erfolgt eine gründliche Salzaufnahme, unabhängig davon, ob das Salz in gelöster oder ungelöster Form auf der Fahrbahn vorhanden ist. Die Salzaufnahme wird in drei Übergängen durchgeführt, um sicherzugehen, dass kein Restsalz auf der Messfläche verbleibt. Die aufgenommene Flüssigkeit mit dem darin enthaltenen Salz wird für jede Messfläche separat in einem Gefäß gesammelt. Im Labor wird das Gewicht der aufgenommenen Flüssigkeit festgestellt und deren elektrische Leitfähigkeit gemessen. Unter Berücksichtigung der Kennlinien für die jeweilige Salzart kann daraus die Salzmenge pro Quadratmeter errechnet werden.

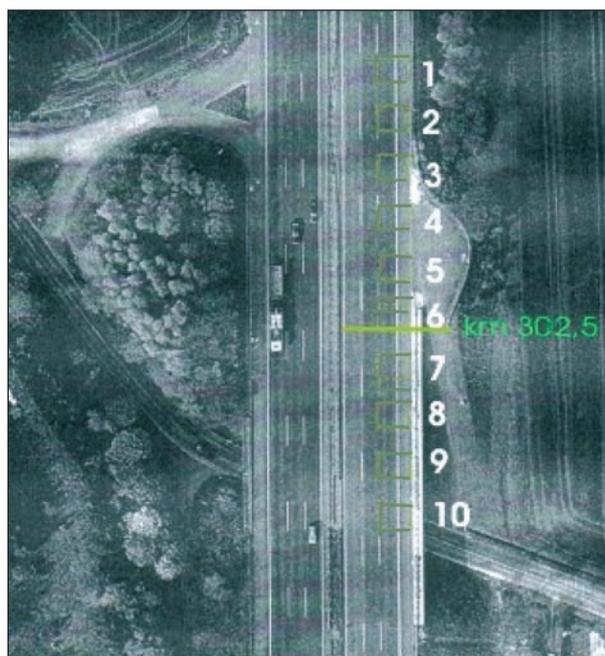


Bild 7: Anordnung der Messfelder auf der A 2 bei km 302,5

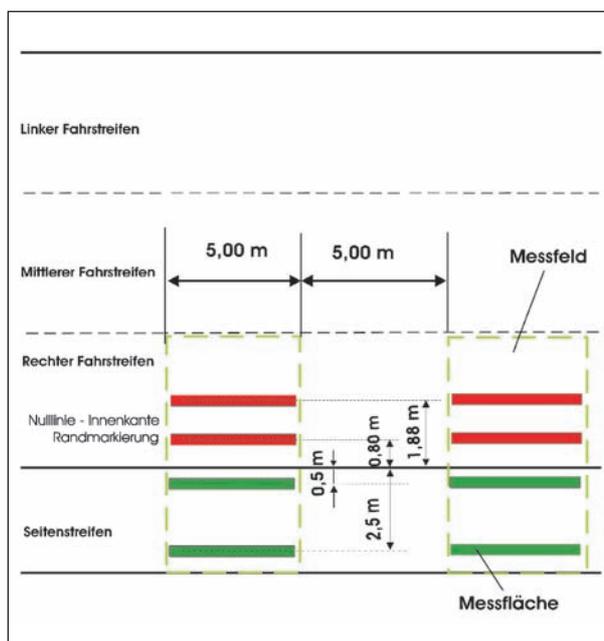


Bild 8: Lage der Messflächen in den Messfeldern

4.3 Durchgeführte Feldversuche

Insgesamt wurden 36 Feldversuche durchgeführt (Tabelle 3). Die Ergebnisse einiger Versuchstage mussten wegen starker Niederschläge oder technischer Probleme mit der Messeinrichtung verworfen werden.

Datum/Ort	Salzart/ Konzentration [%]	Fahrbahnbelag Fahrbahnzustand	Eingestellte Sprühdichte [g/m ²]	Eingestellte Sprühbreite [m]	Theoretisch ausgebrachte Salzmenge [g/m ²]
25.03.09/A 10 Erkner	NaCl/21,5	Beton/trocken	20	11,25	4,3
16.04.09/A 2 Herford	NaCl/22,7	Asphalt/trocken	20 ml/m ²	11,00	5,3
13.10.09/A 10 Erkner	CaCl ₂ /8,9	Beton/trocken	20	7,50	3,7
14.10.09/A 10 Erkner	CaCl ₂ /18,9	Beton/wechselnd trocken/feucht	40	11,25	7,4
25.11.09/A 2 Herford	NaCl/22,7	Asphalt/trocken 6 Stunden nach dem Sprühen leichter Regen	20 ml/m ²	7,50	5,3
26.11.09/A 2 Herford	NaCl/22,7	Asphalt/trocken 1 Stunde nach dem Sprühen leichter Niederschlag	20 ml/m ²	7,50	5,3
27.01.10/A 10 Erkner	NaCl/18,9	Beton/trocken 2 Stunden nach dem Sprühen Schneefall	20	7,50	3,8
03.03.10/A 81 Rottweil	NaCl/24,8	Asphalt/trocken	20	7,50	5,0
04.03.10/A 81 Rottweil	NaCl/24,8	Asphalt/trocken	20	7,50	5,0
10.03.10/A 61 Mendig	CaCl ₂ /19,9	Asphalt/trocken	20	7,50	4,0
11.03.10/A 61 Mendig	CaCl ₂ /19,9	Beton/trocken	20	7,50	4,0
18.05.10/A 2 Herford	NaCl/24,8	Asphalt/trocken	20 ml/m ²	7,50	5,6
14.06.10/A 61 Mendig	CaCl ₂ /19,9	Asphalt/trocken	20	7,50	4,0
14.06.10/A 61 Mendig	FS30 mit CaCl ₂ -Sole	Asphalt/trocken	20	7,50	7,6
15.06.10/A 61 Mendig	CaCl ₂ /19,9	Asphalt/trocken	20	7,50	2,6
16.06.10/A 61 Mendig	CaCl ₂ /19,9	Beton/trocken	20	7,50	3,2
17.06.10/A 61 Mendig	CaCl ₂ /19,9	Asphalt/trocken Regen nach 1 Stunde	20	7,50	4,0
12.10.10/A 10 Erkner	FS30	Beton/trocken	10	6,0	7,6
13.10.10/A 10 Erkner	NaCl/20,3	Beton/trocken	20	11,5	4,1
15.12.10/A 2 Herford	NaCl/22,7	Asphalt/nass	20 ml/m ²	11,0	5,3
11.01.11/A 10 Erkner	NaCl/19,5	Beton/feucht	20	7,50	3,9
12.01.11/A 10 Erkner	NaCl/19,5	Beton/feucht	20	7,50	3,9
01.02.11/A 10 Erkner	NaCl/19,5	Beton/feucht	20	3,75	3,9
02.02.11/A 10 Erkner	NaCl/19,5	Beton/nass	20	3,75	3,9
08.02.11/A 2 Herford	NaCl/21,5	Asphalt/trocken	20 ml/m ²	11	5,0
09.02.11/A 2 Herford	NaCl/21,5	Asphalt/trocken	20 ml/m ²	6	5,0
09.02.11/A 2 Herford	FS30	Asphalt/trocken	10	11	7,6
10.02.11/A 2 Herford	NaCl/21,5	Asphalt/trocken	20 ml/m ²	6	5,0
15.03.11/A 10 Erkner	NaCl/19,5	Beton/feucht-trocken	20	4	3,9
15.03.11/A 10 Erkner	NaCl/19,5	Beton/feucht-trocken	40	4	7,8
22.03.11/A 2 Herford	NaCl/21,5	Asphalt/trocken	40 ml/m ²	4	10,0
22.03.11/A 2 Herford	NaCl/21,5	Asphalt/trocken	20 ml/m ²	4	5,0
23.03.11/A 2 Herford	NaCl/21,5	Asphalt/trocken	20 ml/m ²	4	5,0
23.03.11/A 2 Herford	NaCl/21,5	Asphalt/trocken	40 ml/m ²	4	10,0
24.03.11/A 2 Herford	NaCl/21,5	Asphalt/trocken	40 ml/m ²	4	10,0
24.03.11/A 2 Herford	NaCl/21,5	Asphalt/trocken	20 ml/m ²	4	5,0

Tab. 3: Zusammenstellung der Feldversuche

4.4 Technik zur Soleausbringung

Bei den bisher durchgeführten Versuchen kamen sechs unterschiedliche Sprühmaschinen zum Einsatz:

1. Küpper-Weisser – Kombinationsstreumaschine „Kombi Wet“ – AM Erkner (Bild 9),
2. Epoke – Sprühmaschine SL-E – AM Herford (Bild 10),
3. Küpper-Weisser – Sprühmaschine „Full Wet“ – Berliner Stadtreinigung (Bild 11),
4. Schmidt – Sprühmaschine „Straliq“ – Berliner Stadtreinigung (Bild 12),
5. Küpper-Weisser – Kombinationsstreumaschine „Kombi Wet“, Typ IMSSF E23050HFU – AM Mendig (Bild 13),
6. Küpper-Weisser – Sprühmaschine „Full Wet“ – AM Rottweil (Bild 14).

Bei allen Sprühmaschinen wurde die Sole über Düsen ausgebracht. Dabei werden im Bereich der Fahrzeugbreite Flachstrahldüsen und für die Bereiche über die Fahrzeugbreite hinaus Weitstrahldüsen verwendet. Die exakte Einstellung der Düsen ist für die Querverteilung der Sole von entscheidender Bedeutung. Bei den eingesetzten Maschinen



Bild 9: Küpper-Weisser – Kombinationsstreumaschine mit einer eingestellten Sprühdichte von 20 g/m² und einer Sprühbreite von 11,25 m



Bild 10: Epoke – Sprühmaschine mit einer eingestellten Sprühdichte von 20 ml/m² und einer Sprühbreite von 11,00 m



Bild 11: Küpper-Weisser – Sprühmaschine „Full Wet“ mit einer eingestellten Sprühdichte von 20 g/m² und Sprühbreite von 7,50 m



Bild 12: Schmidt – Sprühmaschine „Straliq“ mit einer eingestellten Sprühdichte von 40 g/m² und Sprühbreite von 11,25 m



Bild 13: Kombinationsstreumaschine von Küpper-Weisser für 10.000 l Salzlösung und 5 cbm Trockensalz



Bild 14: Küpper-Weisser – „Full Wet“-Sprühmaschine der Autobahnmeisterei Rottweil

gab es auf den Messflächen häufig Abweichungen von der eingestellten Sprühdichte. Die größten Abweichungen wurden im Bereich der Weitstrahldüsen gemessen.

5 Messergebnisse

5.1 Erkner 25.03.2009

Für die Versuche stand eine Kombinationsstreummaschine des Typs „Kombiwet“ der Firma Küpper-Weisser zur Verfügung. Vor Beginn der Soleausbringung wurde die Düsenausrichtung kontrolliert (Bild 15). Anschließend wurde Sole in der Sprüh-



Bild 15: Ausrichtung der Weitstrahldüsen

Sprühdatum	25.03.2009
Sprühzeit	08:10 Uhr
Fahrbahntemperatur	-1 °C
Fahrbahnbelag	Beton
Fahrbahnzustand bei Sprühung	trocken
Lufttemperatur	-2,5 °C
Relative Luftfeuchte	77 %
Sprühmaschine	Küpper-Weisser „Full Wet“
Sprühdichte (Einstellwert)	20 g/m ²
Sprühbreite	11,25 m
Sprühgeschwindigkeit	ca. 60 km/h
Sole	NaCl
Soledichte	1,163
Masseanteil NaCl	21,5 %
Messturnus	Nullmessung auf Gegenfahrbahn, direkt nach Sprühung, nach 40, 75, 95, 145 und 305 Minuten
Wetterverlauf	sonnig, leichter Temperaturanstieg
Restsalz vom Vortag	ca. 1,1 g/m ²

Tab. 4: Umfelddaten der Messungen am 25.03.2009

dichte von 20 g/m² mit einer Geschwindigkeit von etwa 60 km/h ausgebracht (Bild 9).

Weitere Umfelddaten der Messungen sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Die Messungen der Salzmengen erfolgten auf zwei Messfeldern im Abstand von 300 m in Richtung AS Freienbrinck. Die Nullmessung wurde auf der Gegenfahrbahn ausgeführt. Die Salzaufnahme erfolgte in einem Übergang. Durch spätere Feststellungen wurde deutlich, dass auf jeder Messfläche drei Aufnahmeübergänge durchgeführt werden sollten. Im Vergleich mit späteren Messungen kann daher nur die relative Abnahme der Salzmenge in Abhängigkeit von Zeit und Verkehrsbelastung verwendet werden.

Nach dem Sprühvorgang und bei allen folgenden Messungen wurde von Messflächen auf drei Querschnittspositionen Salz aufgenommen:

1. Mitte des rechten Fahrstreifens,
2. rechte Rollspur des rechten Fahrstreifens,
3. linke Messfläche des Seitenstreifens.

Von der rechten Messfläche des Seitenstreifens wurde kein Material aufgenommen, da deutlich zu sehen war, dass dorthin kein Taustoff gelangte. Wegen eines Gerätedefektes musste die Messreihe vorzeitig mit Probe Nr. 20 beendet werden. Eine Übersicht der aus den Messwerten errechneten Salzdichten ist in Tabelle 5 aufgeführt.

Aus der grafischen Auswertung der Daten ist ersichtlich, dass die Werte innerhalb der ersten 40 Minuten stark abfallen, dann aber bis zum Ende der Messungen nach über 5 Stunden nahezu konstant bleiben.

Auf dem Seitenstreifen ist kurzfristig eine geringfügige Erhöhung der Salzmenge festzustellen, die sich dann wieder auf den Ursprungswert von etwa 1 g/m² verringert. Das deutet darauf hin, dass im Gegensatz zur Feuchtsalzstreuung kein wesentlicher Quertransport von Salz stattfindet (Bild 16).

Aus Bild 17 ist zu erkennen, dass die relative Abnahme der Salzmenge in der Rollspur in den ersten 75 Minuten nach der Soleausbringung größer ist, aber dann bis zu 6 Stunden die gleiche Größenordnung hat.

Probe Nr.	Messort/Spur	Zeit nach dem Sprühen	Salzdichte in g/m ²
1	Rollspur rechter Fahrstreifen	8:25 Messstelle 1	7,57
2	Mitte rechter Fahrstreifen	nach dem Sprühen	5,54
3	Standspur links	08:40	0,72
4	Rollspur rechter Fahrstreifen	8:50 Messstelle 2	2,86
5	Mitte rechter Fahrstreifen	bereits überfahren	3,07
6	Standspur links		1,92
7	Rollspur rechter Fahrstreifen	9:20 Messstelle 3	0,48
8	Mitte rechter Fahrstreifen	Nullmessung	1,67
9	Standspur links		0,33
10	Rollspur rechter Fahrstreifen	9:40 Messstelle 1	2,95
11	Mitte rechter Fahrstreifen		2,99
12	Standspur links		1,08
13	Rollspur rechter Fahrstreifen	10:00 Messstelle 2	2,43
14	Mitte rechter Fahrstreifen		3,06
15	Standspur links		0,71
16	Rollspur rechter Fahrstreifen	11:05 Messstelle 2	2,86
17	Mitte rechter Fahrstreifen		2,85
18	Standspur links		1,10
19	Rollspur rechter Fahrstreifen	13:45 Messstelle 1	2,85
20	Mitte rechter Fahrstreifen		2,99

Tab. 5: Ermittelte Salzdichte auf den Messflächen am 25.03.2009

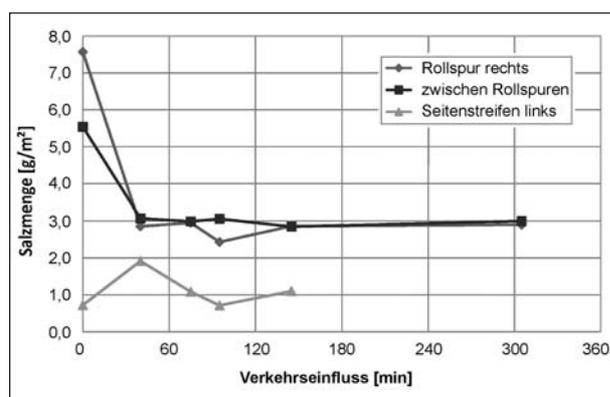


Bild 16: Verkehrseinfluss auf Salzmenge nach Solesprühung (20 g/m² » 4,3 g/m² NaCl)

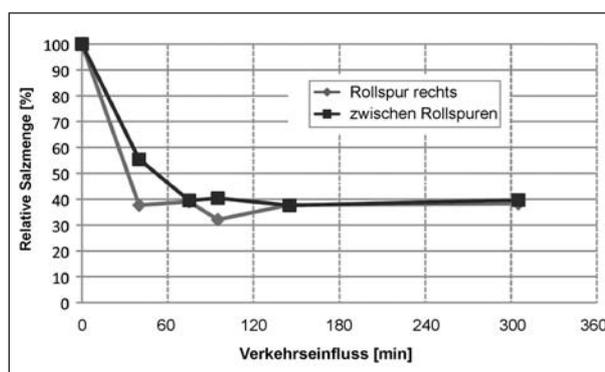


Bild 17: Relative Abnahme der Salzmenge auf dem rechten Fahrstreifen

5.2 Herford 16.04.2009

Für die Versuche stand eine Sprühmaschine des Typs SL-E der Firma Epoke zur Verfügung. An dem Gerät werden Kegelstrahl- und Weitstrahldüsen eingesetzt (Bild 18). Die Sole wurde in der Sprühdichte von 20 ml/m² mit einer Geschwindigkeit von etwa 60 km/h ausgebracht (Bild 10).

Aus den visuellen Beobachtungen während des Sprühvorganges war zu erkennen, dass zwischen dem Sprühstrahl der rechten Kegelstrahldüse und der anschließenden Weitstrahldüse eine große Lücke bestand, in deren Bereich eine Mindermenge ausgebracht wurde. Die Messungen der Salz-mengen erfolgten auf den vormarkierten Messflä-



Bild 18: Kegelstrahldüsen im Bereich der Fahrzeugbreite, Weitstrahldüsen für Breiten größer 2,50 m

Sprühdatum	16.04.2009
Sprühzeit	10:20 Uhr
Fahrbahntemperatur	29 °C
Fahrbahnbelag	Asphalt
Fahrbahnzustand bei Sprühung	trocken
Lufttemperatur	18 °C
Relative Luftfeuchte	38 %
Sprühmaschine	Epoke SL-E
Sprühdichte (Einstellwert)	20 ml/m ²
Sprühbreite	11,00 m
Sprühgeschwindigkeit	ca. 60 km/h
Sole	NaCl
Soledichte	1,172
Masseanteil NaCl	22,7 %
Messturnus	Nullmessung, 5, 40, 100 und 160 Min. nach Sprühung
Wetterverlauf	sonnig, warm

Tab. 6: Umfelddaten der Messungen am 16.04.2009 bei Herford

chen in Richtung Bad Oeynhausen (Bild 7). Zur Salzaufnahme wurden jeweils zwei Übergänge durchgeführt.

Nach dem Sprühvorgang und bei allen folgenden Messungen wurde von Messflächen auf drei Querschnittspositionen Salz aufgenommen:

1. Mitte des rechten Fahrstreifens,
2. rechte Rollspur des rechten Fahrstreifens,
3. linke Messfläche des Seitenstreifens.

Von der rechten Messfläche des Seitenstreifens wurde ab der 4. Messung kein Material mehr aufgenommen, da aus den Messwertanalysen hervorging, dass dort keine nennenswerte Salzmenge vorhanden war. Eine Übersicht der aus den Messwerten errechneten Salzdichten ist in Tabelle 8 zusammengestellt. Aus den Einzeldaten der jeweils zwei Messfelder wurde der Mittelwert gebildet und in Tabelle 7 zusammengestellt.

Die grafische Auswertung zeigt für die Rollspur bis zum Ende der Messungen nur eine relativ geringe Abnahme der Salzdichte durch die Verkehrsbelastung. Auch zwischen den Rollspuren ist insgesamt eine Verringerung der Salzdichte festzustellen (Bild 19). Zwischenzeitlich gab es geringfügige Erhöhun-

	Verkehrseinfluss/min				
	Nullmessung	5	40	100	160
Mitte Rechter Fahrstreifen	0,06	3,4	4,0	4,0	2,3
Rollspur rechter Fahrstreifen	0,04	6,6	6,3	5,6	5,3
Standspur links	0,06	2,7	2,4	1,0	

Tab. 7: Zusammenfassung der Messwerte vom 16.04.2009

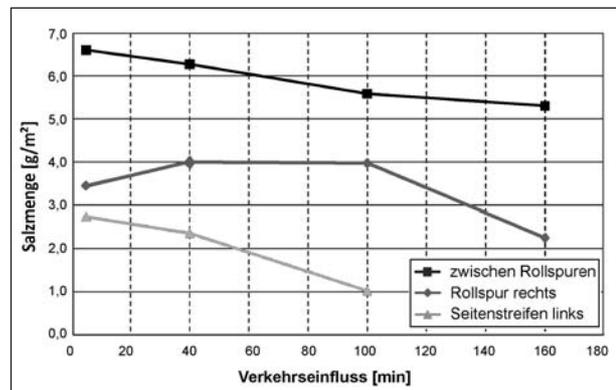


Bild 19: Verkehrseinfluss auf Salzmengen nach Solesprühung (20 ml/m² » 5,3 g/m² NaCl)

gen der Salzdichte, die durch Aufwirbelung des sichtbar getrockneten Salzes entstanden sein können.

Die relative Abnahme der Salzdichte beträgt nach 160 Minuten auf der Rollspur 20 % und auf der Mitte des rechten Fahrstreifens 35 %. Das sind wesentlich geringere Werte, als sie bei FS30-Streuung

beobachtet wurden. Der Verlauf der Messwerte auf dem Seitenstreifen zeigt deutlich, dass unter den gegebenen Randbedingungen kein Quertransport von Salz durch Verkehrseinwirkung nachzuweisen ist. Der relativ hohe Anfangswert ist damit begründet, dass über den Rand hinaus Sole ausgebracht wurde (Bild 10).

Probe	Messfeld	Messort/Spur	Zeiten	Salzdichte in g/m ²
1	1	Mitte rechter Fahrstreifen		0,07
2	Null	Rollspur rechter Fahrstreifen		0,05
3		Standspur links		0,07
4	2	Mitte rechter Fahrstreifen		0,06
5	Null	Rollspur rechter Fahrstreifen		0,04
6		Standspur links		0,06
7	3	Mitte rechter Fahrstreifen	Sperrung: 10:25 Uhr	3,79
8	nach Sole	Rollspur rechter Fahrstreifen		6,58
9		Standspur links		2,73
10	4	Mitte rechter Fahrstreifen		3,11
11	nach Sole	Rollspur rechter Fahrstreifen		6,62
12		Standspur links	Freigabe: 11:10 Uhr	2,75
13	5	Mitte rechter Fahrstreifen	Sperrung: 11:45 Uhr	4,92
14	1 h	Rollspur rechter Fahrstreifen		6,26
15		Standspur links		1,90
16	6	Mitte rechter Fahrstreifen		3,08
17	1 h	Rollspur rechter Fahrstreifen		6,27
18		Standspur links	Freigabe: 12:25 Uhr	2,81
19	7	Mitte rechter Fahrstreifen	Sperrung: 13:25 Uhr	3,15
20	2 h	Rollspur rechter Fahrstreifen		5,61
21		Standspur links		2,04
22	8	Mitte rechter Fahrstreifen		4,79
23	2 h	Rollspur rechter Fahrstreifen		5,55
24		Standspur links	Freigabe: 14:00 Uhr	0,00
25	9	Mitte rechter Fahrstreifen	Sperrung: 15:00 Uhr	2,25
26	3 h	Rollspur rechter Fahrstreifen		5,30
27		Standspur links		0,00
28	10	Mitte rechter Fahrstreifen		0,00
29	3 h	Rollspur rechter Fahrstreifen		0,00
30		Standspur links	Freigabe: 15:40 Uhr	0,00

Tab. 8: Ermittelte Salzdichte auf den Messflächen am 16.04.2009

5.3 Erkner 13./14.10.2009

Die Berliner Stadtreinigung setzt bei der Feuchtsalztechnologie seit vielen Jahren CaCl_2 -Lösung als Befeuchtungsmedium ein. Die CaCl_2 -Lösung wird aus geprülltem Ausgangsmaterial in Soleerzeugern selbst hergestellt. In Vorbereitung des Einsatzes von Solesprühmaschinen wurden Messungen durchgeführt, um die Liegezeit und den Einfluss auf die Fahrbahnreibwerte festzustellen.

Zur Messung der Liegezeit der CaCl_2 -Lösung wurde auf einer Länge von jeweils etwa 500 m mit Fahrzeugen, die bei den Berliner Stadtreinigungsbetrieben (BSR) eingesetzt werden, CaCl_2 -Lösung ausgebracht (Tabelle 9).

	Messung 1	Messung 2
Sprühdatum	13.10.2009	14.10.2009
Sprühzeit	10:25 Uhr	09:30 Uhr
Fahrbahntemperatur	8 °C	7 °C
Fahrbahnzustand bei Sprühung	trocken	trocken
Windstärke	2-3	2-3
Lufttemperatur	7 °C	6 °C
Relative Luftfeuchte	65 %	72 %
Sprühmaschine	Küpper-Weisser „Full Wet“	Schmidt „Straliq“
Sprühdichte (Einstellwert)	20 g/m ²	40 g/m ²
Sprühdichte (auf den Messflächen der Reibwertmessung)	50 g/m ²	40 g/m ²
Sprühbreite	7,5 m	11,25 m
Sprühgeschwindigkeit	ca. 60 km/h	ca. 60 km/h
Sole	CaCl_2	CaCl_2
Soledichte	1,166	1,166
Masseanteil CaCl_2	18,4 %	18,4 %
Messturnus	Nullmessung vor Sprühung, direkt nach Sprühung, nach 1, 2 und 20 Stunden	direkt nach Sprühung, nach 1, 2, 3 und 20 Stunden Verkehrseinwirkung.
Wetterverlauf	wechselnd bewölkt, leichter Temperaturanstieg, in der folgenden Nacht keine Niederschläge	wechselnd bewölkt, konstante Temperatur. In der 2. Stunde mittlere Niederschläge.

Tab. 9: Rahmenbedingungen der Salzmengenmessungen am 13./14.10.2009 im Erkner

Bei beiden Solesprühungen war deutlich zu sehen, dass die Querverteilung der Sole nicht gleichmäßig war (vgl. Bild 11, Bild 12, Kapitel 4.4).

Diese Ungleichmäßigkeit bei der Sprühung spiegelt sich auch in den Messwerten wider. Für die Bestimmung der Liegezeit ergibt sich daraus, dass das Ausgangsniveau der Salzmenge auf der Fahrbahn unmittelbar nach der Sprühung ebenfalls sehr unterschiedlich war und nicht den angestrebten Sollwerten entsprach.

Die eingestellten Sprühdichten entsprechen unter Berücksichtigung der Soledichte und der sich daraus ergebenden Solekonzentration folgenden Salzmengen:

- 20 g/m² CaCl_2 -Sole → 3,68 g/m² CaCl_2 -Salz,
- 40 g/m² CaCl_2 -Sole → 7,36 g/m² CaCl_2 -Salz.

Die Messung 1 fand unter Bedingungen statt, die dazu geeignet waren, die Liegedauer von Streustoffen ohne den Einfluss von Niederschlägen zu bestimmen. Die gemessenen Salzmengen vom Zeitpunkt 0 (unmittelbar nach Streuung) bis zu 22 Stunden Verkehrseinfluss sind in Bild 20 dargestellt.

An den Messwerten ist die ungleichmäßige Querverteilung, wie sie auch in Bild 20 sichtbar ist, deutlich zu erkennen. In der Mitte des Fahrstreifens wird etwa die dreifache Salzmenge ausgebracht als in der rechten Rollspur. Auf dem Seitenstreifen befand sich unmittelbar nach der Sprühung kaum Streustoff. Auch im weiteren zeitlichen Verlauf wurden nur sehr geringe Streustoffmengen dorthin verfrachtet. Aus diesem Grund wurde bei den folgenden Messungen auf die Bestimmung der Salzmengen auf dem Seitenstreifen verzichtet.

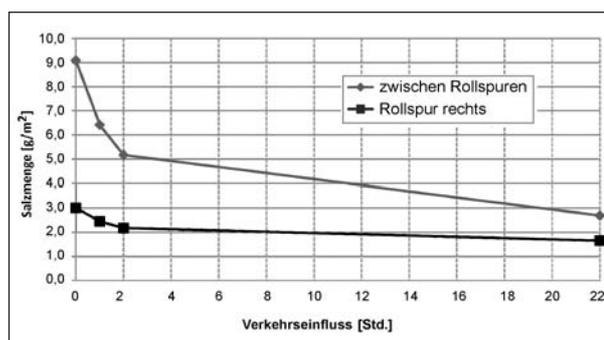


Bild 20: Gemessene Salzmengen in Abhängigkeit von der Dauer des Verkehrseinflusses (Solesprühung 20 g/m² am 13.10.2009)

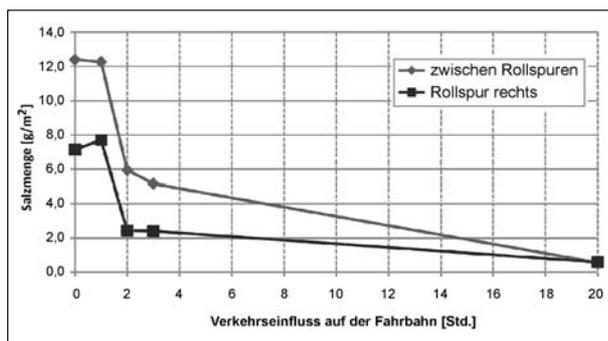


Bild 21: Gemessene Salzmengen in Abhängigkeit von der Dauer des Verkehrseinflusses (Solesprühung 40 g/m² am 14.10.2009)

Während der Messung 2 trat nach der Solesprühung mehrfach leichter bis mittlerer Niederschlag auf (Bild 21). Das ist insbesondere an der starken Abnahme der Werte zwischen der ersten und zweiten Stunde Verkehrseinfluss ablesbar. In diesem Zeitraum traten die stärksten Niederschläge auf.

Die Ursache für die starke Abnahme der Salzmenge liegt in diesem Fall darin, dass durch den Niederschlag ein Flüssigkeitsfilm in der Stärke auf der Fahrbahn entsteht, dass Flüssigkeit durch die Verdrängungs- und Pumpwirkung der Reifen von der Fahrbahn befördert wird. Unabhängig davon ist bemerkenswert, dass während der niederschlagsfreien Zeit in der ersten Stunde nach der Solesprühung kaum Streustoff von der Fahrbahn befördert wurde.

Am Ende der Messungen nach 20 Stunden Verkehrseinwirkung war die Fahrbahn feucht und es fiel Niederschlag. Messungen ergaben, dass sich zu diesem Zeitpunkt ein Flüssigkeitsfilm von 1,9 mm Stärke in den Rollspuren befand. Bei derartigen Flüssigkeitsmengen ist neben der Verdünnung auch mit Spülfekten zu rechnen.

5.4 Herford 25./26.11.2009

Die erste Messung wurde am 25.11.2009 unmittelbar nach dem Sprühen der Sole durchgeführt. Auf eine Messung vor dem Sprühen wurde verzichtet, da in den Tagen vor den Messungen kein Salz aufgebracht wurde. Die erste Messung (0 Min.) zeigt, dass die Sole relativ gleichmäßig zwischen Rollspur und Fahrbahnmitte verteilt war. Nur ein sehr geringer Teil der Sole gelangte auf den Seitenstreifen. In den ersten 60 Minuten nimmt die Salzmenge am stärksten ab. Im Gegensatz zur FS30-Streuung ist keine Salzverfrachtung auf den Seitenstreifen messbar (Bild 22). Es ist anzunehmen, dass

	Messung 1	Messung 2
Sprühdatum	25.11.2009	26.11.2009
Sprühzeit	08:54 Uhr	09:08 Uhr
Fahrbahntemperatur	11 °C	12 °C
Fahrbahnbelag	Asphalt	Asphalt
Fahrbahnzustand zur Sprühzeit	leicht feucht	leicht feucht
Lufttemperatur	12 °C	9 °C
Relative Luftfeuchte	68 %	70 %
Sprühmaschine	Epoke SL-E	Epoke SL-E
Sprühdichte (Einstellwert)	20 ml/m ²	20 ml/m ²
Sprühbreite	7,50 m	7,50 m
Sprühgeschwindigkeit	ca. 60 km/h	ca. 60 km/h
Sole	NaCl	NaCl
Soledichte	1,172	1,172
Masseanteil NaCl	22,7 %	22,7 %
Messturnus	0, 60, 240 Min. Verkehrseinwirkung	0, 60, 240 Min. Verkehrseinwirkung
Wetterverlauf	bewölkt, später leichter Niederschlag	bewölkt, später leichter Niederschlag

Tab. 10: Umfeldbedingungen der Messungen in Herford am 25. und 26.11.2009

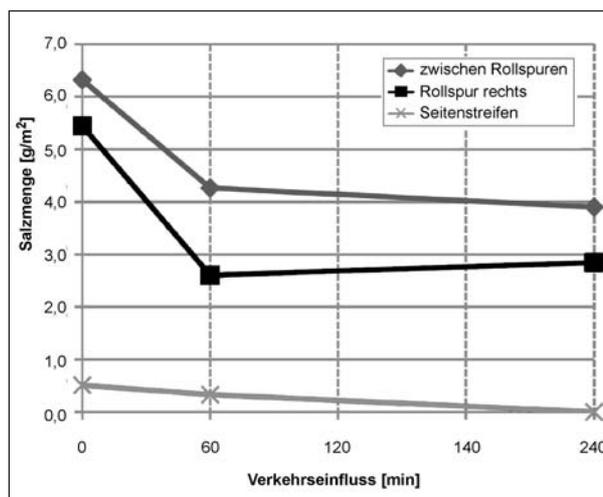


Bild 22: Herford 25.11.2009 – Salzmengen auf der Fahrbahn in Abhängigkeit von der Verkehrseinwirkung

das Salz durch das Abrollen der Reifen längs der Fahrbahn transportiert wird und auch an den Reifen haften bleibt. Nach weiteren 3 Stunden Verkehrseinwirkung ist keine wesentliche Verringerung der

Salzmengen zu erkennen. Am Folgetag konnte kein Salz mehr nachgewiesen werden, da nach der letzten Messung am 25.11.2010 Niederschlag einsetzte.

Am Folgetag wurde an gleicher Stelle erneut Sole ausgebracht. Nach etwa 120 Minuten Verkehrseinfluss setzte Niederschlag ein. Wie aus dem Diagramm zu erkennen ist, beschleunigte sich der Salztransport nach dem Niederschlagsereignis erheblich (Bild 23). Es war auch messbar, dass ein Teil des Salzes mit der Fahrbahnflüssigkeit auf den Seitenstreifen verfrachtet wurde. Flüssigkeit auf der Fahrbahn ist der wesentliche Faktor für die Verfrachtung von Taustoff auf den Seitenstreifen und darüber hinaus.

Aus den Messungen dieses Versuchstages wurden für das weitere Messprogramm folgende Schlussfolgerungen gezogen:

1. Um eine Vergleichbarkeit der Messungen zu gewährleisten, dürfen während der Messperiode keine nennenswerten Niederschläge auftreten. Das entspricht auch dem Ziel, reproduzierbare Aussagen über die Liegezeit von Taustoffen beim präventiven Einsatz zu erhalten.
2. Bei Soleanwendung kann auf Messungen auf dem Seitenstreifen verzichtet werden, da durch den Verkehr keine nennenswerte Querverteilung außerhalb der Fahrbahn erfolgt.

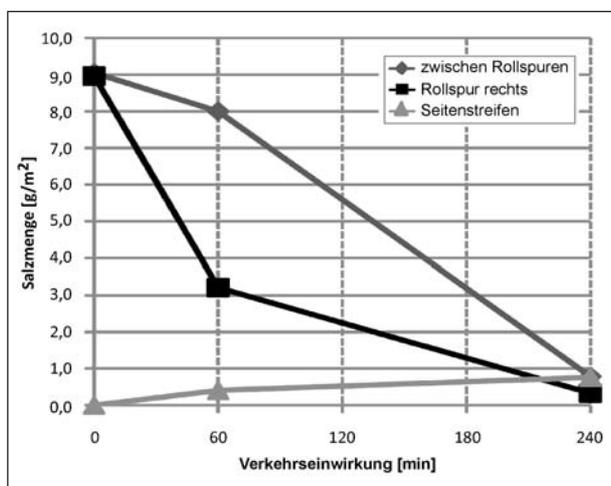


Bild 23: Herford 26.11.2009 – Salzmenge auf der Fahrbahn in Abhängigkeit von der Verkehrseinwirkung – Salzverfrachtung

5.5 Rottweil 03./04.03.2010

Die Messungen in Rottweil fanden unter Bedingungen statt, wie sie für präventive Einsätze typisch sind. Die Fahrbahn war leicht feucht und die Nachttemperaturen fielen unter 0 °C. Aus diesem Grund war die Fahrbahn auch an den Vortagen vor der ersten Messung gestreut worden. Das ließ sich auch an der vor dem Sprühen gemessenen Salzmenge erkennen, die am 03.03. bei etwa 4 g/m² und am 04.03. bei 6 g/m² lag (Bild 24, Bild 25). Für beide Tage war charakteristisch und besonders bemerkenswert, dass der Salzverlust nach einer Stunde relativ gering war und sich die Salzmenge danach auf ungewöhnlich hohem Niveau hielt. Zwischen dem ersten und zweiten Messtag waren nach 21 Stunden Verkehrseinwir-

	Messung 1	Messung 2
Sprühdatum	03.03.2010	04.03.2010
Sprühzeit	10:05 Uhr	09:42 Uhr
Fahrbahntemperatur	-1 °C	3 °C
Fahrbahnbelag	Asphalt	Asphalt
Fahrbahnzustand zur Sprühzeit	feucht	feucht
Lufttemperatur	-2,5 °C	-2 °C
Relative Luftfeuchte	53 %	55 %
Sprühmaschine	Küpper-Weisser „Full Wet“	Küpper-Weisser „Full Wet“
Sprühdichte (Einstellwert)	20 g/m ²	20 g/m ²
Sprühbreite	7,50 m	7,50 m
Sprühgeschwindigkeit	ca. 50 km/h	ca. 50 km/h
Sole	NaCl	NaCl
Soledichte	1,180	1,180
Masseanteil NaCl	24,8 %	24,8 %
Messturnus	Restsalz vor Sprühen, 0, 60, 240, 1.260 Min. Verkehrseinwirkung	Restsalz vor Sprühen, 0, 60, 240 Min. Verkehrseinwirkung
Wetterverlauf	bewölkt, später leichter Niederschlag	bewölkt, später leichter Niederschlag

Tab. 11: Umfeldbedingungen der Messungen in Rottweil am 3. und 4. März 2010

kung noch 6 g/m^2 vorhanden. Am dritten Messtag mussten die Messungen abgebrochen werden, da die Messeinrichtung wegen der niedrigen Temperaturen nicht mehr korrekt funktionierte. Das ist da-

durch bedingt, dass bei den Messungen mit Wasser ohne Frostschutz gearbeitet werden muss, welches dann auf der Fahrbahn und im Messgerät gefriert.

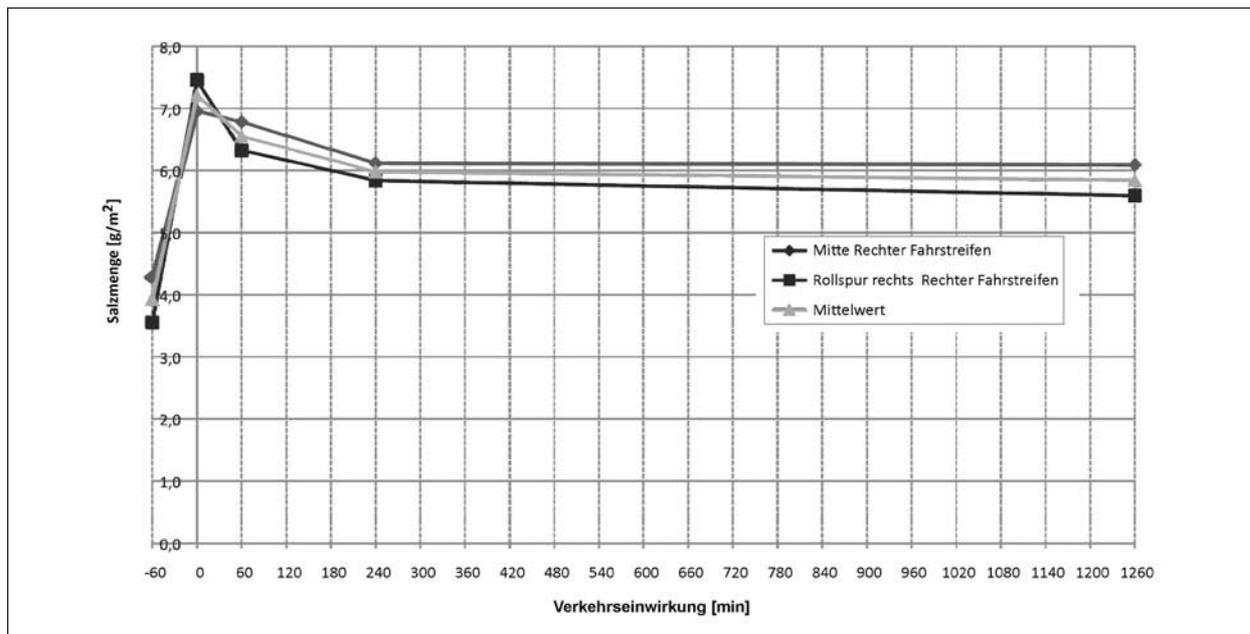


Bild 24: Rottweil 03./04.03.2010 – Salzmenge auf der Fahrbahn in Abhängigkeit von der Verkehrseinwirkung

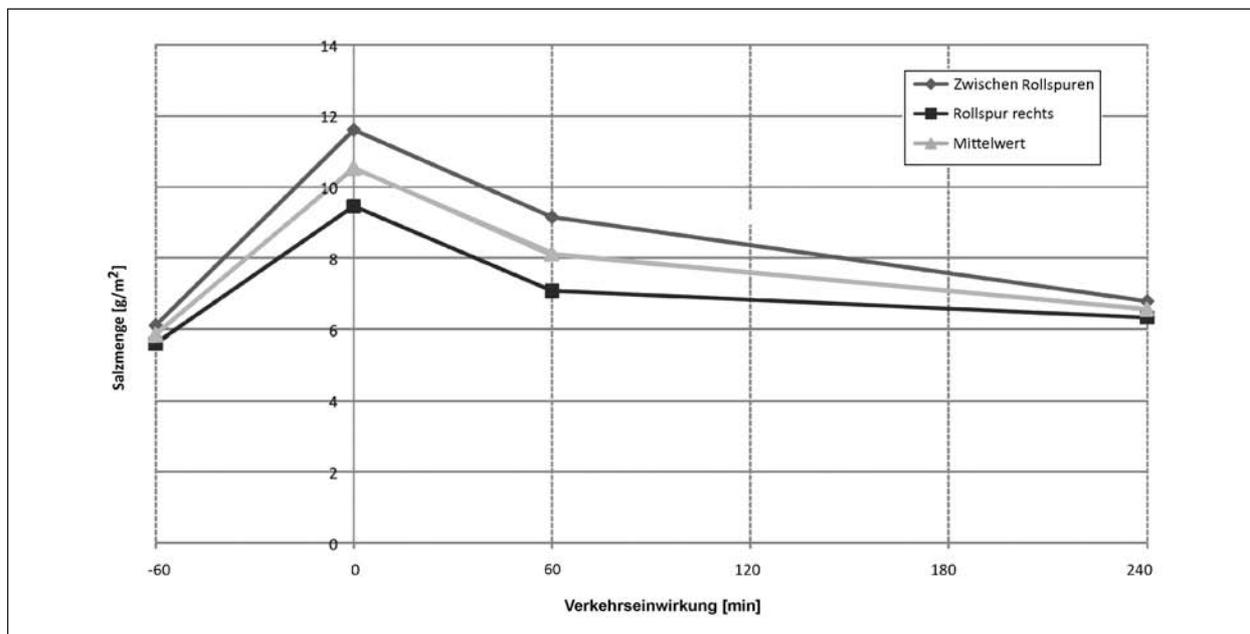


Bild 25: Rottweil 04.03.2010 – Salzmenge auf der Fahrbahn in Abhängigkeit von der Verkehrseinwirkung

5.6 Mendig 10./11.03. 2010

Die AM Mendig verwendet CaCl₂-Lösung im Winterdienst. Diese Lösung kam auch bei den Liege-

	Messung 1	Messung 2
Sprühdatum	10.03.2010	11.03.2010
Sprühzeit	09:27 Uhr	09:57 Uhr
Fahrbahntemperatur	-1 °C	3 °C
Fahrbahnbelag	Asphalt	Asphalt
Fahrbahnzustand zur Sprühzeit	feucht	feucht
Lufttemperatur	-2,5 °C	-2 °C
Relative Luftfeuchte	21 %	62 %
Sprühmaschine	Küpper-Weisser „Kombi Wet“	Küpper-Weisser „Kombi Wet“
Sprühdichte (Einstellwert)	20 g/m ²	20 g/m ²
Sprühbreite	7,50 m	7,50 m
Sprühgeschwindigkeit	ca. 60 km/h	ca. 60 km/h
Sole	CaCl ₂	CaCl ₂
Soledichte	1,180	1,180
Masseanteil CaCl ₂	19,9 %	19,9 %
Messturnus	Restsalz vor Sprühen, 0, 60, 240, 1.260 Min. Verkehrseinwirkung	Restsalz vor Sprühen, 0, 60, 240 Min. Verkehrseinwirkung
Wetterverlauf	leicht bewölkt	leicht bewölkt

Tab. 12: Umfelddaten der Messungen in Mendig am 10. und 11.3.2010

zeitmessungen zum Einsatz. Die Salzlösung wurde mit einem Kombinationsstreuer ausgebracht. Vor der Ausbringung der Sole wurden an beiden Messorten Salzmengenmessungen durchgeführt. Es wurden bei beiden Messungen Salzmengen zwischen 3 und 4 g/m² festgestellt. Bei beiden Messungen ist nach 60 Minuten Verkehrseinwirkung nur wenig Salzverlust bzw. zwischen den Rollspuren sogar eine geringe Zunahme der Salzmengen festzustellen. Die Messwerte bleiben auch nach 240 bzw. 1.260 Minuten auf hohem Niveau (Bild 26, Bild 27).

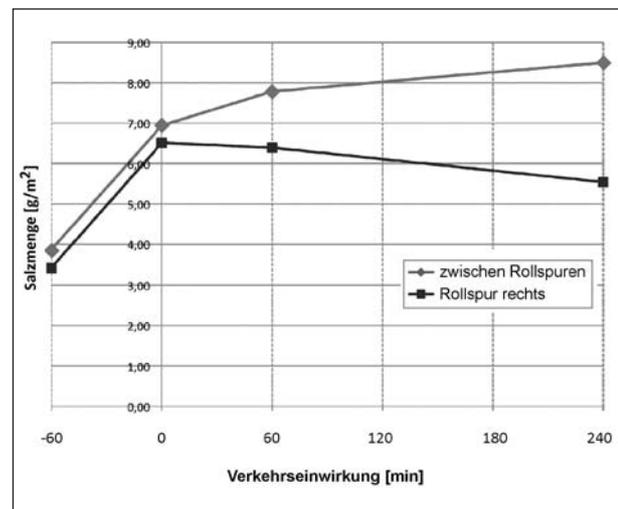


Bild 27: Mendig 10.03.2010 – Salzmengen auf der Fahrbahn in Abhängigkeit von der Verkehrseinwirkung

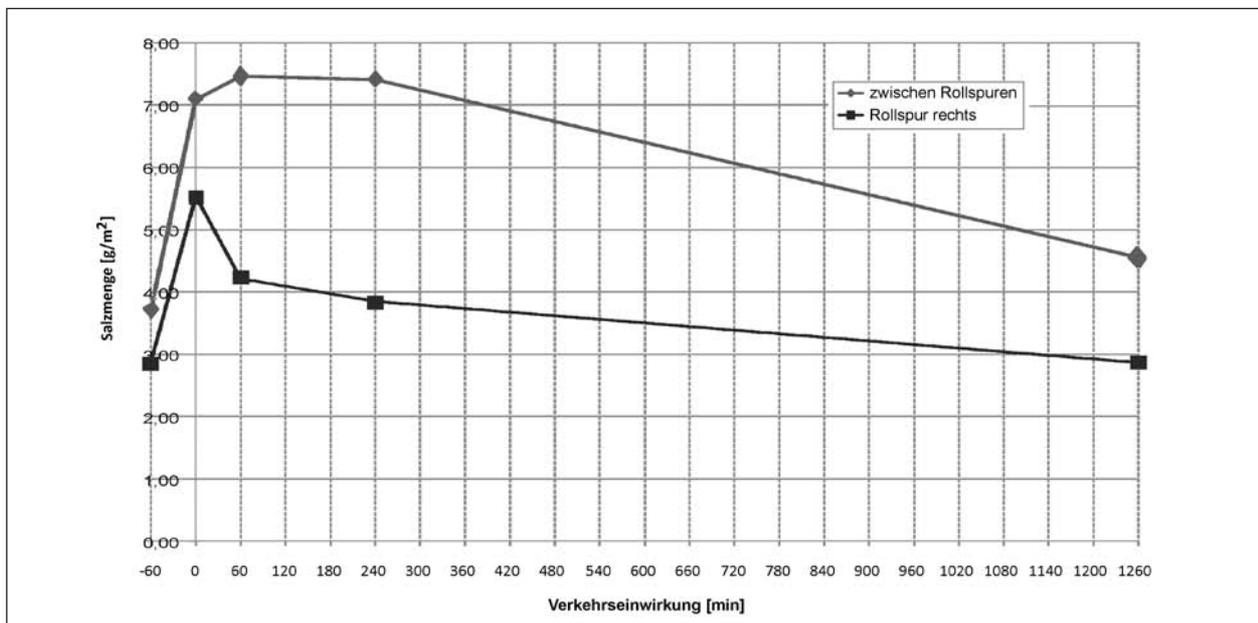


Bild 26: Mendig 11.03.2010 – Salzmengen auf der Fahrbahn in Abhängigkeit von der Verkehrseinwirkung

5.7 Herford 18.05.2010

Die Messungen auf der stark befahrenen Autobahn zeigen den charakteristischen starken Abfall der Salzmenge nach 60 Minuten. Im weiteren Verlauf wurde eine relativ konstante Salzmengeverring-

Sprühdatum	18.05.2010
Sprühzeit	08:40 Uhr
Fahrbahntemperatur	15 °C
Fahrbahnbelag	Asphalt
Fahrbahnzustand zur Sprühzeit	trocken
Lufttemperatur	9 °C
Relative Luftfeuchte	72 %
Sprühmaschine	Epoke SL-E
Sprühdichte (Einstellwert)	20 ml/m ²
Sprühbreite	7,50 m
Sprühgeschwindigkeit	ca. 60 km/h
Sole	NaCl
Soledichte	1,172
Masseanteil NaCl	22,7 %
Messturnus	Restsalz vor Sprühen, 0, 60, 240, 1.260 Min. Verkehrseinwirkung
Wetterverlauf	leicht bewölkt

Tab. 13: Umfelddaten der Messungen am 18.5.2010 in Herford

ung gemessen. Sie liegt im Durchschnitt bei 0,06 g/m²h (Bild 28). Ungewöhnlich ist der stärkere Abfall der Salzmenge zwischen den Rollspuren in dem Zeitraum zwischen 60 und 1.260 Minuten.

Die Fahrbahnoberfläche war kurz vor den Messungen erneuert worden und hatte in der Rollspur noch eine relativ hohe Oberflächentexturtiefe von 1,02 mm.

5.8 Mendig 14. bis 17.06.2010

5.8.1 Überblick über die Messperiode

Vom 14. bis 17. Juni 2010 wurden mehrere unterschiedliche Messungen durchgeführt. Zum einen wurden direkte Vergleiche der Liegezeit zwischen FS30 und Sole durchgeführt. Dazu wurden auf unterschiedlichen Abschnitten am gleichen Tag beide Streustoffe ausgebracht. Damit war es möglich, dass beide Streutechnologien unter gleichen Umfeldbedingungen bewertet wurden. Auf der A 61 bei Mendig war es außerdem möglich, Messungen auf Beton- und Asphaltfahrbahnen durchzuführen. Bei allen Messungen in dieser Woche waren die Salzmenge nach vier Stunden Verkehrseinwirkung so gering (ca. 1 g/m²), dass auf die Messungen am Folgetag verzichtet wurde. Die am 17.06.2010 begonnenen Messungen mussten wegen einsetzenden Niederschlags abgebrochen werden. Die Messergebnisse waren nicht verwertbar.

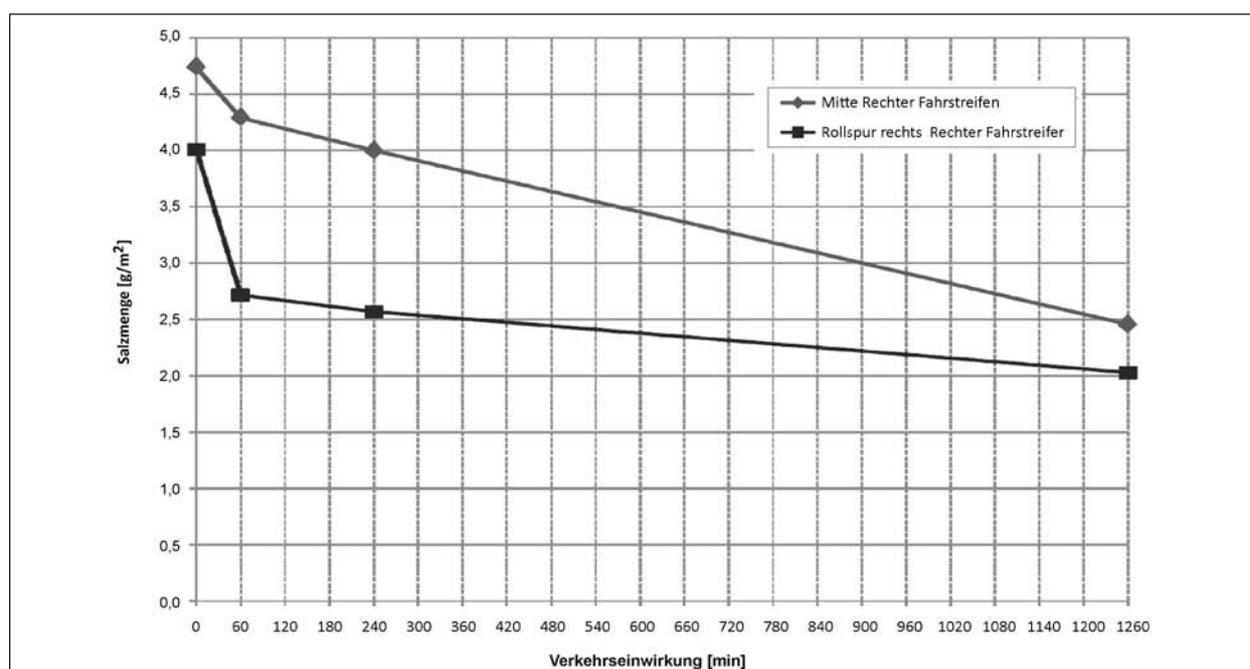


Bild 28: Herford 18.05.2010 – Salzmenge auf der Fahrbahn in Abhängigkeit von der Verkehrseinwirkung

5.8.2 Mendig 14.06.2010

Auf die Messung unmittelbar nach dem Streuvorgang wurde verzichtet. Aus diesem Grund wird für diesen Zeitpunkt eine Salzmenge von 7,6 g/m² angenommen. Bei der gewählten Streudichte von 10 g/m² FS30 entspricht das der Sollmenge. Nach 60 Minuten ist eine erhebliche Verringerung der Salzmenge zu verzeichnen (Bild 29). Das Feuchtsalz war unter den gegebenen Bedingungen innerhalb von wenigen Minuten abgetrocknet. Nach vier Stunden Verkehrseinwirkung war ein Restwert von ca. 1 g/m² messbar.

Sprühdatum	14.06.2010
Sprühzeit	10:00 Uhr
Fahrbahntemperatur	28 °C
Fahrbahnbelag	Asphalt
Fahrbahnzustand zur Sprühzeit	trocken
Lufttemperatur	17 °C
Relative Luftfeuchte	47 %
Sprühmaschine	Küpper – Weisser Kombi-Wet
Sprühdichte (Einstellwert)	20 g/m ²
Sprühbreite	7,50 m
Arbeitsgeschwindigkeit	ca. 60 km/h
Sole	CaCl ₂
Soledichte	1,180
Masseanteil CaCl ₂	19,9 %
Messturnus	0, 60, 240 Min. Verkehrseinwirkung
Wetterverlauf	wolkenlos

Tab. 14: Umfelddaten der Messungen am 14.6.2010 in Mendig

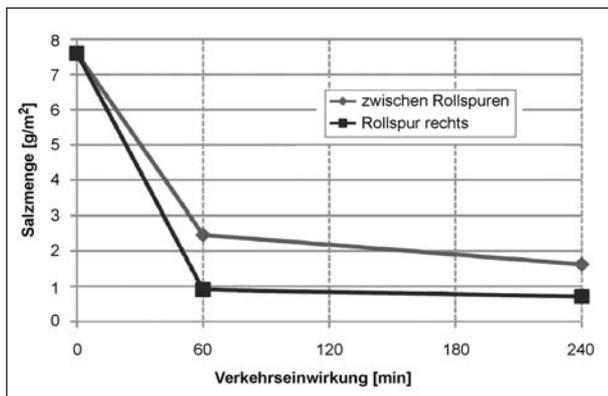


Bild 29: Mendig 14.06.2010 – Salzmenge nach FS30-Streuung in Abhängigkeit von der Verkehrseinwirkung

5.8.3 Mendig 15.06.2010

Für die Liegezeitmessung wurden 20 g/m² CaCl₂-Sole ausgebracht. Der Salzgehalt entspricht etwa 4 g/m². Unmittelbar nach der Sprühung wurden jedoch nur etwa 2 g/m² gemessen (Bild 30). Nach einer Stunde war davon noch etwa 1 g/m² vorhanden. Bei der Bewertung des Salzverlustes ist zu berücksichtigen, dass an diesem Tag durch intensive Sonneneinstrahlung eine sehr schnelle Auftrocknung der Salzlösung erfolgte. Die relative Luftfeuchtigkeit sank auf Werte unter 35 %. Dabei bindet auch CaCl₂-Sole keine Flüssigkeit mehr.

Sprühdatum	15.06.2010
Sprühzeit	09:15 Uhr
Fahrbahntemperatur	18 °C
Fahrbahnbelag	Asphalt
Fahrbahnzustand zur Sprühzeit	trocken
Lufttemperatur	15 °C
Relative Luftfeuchte	61 %
Sprühmaschine	Küpper – Weisser Kombi-Wet
Sprühdichte (Einstellwert)	20 g/m ²
Sprühbreite	7,50 m
Arbeitsgeschwindigkeit	ca. 60 km/h
Sole	CaCl ₂
Soledichte	1,180
Masseanteil CaCl ₂	19,9 %
Messturnus	0, 60, 240 Min. Verkehrseinwirkung
Wetterverlauf	leicht bewölkt

Tab. 15: Umfelddaten der Messungen am 15.6.2010 in Mendig

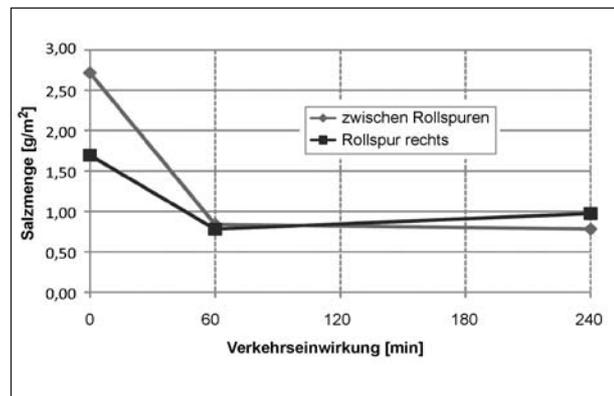


Bild 30: Mendig 15.06.2010 – Salzmenge nach Soleinsatz in Abhängigkeit von der Verkehrseinwirkung

5.8.4 Mendig 16.06.2010

Am 16.06.2010 wurden bei wolkenlosem Wetter auf unterschiedlichen Fahrbahnabschnitten parallel zwei Messzyklen durchgeführt.

	Messung 1	Messung 2
Streu-, Sprühdatum	16.06.2010	16.06.2010
Sprühzeit	07:45 Uhr	10:35 Uhr
Fahrbahntemperatur	20 °C	26 °C
Fahrbahnbelag	Beton	Beton
Fahrbahnzustand zur Sprühzeit	trocken	trocken
Lufttemperatur	12 °C	17 °C
Relative Luftfeuchte	54 %	28 %
Sprühmaschine	Küpper-Weisser „Kombi Wei“	
Streu-, Sprühdichte (Einstellwert)	10 g/m ² FS30	20 g/m ² Sole
Sprühbreite	7,50 m	7,50 m
Sprühgeschwindigkeit	ca. 60 km/h	ca. 60 km/h
Sole	CaCl ₂	CaCl ₂
Soledichte	1,180	1,180
Masseanteil CaCl ₂	19,9 %	19,9 %
Messturnus	0, 60, 240, Min. Verkehrseinwirkung	0, 60, 240 Min. Verkehrseinwirkung
Wetterverlauf	wolkenlos	wolkenlos

Tab. 16: Umfelddaten bei den Messungen am 16.6.2010 in Mendig

Aus dem Vergleich der beiden Liegezeitdiagramme (Bild 31, Bild 32) ist deutlich zu erkennen, dass Sole eine längere Liegezeit aufweist.

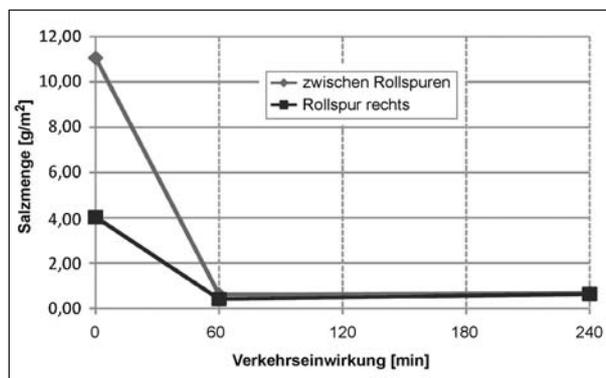


Bild 31: Mendig 16.06.2010 – Salzmenge nach FS30-Streuung in Abhängigkeit von der Verkehrseinwirkung

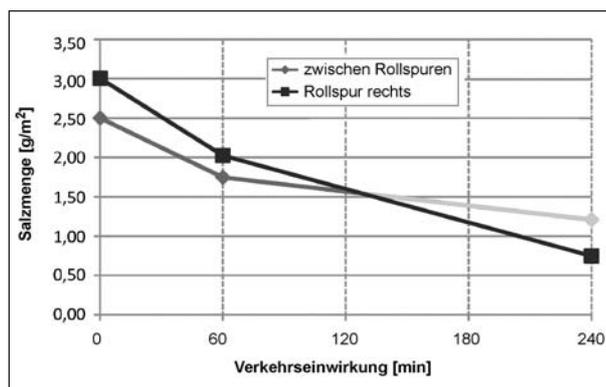


Bild 32: Mendig 16.06.2010 – Salzmenge nach Soleinsatz in Abhängigkeit von der Verkehrseinwirkung

5.9 Erkner 12./13.10.2010

Die Messungen am 12. und 13. Oktober 2010 dienen dem Vergleich der Liegezeiten von FS30 und FS100 unter nahezu identischen Bedingungen. Die Messungen bestätigten die längeren Liegezeiten des in Form von Salzlösung (FS100) ausgebrachten Salzes sehr deutlich.

Bei den Liegezeitmessungen mit FS30 sind sehr hohe Salzverluste innerhalb der ersten 60 Minuten zu verzeichnen. Gleichzeitig wurde durch Messungen auf dem Seitenstreifen sichtbar, dass der Streustoff dorthin verfrachtet wurde (Bild 33, Bild 34).

	Messung 1	Messung 2
Streu-, Sprühdatum	12.10.2010	13.10.2010
Streu-, Sprühmedium	FS30	FS100
Streu-, Sprühzeit	08:25 Uhr	10:25 Uhr
Fahrbahntemperatur	7 °C	7 °C
Fahrbahnbelag	Beton	Beton
Fahrbahnzustand zur Streu-, Sprühzeit	trocken	trocken
Lufttemperatur	5,9 °C	16,2 °C
Relative Luftfeuchte	74,8 %	
Sprühmaschine	Küpper-Weisser „Kombi Wet“	Küpper-Weisser „Kombi Wet“
Streu-, Sprühdichte (Einstellwert)	10 g/m ² FS30 (NaCl + NaCl-Sole)	20 g/m ² Sole (NaCl)
Streu-, Sprühbreite	6,00 m	11,50 m
Streu-, Sprühgeschwindigkeit	ca. 60 km/h	ca. 60 km/h
Sole	NaCl	NaCl
Soledichte	1,152	1,152
Masseanteil NaCl	20,3 %	20,3 %
Messturnus	Direkt nach Streuung, nach 1 und 4 Stunden Verkehrseinwirkung.	Direkt nach Streuung, nach 1 und 4 Stunden Verkehrseinwirkung.
Wetterverlauf	Nebel, Hochnebel, später sonnige Abschnitte, kein Niederschlag	Hochnebel, später sonnige Abschnitte, kein Niederschlag

Tab. 17: Umfelddaten bei Messungen am 12. und 13.10.2010 in Erkner

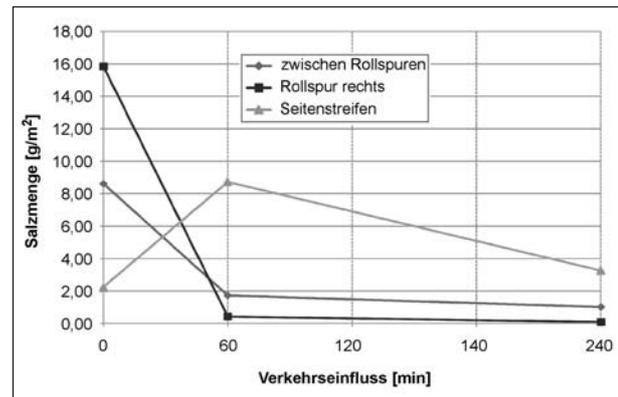


Bild 33: Erkner 12.10.2010 – Salzungen nach FS30-Streuung in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss

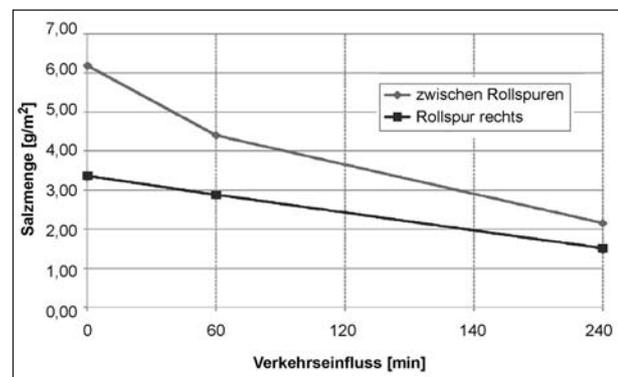


Bild 34: Erkner 13.10.2010 – Salzungen nach Soleinsatz in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss

5.10 Herford 15.12.2010

Die Messungen am 15.12.2010 fanden unter winterlichen Bedingungen statt (Tabelle 18). Die Fahrbahn war feucht bis nass. An den Fahrbahnrändern befanden sich noch Schneereste. Nach den Einsatzaufzeichnungen wurden an diesem Tag vor Versuchsbeginn bereits zwei Sprüheinsätze durchgeführt:

- 02:30 Uhr – 20 ml/m²,
- 06:20 Uhr – 10 ml/m².

Sprühdatum	15.12.2010
Sprühzeit	09:57 Uhr
Fahrbahntemperatur	-2,6 °C
Fahrbahnbelag	Asphalt
Fahrbahnzustand zur Sprühzeit	nass
Lufttemperatur	-4 °C
Relative Luftfeuchte	96 %
Sprühmaschine	Epoke SL-E
Sprühdichte (Einstellwert)	20 ml/m ²
Sprühbreite	11,00 m
Sprühgeschwindigkeit	ca. 80 km/h
Sole	NaCl
Soledichte	1,172
Masseanteil NaCl	22,7 %
Messturnus	Restsalz vor Sprühen, 0, 60, 180 Min. Verkehrseinwirkung
Wetterverlauf	bewölkt, niederschlagsfrei

Tab. 18: Umfelddaten bei Messungen am 15.12.2010 in Herford

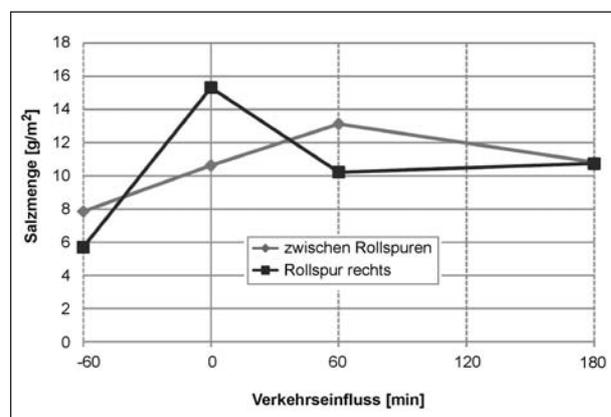


Bild 35: Herford 15.12.2010: Salzmenge nach Soleeinsatz in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss

Auch am Vortag wurden mehrere Sprüheinsätze gefahren. Die vor Beginn der Versuche gemessenen Restsalzmengen sind mit 6 bzw. 7,5 g/m² entsprechend hoch.

Nach 60 Minuten Verkehrseinfluss hat die Salzmenge in der Rollspur deutlich abgenommen, während zwischen den Rollspuren ein Zuwachs gemessen wurde (Bild 35). Das ist mit der starken Fahrbahnfeuchte zu erklären, durch die mit Sprühfahnenbildung eine Querverteilung des Salzes erfolgt. Salz wird in dieser Phase mit der Feuchtigkeit tendenziell aus den Rollspuren in Richtung der Flächen außerhalb der Rollspuren verdrängt. Am Ende der Messperiode von insgesamt 3 Stunden zeigt sich eine gleichmäßige Verteilung auf hohem Niveau. Weitere Messungen wurden an diesem Tag wegen einsetzenden Niederschlags nicht durchgeführt.

5.11 Erkner 11.01.2011

Der Versuch am 11.01.2011 wurde durchgeführt, um die Salzverluste auf der Fahrbahn nach einem Sprühvorgang mit geringer Dosierung zu messen (Tabelle 19). Das vor dem Sprühvorgang gemessene

Streu-, Sprühdatum	11.01.2011
Sprühzeit	10:25 Uhr
Fahrbahntemperatur	2,4 °C
Fahrbahnbelag	Beton
Fahrbahnzustand zur Sprühzeit	feucht
Lufttemperatur	1,6 °C
Relative Luftfeuchte	85 %
Sprühmaschine	Küpper-Weisser „Kombi Wet“
Streu-, Sprühdichte (Einstellwert)	10 g/m ²
Streubreite	7,50 m
Streugeschwindigkeit	ca. 60 km/h
Sole	NaCl
Soledichte	1,163
Masseanteil NaCl	21,5 %
Messturnus	0, 60, 240, Min. Verkehrseinwirkung
Wetterverlauf	wolkig, niederschlagsfrei, durchgängig hohe Luftfeuchte

Tab. 19: Umfelddaten bei Messungen am 11.01.2011 in Erkner

sene Ausgangsniveau war mit 3,0 bzw. 4,0 g/m² relativ hoch (Bild 36). Das rührt daher, dass am gleichen Tag gegen 4:00 Uhr eine Streuung mit 10 g/m² FS30 stattfand und auch an den Vortagen mehrere Streuungen zur Glättevermeidung durchgeführt wurden. Die hohen Restsalzmengen deuten jedoch auch darauf hin, dass sich nach mehreren Streuungen ohne wesentliche Niederschläge deutlich größere Salzmengen über mehrere Stunden auf der Fahrbahn halten, als das nach einmaligen Streuungen der Fall ist.

Die Messung unmittelbar nach dem Sprühen zeigte, dass der Streustoff gleichmäßig, aber mit zu geringer Dosierung ausgebracht wurde. Der Sollwert für die Salzmenge beträgt bei der Sprühdichte von 10 g/m² Sole 2,2 g/m² NaCl. Aus den Messungen wurde ein Istwert von 1,3 g/m² berechnet. Der gemessene Salzverlust in der Rollspur betrug innerhalb einer Stunde 1,4 g/m². Damit war hier innerhalb einer Stunde die ausgebrachte Menge von der Fahrbahn verschwunden. Zwischen den Rollspuren trat der gleiche Verlust erst innerhalb von 4 Stunden ein.

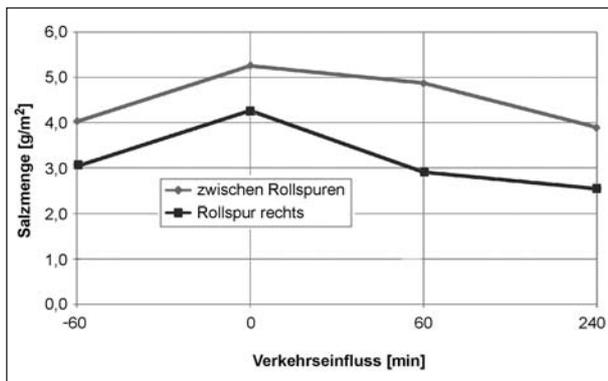


Bild 36: Erkner 11.01.2011 – Salzmengen nach Soleeinsatz in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss

5.12 Erkner 12.01.2011

Der Versuch wurde durchgeführt, um die Abnahme der Salzmengen auf der Fahrbahn unmittelbar nach dem Sprühen in kurzen Abständen zu messen. Die Zeiten von 7 und 16 Minuten ergaben sich aus den technologisch möglichen Umlaufzeiten bei Abbau und Aufbau der Sperrung (Tabelle 20).

Während der Zeiträume der Verkehrsbelastung von 7 und 9 Minuten wurden die Fahrzeuge auf dem rechten Fahrstreifen gezählt:

	Lkw (Anzahl)	Pkw (Anzahl)
1. Phase – 7 Minuten	26	27
2. Phase – 9 Minuten	29	35

Die vor dem Sprühen gemessenen Restsalzmengen waren mit 0,3 bzw. 0,4 g/m² sehr klein. Die unmittelbar nach dem Sprühen gemessenen Werte wiesen sehr große Unterschiede zwischen „Rollspur“ und „rechter Rollspur“ auf. Das deutet auf eine schlechte Soleverteilung hin. Bei den Folgemessungen wurden in der Rollspur höhere Werte

Sprühdatum	12.01.2011
Sprühzeit	10:55 Uhr
Fahrbahntemperatur	4,0 °C
Fahrbahnbelag	Beton
Fahrbahnzustand zur Sprühzeit	feucht
Lufttemperatur	5,5 °C
Relative Luftfeuchte	65 %
Sprühmaschine	Küpper-Weisser „Kombi Wet“
Streu-, Sprühdichte (Einstellwert)	20 g/m ²
Sprühbreite	10,75 m
Sprühgeschwindigkeit	ca. 60 km/h
Sole	NaCl
Soledichte	1,163
Masseanteil NaCl	21,5 %
Messturnus	0, 7, 16, 60 Min. Verkehrseinwirkung
Wetterverlauf	wolkig, teilweise Sonne, niederschlagsfrei

Tab. 20: Umfelddaten bei Messungen am 12.01.2011 in Erkner

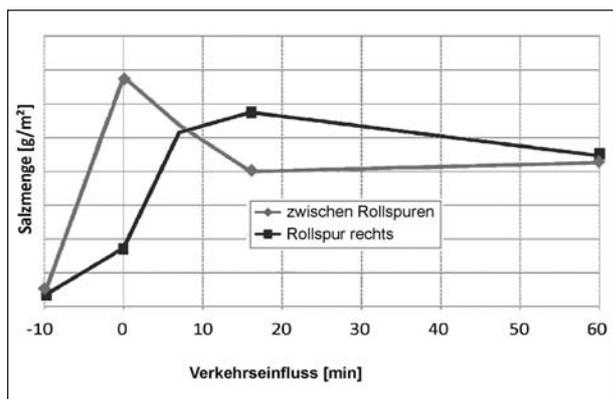


Bild 37: Erkner 12.01.2011 – Salzmengen nach Soleeinsatz in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss, „Verkehrseinfluss“ -10: Messung vor Ausbringung der Salzlösung

festgestellt. Wahrscheinlich hat es am Ende der Sprühstrecke, wo die ersten Messungen vorgenommen wurden, eine schlechtere Verteilung gegeben als in den vorhergehenden Bereichen (Bild 37). Die Auswertung der Film- und Fotoaufnahmen vom Sprühvorgang deutet darauf hin.

5.13 Erkner 01.02.2011

Wegen der unter Kapitel 5.12 beschriebenen Probleme bei der gleichmäßigen Streustoffausbringung wurde der Versuch mit mehreren Messungen innerhalb der ersten Stunde am 01.02.2011 wiederholt.

Gemessen wurde jeweils nach 15 Minuten Verkehrsbeeinflussung. Durch die Messungen bestätigte sich die Vermutung, dass die mit Abstand größten Taustoffverluste bereits innerhalb der ersten 15 Minuten auftreten (Bild 38). Es ist auch zu vermuten, dass der größte Teil der in den ersten 15 Minuten aufgetretenen Verluste schon nach ganz wenigen Fahrzeugüberfahrten zu verzeichnen ist. Daraus lässt sich schließen, dass der Einfluss der Verkehrsstärke nicht so stark ist wie allgemein vermutet wird. Es ist ziemlich unerheblich, ob ein großer Teil der Streustoffverluste in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke innerhalb von z. B. 3 Minuten oder 10 Minuten herbeigeführt wird. Die Verlustrate nach der ersten Phase ist dann zumeist wesentlich geringer. Es ist vielmehr anzunehmen, dass die Fahrgeschwindigkeit neben der Verkehrsstärke einen erheblichen Einfluss auf die Liegezeit der Taustoffe hat. Die Fahrgeschwindigkeit des Lkwverkehrs in den Messbereichen lag immer im Bereich von 90 km/h.

Sprühdatum	01.02.2011
Sprühzeit	09:00 Uhr
Fahrbahntemperatur	-0,8 °C
Fahrbahnbelag	Beton
Fahrbahnzustand zur Sprühzeit	feucht, kein Sprühnebel
Lufttemperatur	-4,3 °C
Relative Luftfeuchte	84,7 %
Sprühmaschine	Küpper-Weisser „Kombi Wet“
Sprühdichte (Einstellwert)	20 g/m ²
Sprühbreite	7,5 m
Sprühgeschwindigkeit	ca. 60 km/h
Sole	NaCl
Soledichte	1,144
Masseanteil NaCl	19,5 %
Messturnus	0, 15, 30, 45, 60 Min. Verkehrseinwirkung
Wetterverlauf	wolkig, niederschlagsfrei

Tab. 21: Umfelddaten bei Messungen am 01.02.2011 in Erkner

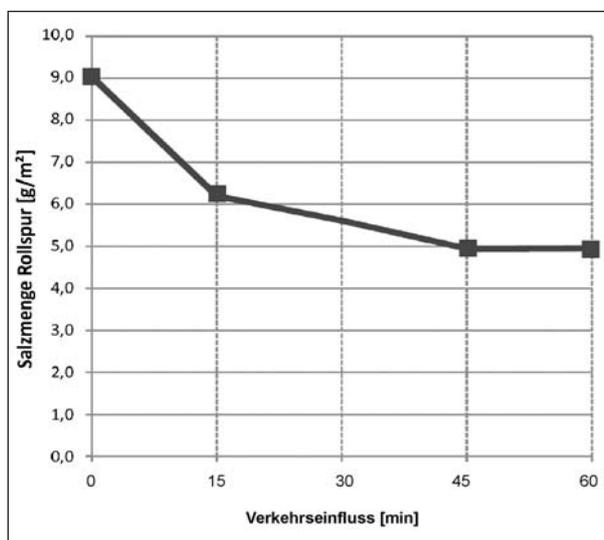


Bild 38: Erkner 01.02.2011 – Abnahme der Salzmengen innerhalb der ersten Stunde nach Soleinsatz

5.14 Erkner 02.02.2011

Ausgehend von einem hohen Ausgangsniveau von ca. 5 g/m², wurden mit dem Sprühvorgang etwa weitere 5 g/m² aufgetragen (Tabelle 22, Bild 39). Innerhalb einer Stunde sank die Salzmenge auf der Fahrbahn auf ca. 4 g/m². Das ist für Salzlösung eine hohe Verlustrate, die sich mit der großen Fahrbahnfeuchte erklären lässt. Hier zeigte sich, dass die Fahrbahnfeuchte die Salzverluste ganz wesentlich beeinflussen kann.

Sprühdatum	02.02.2011
Sprühzeit	10:10 Uhr
Fahrbahntemperatur	2,5 °C
Fahrbahnbelag	Beton
Fahrbahnzustand zur Sprühzeit	nass, Sprühnebel
Lufttemperatur	0,8 °C
Relative Luftfeuchte	84,6 %
Sprühmaschine	Küpper-Weisser „Kombi Wet“
Sprühdichte (Einstellwert)	20 g/m ²
Sprühbreite	7,5 m
Sprühgeschwindigkeit	ca. 60 km/h
Sole	NaCl
Soledichte	1,144
Masseanteil NaCl	19,5 %
Messturnus	0, 60, 240 Min. Verkehrseinwirkung
Wetterverlauf	bedeckt, ganz leichter Schneegriesel, hohe Luftfeuchtigkeit

Tab. 22: Umfelddaten bei Messungen am 02.02.2011 in Erkner

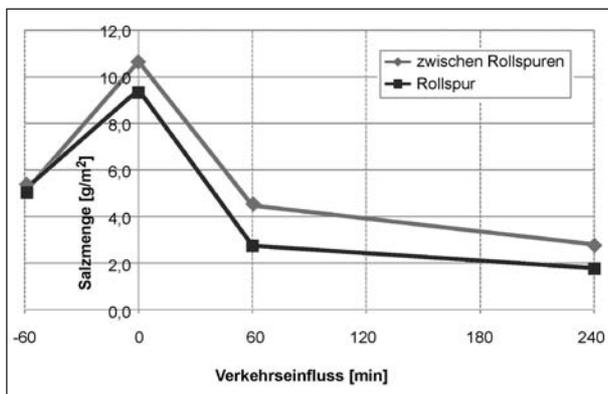


Bild 39: Erkner 02.02.2011 – Salzungen nach Soleinsatz in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss, „Verkehrseinfluss“ -60: Messung vor Ausbringung der Salzlösung

5.15 Herford 08./09.02.2011

Die Ergebnisse der Messungen unmittelbar nach dem Sprühen zeigen an beiden Versuchstagen eine ungleichmäßige Verteilung der Sole durch das Sprühfahrzeug (Tabelle 23, Bild 40, Bild 41). Dabei findet man an beiden Tagen das gleiche Verteilungsmuster vor. Am 8. Februar wurde vor dem Sprühen nicht gemessen, da nach dem vorhergehenden Winterdienstesatz bereits Niederschlag gefallen war.

Die Liegezeitmessungen am 8. und 9. Februar 2011 wurden auf der A 2 bei Kilometer 303,00 in Richtung Hannover durchgeführt. Die meteorologischen Bedingungen waren an den beiden Tagen nahezu identisch. Bemerkenswert ist lediglich, dass die Lufttemperatur am zweiten Tag etwas niedriger und die Luftfeuchtigkeit etwas höher waren. Im Ergebnis ist die Abnahme der Salzmenge in den ersten 60 Minuten an beiden Tagen annähernd gleich. Die weitere Abnahme der Salzungen verläuft jedoch unterschiedlich. Nach

	Messung 1	Messung 2
Sprühdatum	08.02.2011	09.02.2011
Sprühzeit	10:00 Uhr	08:55 Uhr
Fahrbahntemperatur	7,5 °C	1,4 °C
Fahrbahnbelag	Asphalt	Asphalt
Fahrbahnzustand zur Sprühzeit	trocken	trocken
Lufttemperatur	7,8 °C	5,6 °C
Relative Luftfeuchte	57,1 %	67,2 %
Sprühmaschine	Epoke SL-E	
Sprühdichte (Einstellwert)	20 ml/m ²	20 ml/m ²
Sprühbreite	11,00 m	6,00 m
Sprühgeschwindigkeit	ca. 70 km/h	ca. 60 km/h
Sole	NaCl	NaCl
Soledichte	1,162	1,162
Masseanteil NaCl	21,5 %	21,5 %
Messturnus	0, 60, 240, 1.260 Min. Verkehrseinwirkung	0, 60, 240, 1.240 Min. Verkehrseinwirkung
Wetterverlauf	bedeckt, später sonnig	sonnig

Tab. 23: Umfelddaten bei Messungen am 08./09.02.2011 in Herford

1.260 Minuten (21 Stunden) sind nach dem ersten Tag in der Rollspur noch ca. 3 g/m² Salz vorhanden. Nach dem Versuch am zweiten Tag sind es am Ende des gleichen Zeitraumes noch 5 g/m²

Salz. Auch die geringere Salzmenge nach dem ersten Tag wäre jedoch ausreichend, um bei Temperaturen bis ca. -3 °C Reifglätte oder überfrierende Nässe zu verhindern.

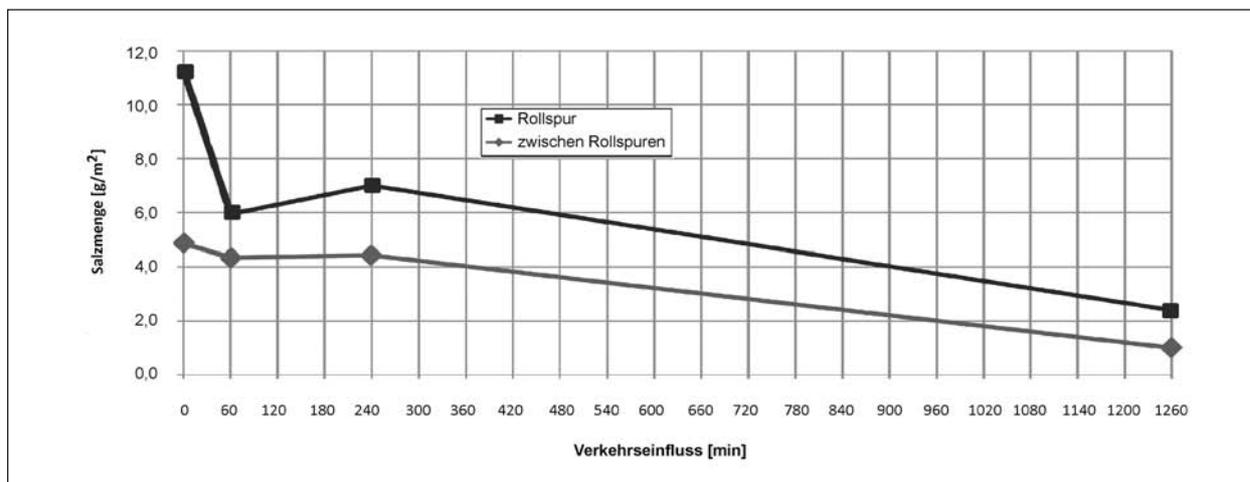


Bild 40: Herford 08.02.2011 – Salzmenge nach Soleinsatz in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss

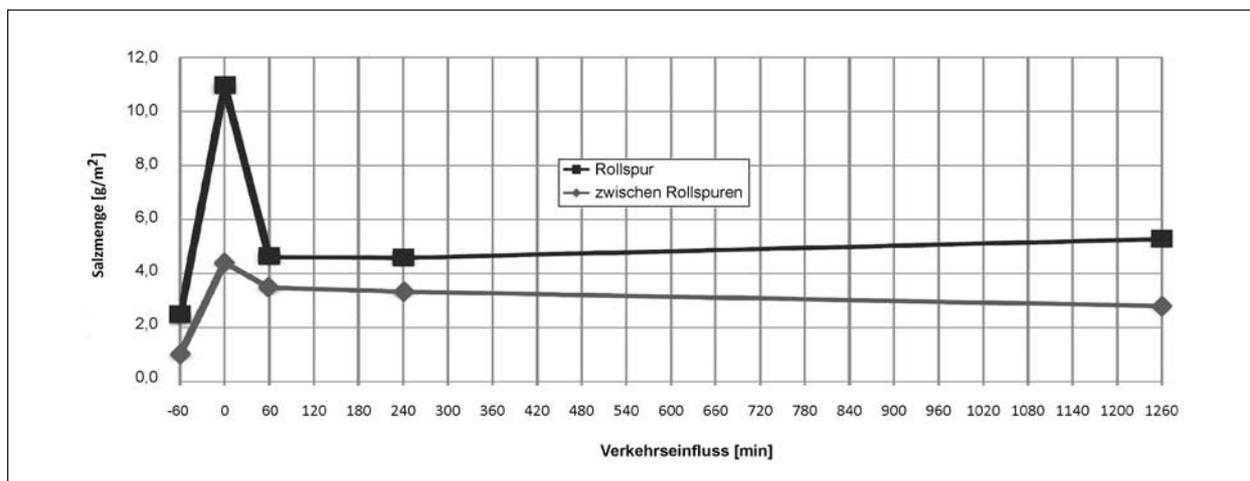


Bild 41: Herford 09.02.2011 – Salzmenge nach Soleinsatz in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss, „Verkehrseinfluss“ -60: Messung vor Ausbringung der Salzlösung

5.16 Herford 09.02.2011 FS30

Die Streuung mit FS30 wurde als weitere Referenzmessung durchgeführt, um die Unterschiede in der Liegezeit im Vergleich zur Soleanwendung mit dem gleichen Messverfahren zu dokumentieren (Tabelle 24, Bild 42).

Streudatum	09.02.2011
Streuzzeit	09:45 Uhr
Fahrbahntemperatur	3,5 °C
Fahrbahnbelag	Beton
Fahrbahnzustand zur Streuzzeit	feucht, kein Sprühnebel
Lufttemperatur	6,4 °C
Relative Luftfeuchte	62,2 %
Streumaschine	Küpper-Weisser IMS
Streudichte (Einstellwert)	10 g/m ²
Streubreite	6,0 m
Streugeschwindigkeit	ca. 60 km/h
Sole	NaCl
Soledichte	1,162
Masseanteil NaCl	21,5 %
Messturnus	0, 60, 240 Min. Verkehrseinwirkung
Wetterverlauf	sonnig

Tab. 24: Umfelddaten bei Messungen am 09.02.2011 in Herford

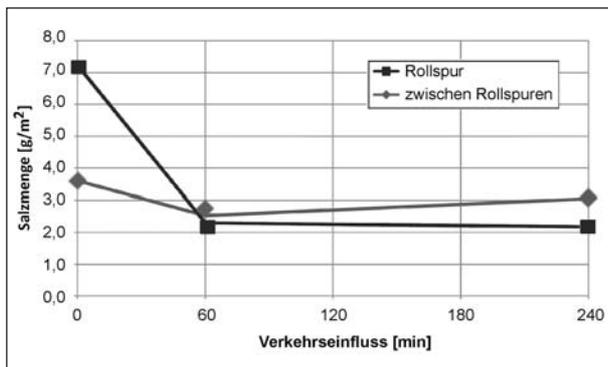


Bild 42: Herford 09.02.2011 – Salzmenge nach Feuchtsalzeinsatz in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss

5.17 Herford 10.02.2011

An diesem Versuchstag wurde die Sole nur in einer Breite von ca. 4,00 m ausgebracht. Damit sollte eine möglichst gleichmäßige und exakte Ausbringung der Sole über die Kegelstrahldüsen erfolgen. Das Ergebnis der Messungen unmittelbar nach dem Sprühvorgang zeigt jedoch auch unter diesen Bedingungen Abweichungen in der Querverteilung und der Salzmenge im Vergleich zu den Sollwerten. Zum Zeitpunkt 0 wurden weder die gleichen Ausgangswerte gemessen, noch stimmt deren Höhe mit dem Sollwert von ca. 5 g/m² überein (Bild 43). Im Zeitraum von 60 bis 240 Minuten sind in der Roll-

Sprühdatum	10.02.2011
Sprühzeit	09:10 Uhr
Fahrbahntemperatur	7,7 °C
Fahrbahnbelag	Asphalt
Fahrbahnzustand zur Sprühzeit	trocken
Lufttemperatur	4,8 °C
Relative Luftfeuchte	73,6 %
Sprühmaschine	Epoke SL-E
Sprühdichte (Einstellwert)	20 ml/m ²
Sprühbreite	4,00 m
Sprühgeschwindigkeit	ca. 70 km/h
Sole	NaCl
Soledichte	1,162
Masseanteil NaCl	21,5 %
Messturnus	0, 60, 240 Min. Verkehrseinwirkung
Wetterverlauf	kein Niederschlag, später sonnig

Tab. 25: Umfelddaten bei Messungen am 10.02.2011 in Herford

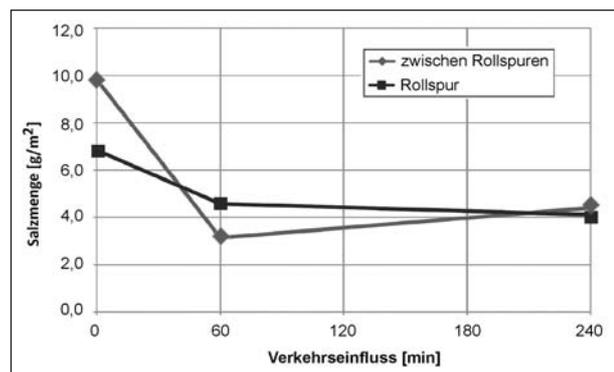


Bild 43: Herford 10.02.2011 – Salzmenge nach Soleeinsatz in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss

spur nur geringe Salzverluste gemessen worden. Zwischen den Rollspuren wurde eine Zunahme der Salzmenge gemessen. Das ist mit hoher Wahrscheinlichkeit der Tatsache geschuldet, dass wegen der Salzentnahme bei der Messung in jedem Turnus auf neuen Flächen gemessen werden muss. Ungleichmäßigkeiten in der Längs- und Querverteilung sind bei der Ausbringung nicht auszuschließen. Diese Ungleichmäßigkeiten wirken sich auch bei den Folgemessungen nach Verkehrseinfluss aus.

5.18 Erkner 15./16.02.2011

Die Versuche am 15. und 16.2.2011 wurden durchgeführt, um festzustellen, ob die Höhe der ausgebrachten Solemenge Einfluss auf die Liegezeit hat (Tabelle 26). Zu diesem Zweck wurden am gleichen Tag in unterschiedlichen Fahrtrichtungen 20 bzw. 40 g Sole pro m² ausgebracht. Das gelang mit sehr hoher Genauigkeit.

Aus den Ergebnissen der anschließenden Liegezeitmessungen lässt sich ablesen, dass höhere Sprühdichten bei Sole auch zu deutlich höheren Anfangsverlusten innerhalb der ersten Stunde führen. Während bei einem Streudichtewert von 40 g/m² (8 g NaCl/m²) nach einer Stunde etwa 37 % Streustoff von der Fahrbahn verfrachtet waren, waren das bei einem Sprühdichtewert von 20 g/m² (4 g NaCl/m²) nur etwa 22 % (lang mit sehr hoher Genauigkeit, Bild 44). Das lässt darauf schließen, dass mit steigender Sprühdichte auch mit höheren Liegezeitverlusten gerechnet werden muss. Der Vergleich der Messungen zeigt aber auch, dass selbst nach 22 Stunden noch eine höhere Salzmenge gemessen wird, wenn 40 g/m² Sole gesprüht wurden (Bild 45).

Sprühdatum	15.02.2011	
Sprühzeit	08:00 Uhr	09:20 Uhr
Fahrbahntemperatur	7,5 °C	9,4 °C
Fahrbahnbelag	Beton	Beton
Fahrbahnzustand zur Sprühzeit	leicht feucht	leicht feucht
Lufttemperatur	7,8 °C	10,4 °C
Relative Luftfeuchte	57,1 %	67,4 %
Sprühmaschine	Küpper-Weisser „Kombi Wet“	
Sprühdichte (Einstellwert)	40 g/m ²	20 g/m ²
Streubreite	4 m	4 m
Streugeschwindigkeit	60 km/h	60 km/h
Sole	NaCl	NaCl
Soledichte	1,144	1,144
Masseanteil NaCl	19,5 %	19,5 %
Messturnus	0, 60, 240, 1.320 Min. Verkehrseinwirkung	0, 60, 240, 1.320 Min. Verkehrseinwirkung
Wetterverlauf	wolkig, niederschlagsfrei	wolkig, niederschlagsfrei

Tab. 26: Umfelddaten bei Messungen am 15.02.2011 in Erkner

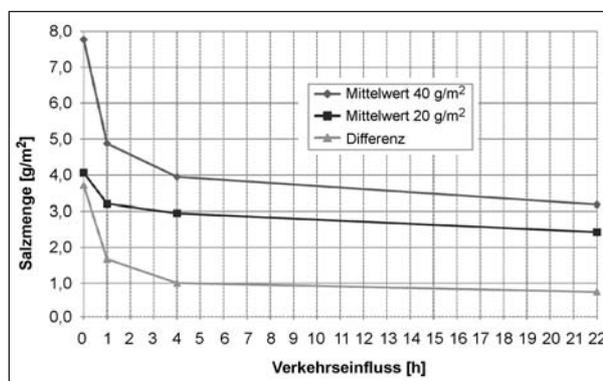


Bild 45: Erkner 15.02.2011 – Vergleich der Salzmenge nach Soleinsatz (40 und 20 g/m²) in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss

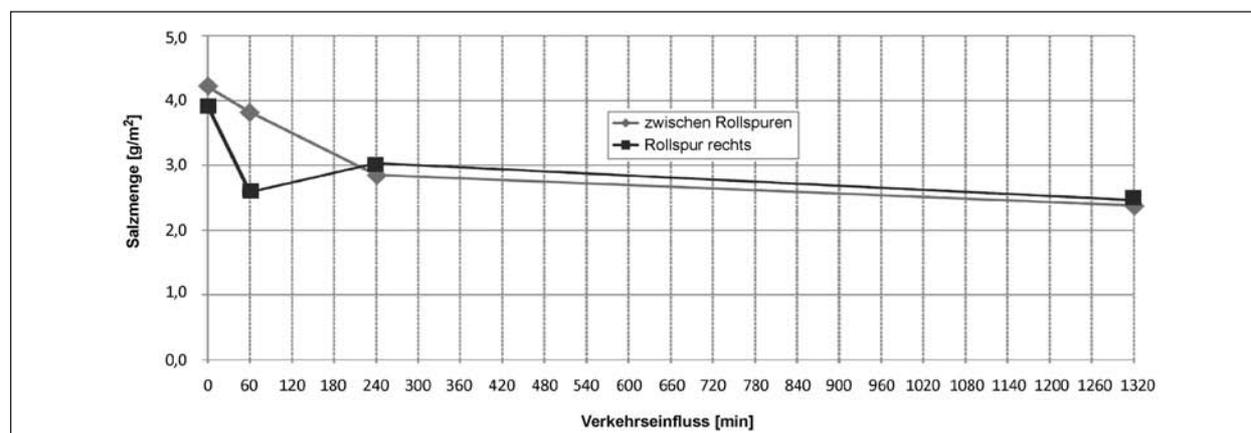


Bild 44: Erkner 15.02.2011 – Salzmenge nach Soleinsatz (20 g/m²) in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss

5.19 Herford 22./23.03.2011

Analog zu den am 15./16.2.2011 in Erkner durchgeführten Versuchen wurde am 22.03.2011 auf der A 2 bei Herford Salzlösung in zwei unterschiedlichen Sprühdichten ausgebracht (Tabelle 27). Auch

Sprühdatum	22.03.2011	
Sprühzeit	08:05 Uhr	10:30 Uhr
Fahrbahntemperatur	9,9 °C	17,6 °C
Fahrbahnbelag	Asphalt	Asphalt
Fahrbahnzustand zur Sprühzeit	trocken	trocken
Lufttemperatur	5,1 °C	13,3 °C
Relative Luftfeuchte	77,7 %	52,0 %
Sprühmaschine	Epoke SL-E	
Sprühdichte (Einstellwert)	40 ml/m ²	20 ml/m ²
Sprühbreite	4 m	4 m
Sprühgeschwindigkeit	70 km/h	70 km/h
Sole	NaCl	NaCl
Soledichte	1,162	1,162
Masseanteil NaCl	21,5 %	21,5 %
Messturnus	0, 60, 240, 1.320 Min. Verkehrseinwirkung	0, 60, 240, 1.320 Min. Verkehrseinwirkung
Wetterverlauf	bis ca. 10:00 Uhr Nebel,	sonnig

Tab. 27: Umfelddaten bei Messungen am 22./23.03.2011 in Herford

mit diesem Versuch sollte festgestellt werden, welche Auswirkung eine verdoppelte Sprühdichte auf die Liegezeit hat.

Die Sollmenge für das Salz bei der Soleausbringung am 22.03.2011, 8:05 Uhr, betrug 10 g/m². Als Istmengen wurden in der rechten Rollspur 13,3 g/m² und zwischen den Rollspuren 11,6 g/m² gemessen. Nach 60 Minuten waren davon noch 7,5 bzw. 6,9 g/m² vorhanden. Im weiteren Verlauf bis zu 1.320 Minuten nach Solesprühung nimmt die Salzmenge um etwa 0,25 g/m² pro Stunde ab (Bild 46).

Die Sollmenge für das Salz bei der Soleausbringung am 22.03.2011, 10:30 Uhr, betrug 5 g/m². Als Istmengen wurden in der rechten Rollspur 6,9 g/m² und zwischen den Rollspuren 7,6 g/m² gemessen. Nach 60 Minuten waren davon noch 5,4 bzw. 2,9 g/m² vorhanden. Rechnet man mit Durchschnittswerten der Messungen in der Rollspur und zwischen den Rollspuren nimmt die Salzmenge im weiteren Verlauf bis zu 1.320 Minuten nach Solesprühung um etwa 0,15 g/m² pro Stunde ab (Bild 47).

Aus dem Vergleich beider Versuche ist zu erkennen, dass sich die Differenz beider Salzmengen mit dem Verkehrseinfluss immer weiter verringert. Sie beträgt nach 22 Stunden Verkehrseinfluss nur noch 1,2 g/m² (Bild 48).

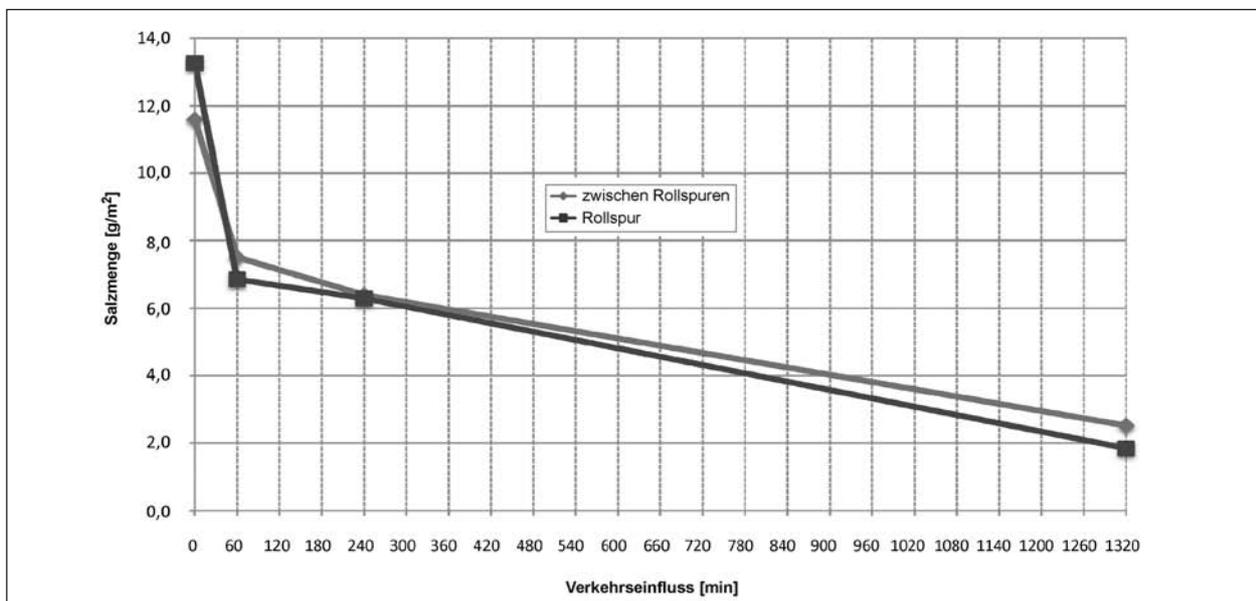


Bild 46: Herford 22.03.2011 – Salzmengen nach Soleinsatz (40 ml/m²) in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss

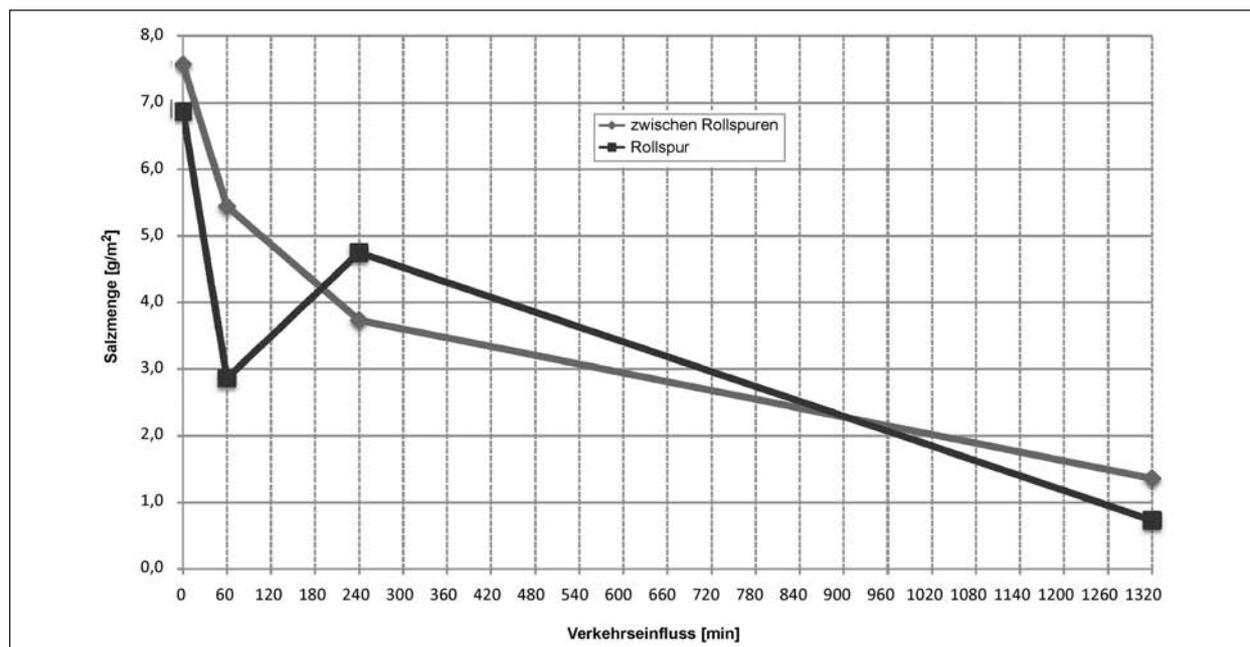


Bild 47: Herford 22.03.2011 – Salzmenge nach Soleinsatz (20 ml/m²) in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss

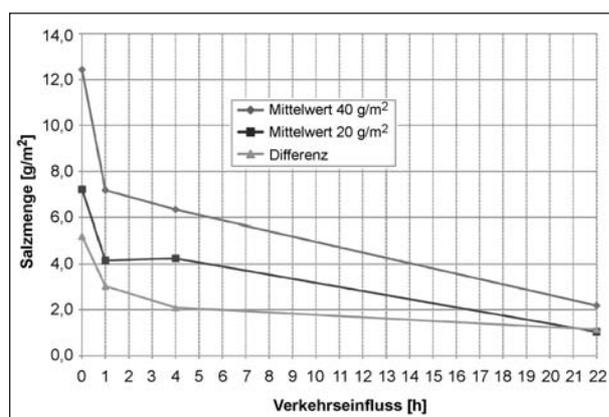


Bild 48: Herford 22./23.03.2011 – Vergleich der Salzmenge nach Soleinsatz (40 und 20 ml/m²) in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss

5.20 Herford 23./24.03.2011

Am 23.03.2011 wurden weitere Vergleichsmessungen zwischen den Liegezeiten unterschiedlicher Streudichtewerte durchgeführt. Im Unterschied zu den Messungen am Vortag wurde zuerst die kleinere Streudichte ausgebracht (Tabelle 28). Der Grund dafür lag darin, dass nicht auszuschließen war, dass die Umgebungstemperaturen Einfluss auf die Liegezeit haben.

Die Sollmenge für das Salz bei der Soleausbringung am 23.03.2011, 7.50 Uhr, betrug 5 g/m². Als Istmengen wurden in der rechten Rollspur 8,4 g/m² und zwischen den Rollspuren 5,9 g/m² gemessen (Restsalzmenge abgezogen). Nach 60 Minuten

Sprühdatum	23.03.2011	
Sprühzeit	07:50 Uhr	09:50 Uhr
Fahrbahntemperatur	7,5 °C	16,0 °C
Fahrbahnbelag	Asphalt	Asphalt
Fahrbahnzustand zur Sprühzeit	trocken	trocken
Lufttemperatur	5,1 °C	9,1 °C
Relative Luftfeuchte	56,3 %	31,2 %
Sprühmaschine	Epoke SL-E	
Sprühdichte (Einstellwert)	20 ml/m ²	40 ml/m ²
Streubreite	4 m	4 m
Streugeschwindigkeit	70 km/h	70 km/h
Sole	NaCl	NaCl
Soledichte	1,162	1,162
Masseanteil NaCl	21,5 %	21,5 %
Messturnus	0, 60, 240, 1.320 Min. Verkehrseinwirkung	0, 60, 240, 1.320 Min. Verkehrseinwirkung
Wetterverlauf	sonnig	sonnig

Tab. 28: Umfelddaten bei Messungen am 23.03.2011 in Herford

waren insgesamt noch 5,5 bzw. 5,3 g/m² vorhanden. Im weiteren Verlauf bis zu 22 h (1.320 Min.) nach Solesprühung nimmt die Salzmenge im Mittel nur um etwa 0,014 g/m² pro Stunde ab (Bild 49).

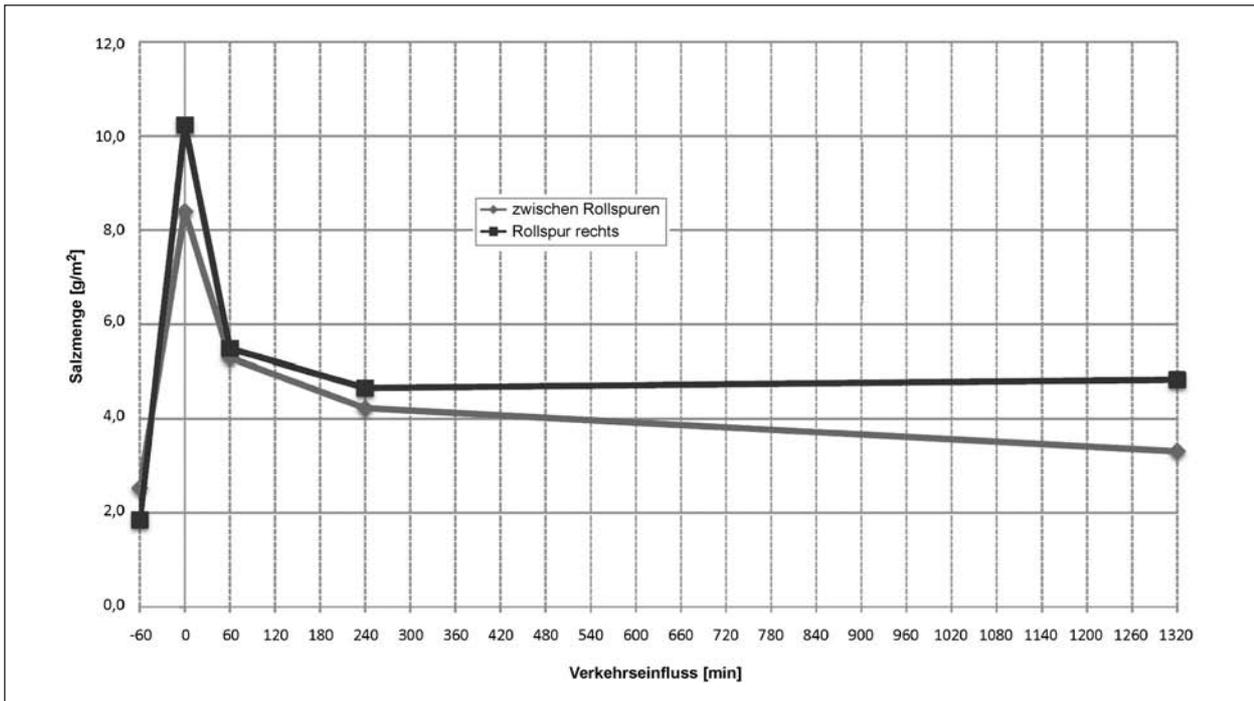


Bild 49: Herford 23.03.2011 – Salzmengen nach Soleinsatz (20 ml/m²) in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss

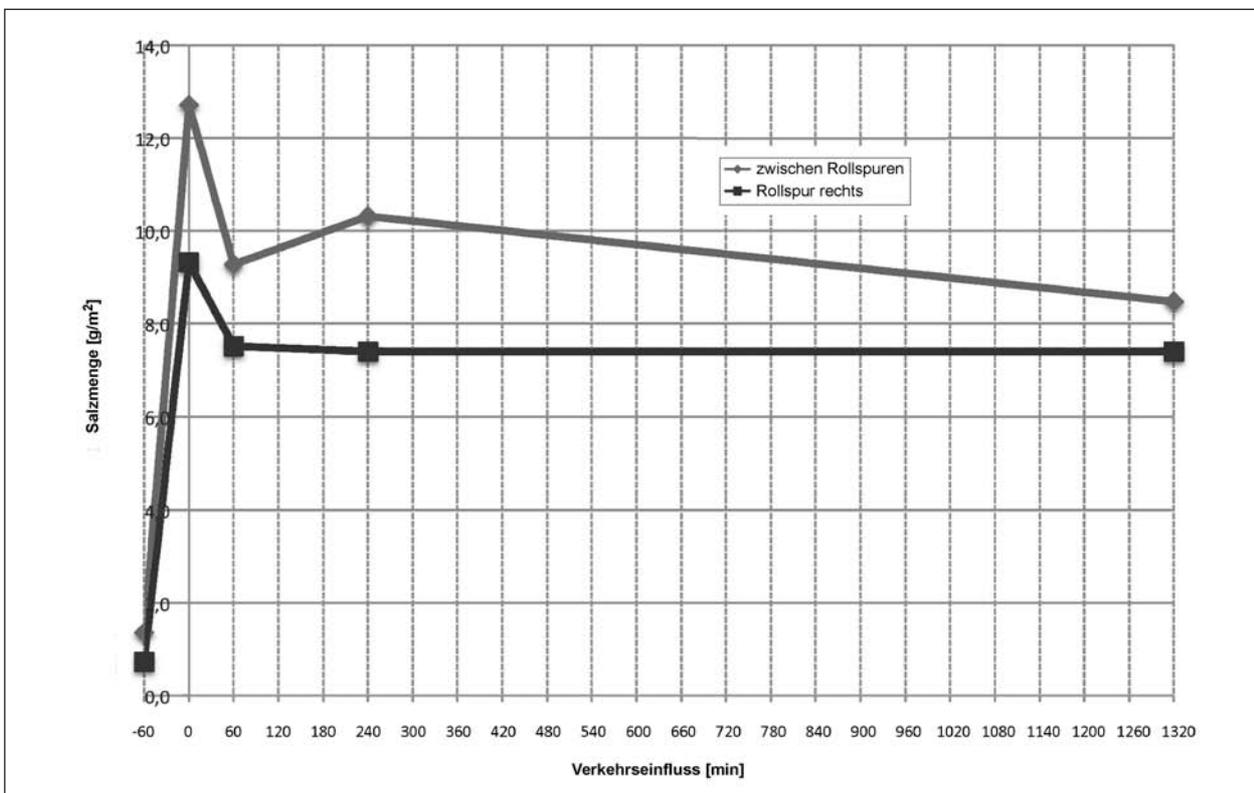


Bild 50: Herford 23.03.2011 – Salzmengen nach Soleinsatz (40 ml/m²) in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss

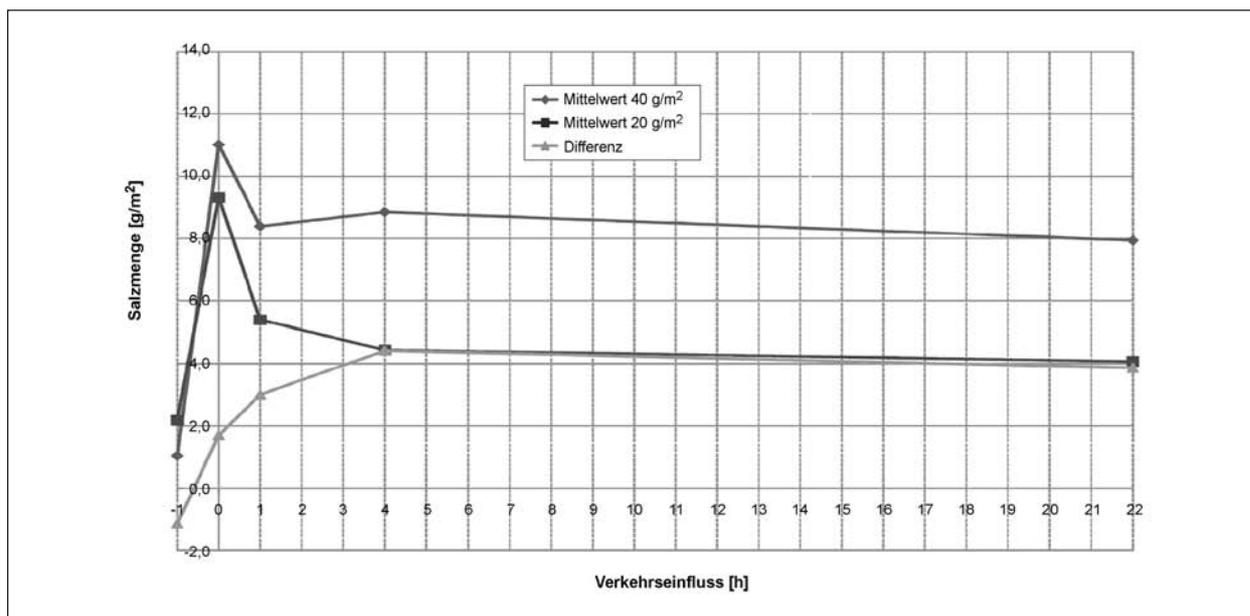


Bild 51: Herford 23./24.03.2011 – Vergleich der Salzmenge nach Soleinsatz (40 und 20 ml/m²) in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss

Die Sollmenge für das Salz bei der Soleausbringung am 23.03.2011, 9.50 Uhr, betrug 10 g/m². Als Istmenge wurden in der rechten Rollspur 8,6 g/m² und zwischen den Rollspuren 11,3 g/m² gemessen (Restsalzmenge abgezogen). Nach 60 Minuten waren insgesamt noch 7,5 bzw. 9,3 g/m² vorhanden. Im weiteren Verlauf bis zu 22 h (1.320 Min.) nach Solesprühung nimmt die Salzmenge im Mittel nur um etwa 0,023 g/m² pro Stunde ab (Bild 50).

Die Differenz der Salzmenge erhöht sich anfangs bis zum Zeitpunkt von 4 Stunden Verkehrseinfluss und bleibt dann bis zu 22 Stunden nach Soleausbringung in einer Größenordnung von etwa 4 g/m² stabil (Bild 51).

5.21 Herford 24.03.2011

Nach Messung der Restsalzmenge wurde am 24.03.2011 den dritten Tag in Folge Sole auf der A 2 bei km 302,5 in Richtung Hannover und Oberhausen aufgebracht (Tabelle 29, Bild 52, Bild 53).

Sprühdatum	24.03.2011	
Sprühzeit	08.05 Uhr	10.30 Uhr
Fahrbahntemperatur	7,9 °C	18,0 °C
Fahrbahnbelag	Asphalt	Asphalt
Fahrbahnzustand zur Sprühzeit	trocken	trocken
Lufttemperatur	7,6 °C	12,4 °C
Relative Luftfeuchte	64,2 %	59,2 %
Sprühmaschine	Epoke SL-E	
Sprühdichte (Einstellwert)	40 ml/m ²	20 ml/m ²
Sprühbreite	4 m	4 m
Sprühgeschwindigkeit	70 km/h	70 km/h
Sole	NaCl	NaCl
Soledichte	1,162	1,162
Masseanteil NaCl	21,5 %	21,5 %
Messturnus	0, 60, 240 Min. Verkehrseinwirkung	0, 60, 240 Min. Verkehrseinwirkung
Wetterverlauf	leicht bewölkt	sonnig

Tab. 29: Umfelddaten bei Messungen am 24.03.2011 in Herford

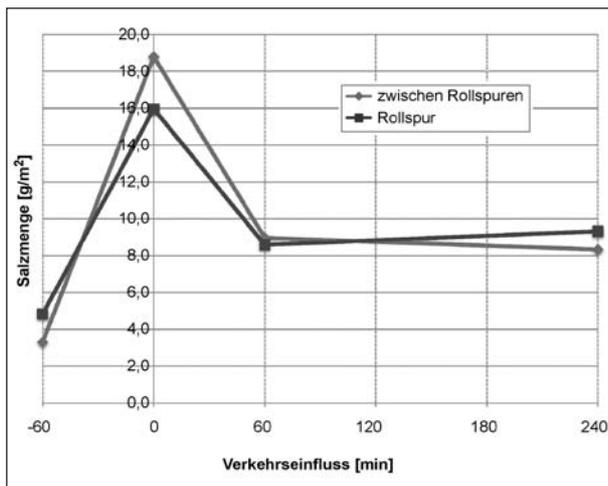


Bild 52: Herford 24.03.2011 – Salzungen nach Soleeinsatz (40 ml/m²) in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss

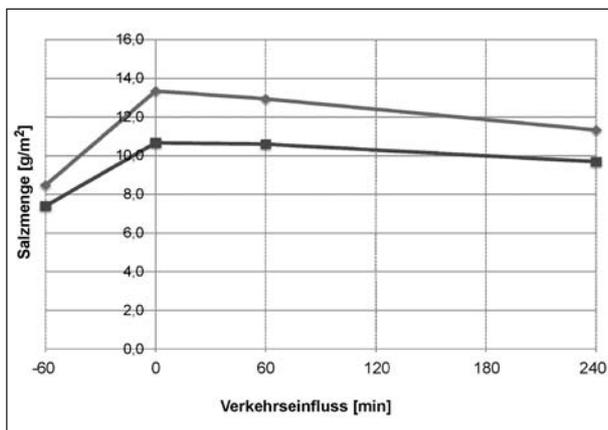


Bild 53: Herford 24.03.2011 – Salzungen nach Soleeinsatz (20 ml/m²) in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss

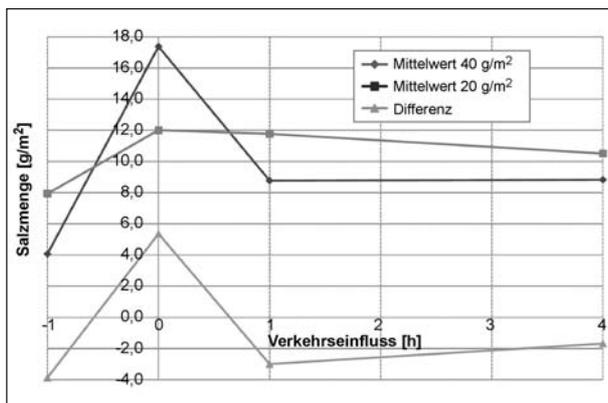


Bild 54: Vergleich der Salzungen nach Soleeinsatz (40 und 20 ml/m²) in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss

5.22 Herford – 3-Tage-Verlauf (22. bis 24. März 2011)

Die vom 22. bis 24.03.2011 auf der A 2 bei km 203,5 in beiden Fahrtrichtungen (HAN – Hannover, OB – Oberhausen) ausgebrachte Sole und die Salzungenmessungen lassen in der Gesamtdarstellung einige interessante Zusammenhänge erkennen.

Die Darstellung der Messungen auf der Rollspur beginnt im Diagramm für beide Fahrtrichtungen mit der ersten Soleausbringung zum Zeitpunkt 0. Es folgen die Salzungenmessungen zu den Zeitpunkten 1, 4 und 22 Stunden. Zum Zeitpunkt 22 Stunden erfolgt unmittelbar nach der Salzungenmessung die zweite Soleausbringung mit anschließender Salzungenmessung. Nach weiteren Salzungenmessungen im angegebenen Turnus wird nach 44 Stunden wieder Sole ausgebracht. Nach insgesamt 48 Stunden wurde die letzte Salzungenmessung durchgeführt (Bild 55).

Die in der ersten Messperiode (0 bis 22 Stunden) gemessenen Salzungen fallen in beiden Fahrtrichtungen stetig ab, während die Werte in der zweiten Messperiode (22 bis 44 Stunden) auf höherem Niveau konstant bleiben. Nach dem dritten Sprühvorgang bleibt bis zu 4 Stunden danach ein noch höheres Niveau erhalten. Daraus kann geschlossen werden, dass bei der täglichen Wiederholung von Streuungen/Sprühvorgängen das Niveau der Restsalzungen ansteigt. Ähnliche Beobachtungen wurden in Rottweil gemacht (s. Kapitel 5.5), wo vor dem Sprühen sehr hohe Restsalzungen gemessen wurden, obwohl die vorhergehenden Streuungen mindestens 24 Stunden zurücklagen.

Es kann also vermutet werden, dass sich innerhalb von Perioden mit täglichen Sprühungen Salzungen auf der Fahrbahn halten, die den sonst gemessenen Wert von 2-3 g/m² deutlich übersteigen. Man könnte das als „Imprägniereffekt“ bezeichnen.

Bemerkenswert ist auch, dass am Ende der Messperioden in beiden Fahrtrichtungen fast die gleiche Salzmenge gemessen wurde, obwohl in Richtung Hannover mit 32,9 g/m² (Istwert) deutlich mehr Salz ausgebracht wurde als in Richtung Oberhausen (18,8 g/m²). Das bestätigt auch über diese verlängerte Beobachtungsperiode die Annahme, dass höhere Sprühdichten nicht zwangsläufig zu verlängerten Liegezeiten führen.

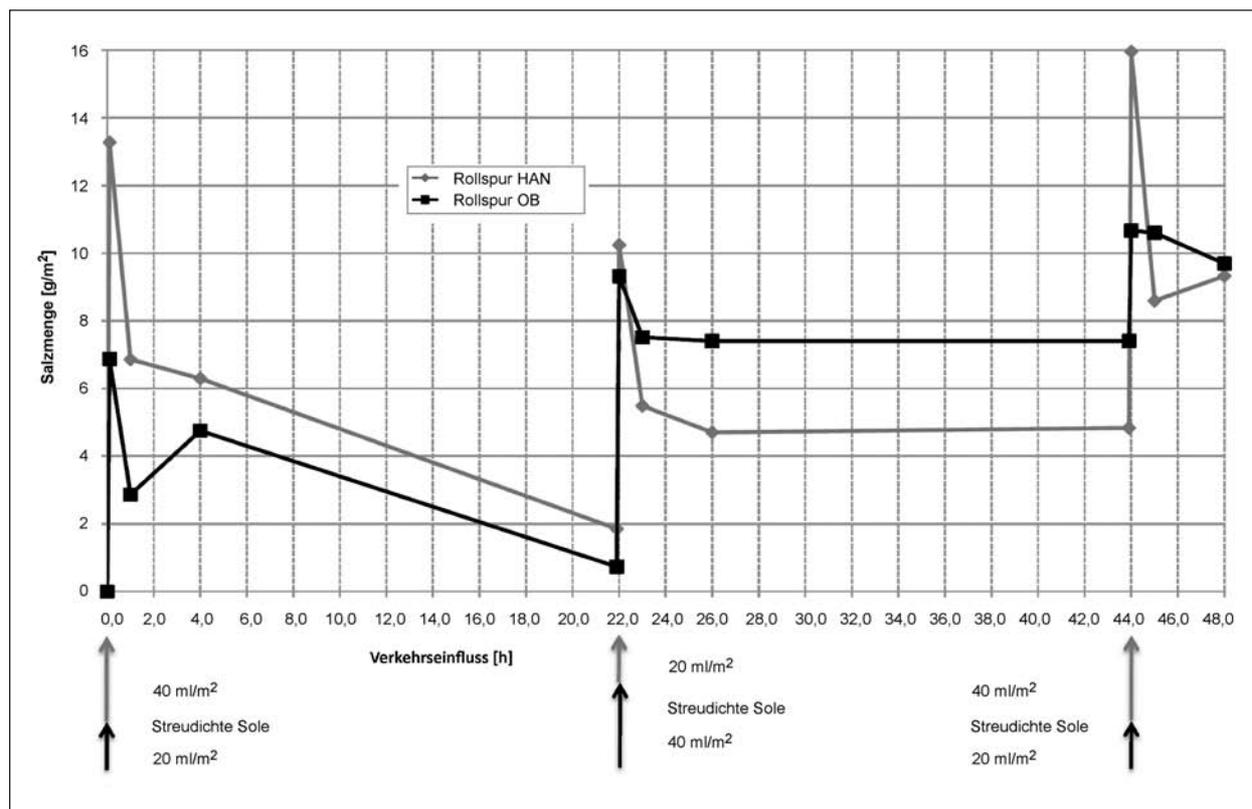


Bild 55: Mehrtagesmessungen der Salzmenngen mit drei Soleeinsätzen in unterschiedlicher Streudichte (nur Werte in der Rollspur)

6 Liegezeiten von Sole (FS100) im Vergleich zu Feuchtsalz (FS30)

Die gewonnenen Daten wurden zeitnah ausgewertet. Zum Teil wurde der Vergleich zu älteren Messungen hergestellt, die zur Bestimmung der Liegezeit von FS30 durchgeführt wurden.

Aus dem Mittelwert aller vergleichbaren Daten zur Liegezeit der Taustoffe ist deutlich zu erkennen, dass in Form von Sole präventiv ausgebrachtes Salz deutlich länger auf der Fahrbahn verbleibt, als FS30 (Bild 56).

Nach einer Stunde Verkehrseinwirkung sind 81,6 % des als FS30 ausgestreuten Salzes von der Fahrbahn verfrachtet. Von dem als Sole gelösten Salz ist nach einer Stunde nur ein Verlust von 33,8 % gemessen worden.

Nach vier Stunden Verkehrseinwirkung beträgt der Verlust bei FS30-Streuung 82 %, während bei Sole ein Verlust von 41,1 % gemessen wurde.

Nach 22 Stunden Verkehrseinwirkung waren bei der Soletechnologie durchschnittlich noch 59,9 %

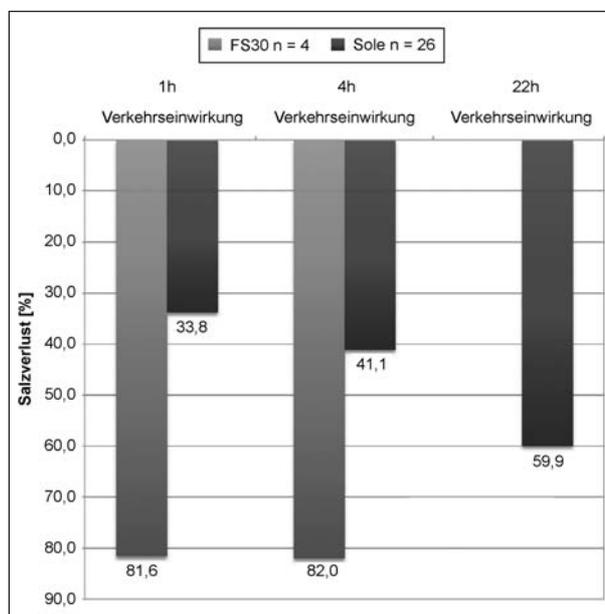


Bild 56: Vergleich der Taustoffverluste durch Verkehrseinwirkung auf Autobahnen nach präventiver Streuung

des Salzes vorhanden. Für FS30 liegen für diesen Zeitraum keine Messungen vor.

Bei der Berechnung der absoluten Salzverluste wird in einer Modellrechnung davon ausgegangen,

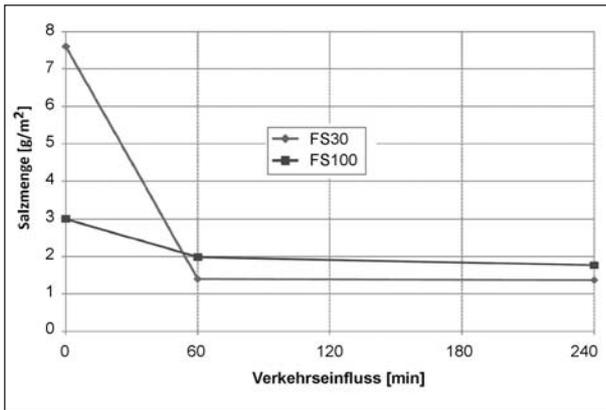


Bild 57: Vergleich des zeitlichen Verlaufes der absoluten Taustoffverluste durch Verkehrseinwirkung auf Autobahnen nach präventiver Streuung (Modellrechnung)

dass bei der präventiven Streuung von FS30 mit einer Streudichte von 10 g/m² (7,6 g/m² Salzinhalt) und beim präventiven Einsatz von Sole mit 15 g/m² (3 g/m² Salzinhalt) gearbeitet wird.

Die bildliche Darstellung (Bild 57) der über die Mittelwerte der prozentualen Salzverluste errechneten absoluten Salzmengen im zeitlichen Verlauf zeigt, dass eine Stunde nach Ausbringung mehr Salz aus der Solesprühung zurückbleibt als aus der FS30-Streuung. Die visuellen Beobachtungen, die während der Streuversuche durchgeführt wurden, ließen deutlich erkennen, dass große Mengen des befeuchteten Salzes bereits in den ersten Minuten nach der Streuung an den Fahrbahnrand verfrachtet werden. Das bedeutet, dass durch die mit FS30 ausgebrachten größeren Salzmengen keinerlei Vorteil für die Verkehrssicherheit zu erwarten ist.

Die Taustoffverfrachtung wird vor allem durch die abrollenden Reifen und Verwirbelungen hinter dem Fahrzeug verursacht. Der Einfluss des Reifenkontaktes lässt sich erkennen, wenn die Messungen in der Rollspur und zwischen den Rollspuren gegenübergestellt werden (Bild 58).

Aus diesen Messwerten ist ersichtlich, dass die Salzverfrachtung aus der Rollspur bei trockener Fahrbahn nach ein und vier Stunden deutlich größer ist als in der Fahrbahnmitte.

Die Auswertung und der Vergleich der gemittelten Werte aus allen Messungen zeigen insgesamt ganz klar den Vorteil der Solesprühung gegenüber FS30-Streuung im präventiven Einsatz.

Im Juni 2010 wurden Vergleichsmessungen zwischen der Liegezeit von FS30 und FS100 im Bereich der AM Mendig durchgeführt. Dort bestand an

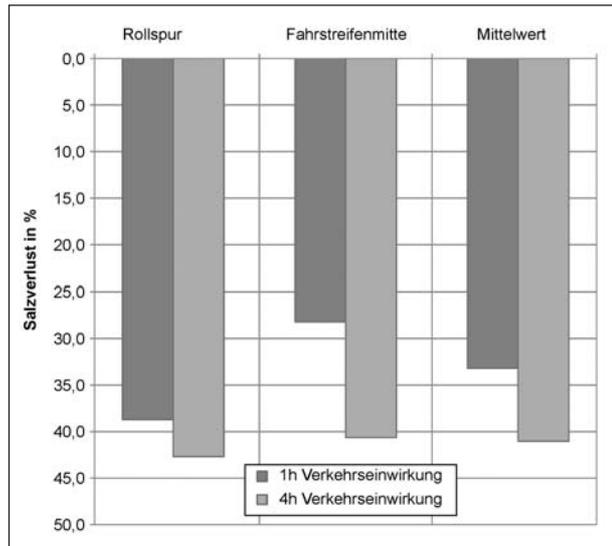


Bild 58: Prozentualer Verlust an Taustoff durch Verkehrseinwirkung auf Autobahnen nach Solesprühung innerhalb und außerhalb der Rollspur (Mittelwerte aus allen auswertbaren Messungen)

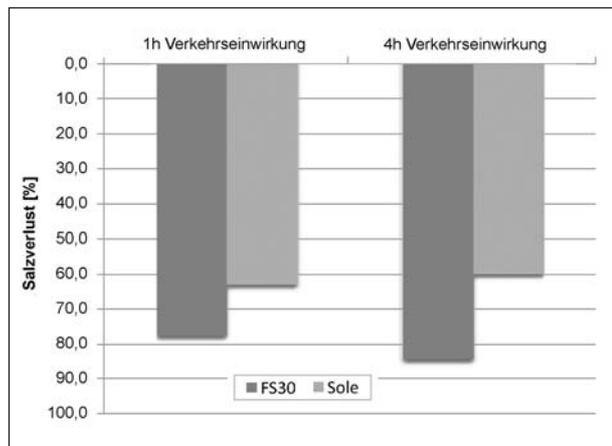


Bild 59: Salzverluste unter Verkehrseinwirkung auf Asphaltfahrbahnen

aufeinanderfolgenden Tagen unter nahezu gleichen Wetterbedingungen die Möglichkeit, die Liegezeit von FS30 und FS100 sowohl auf einer Asphaltfahrbahn als auch auf einer Betonfahrbahn zu messen (Bild 29, Bild 30, Bild 31, Bild 32, Kapitel 5.8). Ein Nachteil dieser Messungen bestand darin, dass sehr hohe Temperaturen in Verbindung mit sehr geringer Luftfeuchtigkeit vorhanden waren.

Bemerkenswert ist auch die Tatsache, dass hier ein geringerer Unterschied zwischen FS30 und Sole bei den Salzverlusten besteht (Bild 59). Keine Erklärung gibt es im Moment dafür, dass an diesem Tag 4 Stunden nach der Solesprühung mehr Salz auf der Fahrbahn gemessen wurde als 1 Stunde nach der Sprühung.

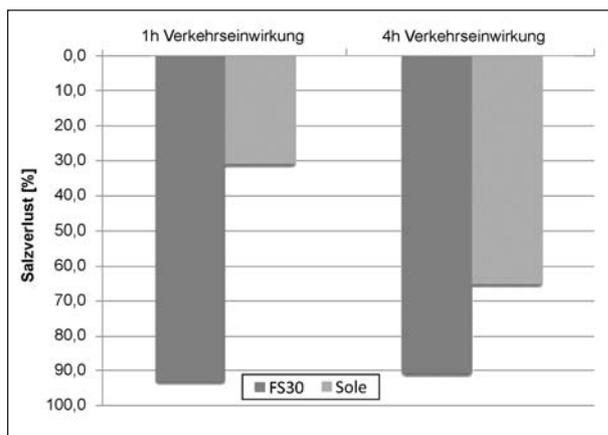


Bild 60: Salzverluste unter Verkehrseinwirkung auf Betonfahrbahnen

Die analog dazu durchgeführten Messungen auf Betonfahrbahnen zeigen vergleichsweise geringere Salzverluste nach Soleeinsatz und sehr hohe Salzverluste nach FS30-Anwendung (Bild 60). Die großen Wehverluste bei FS30 waren am Messtag auch mit bloßem Auge sichtbar. Begünstigt wurde das durch die sehr schnelle Abtrocknung des Salzes, die auch schon während der Sperrung des Fahrstreifens für die erste Messung zu beobachten war.

Die Verringerung des Salzverlustes bei FS30 nach vier Stunden im Vergleich zu einer Stunde ist minimal und unter Berücksichtigung der geringen absoluten Salzmenge von 1 g/m^2 nicht außergewöhnlich. In dieser Größenordnung kann Streustoff auch nach 4 Stunden noch quer verteilt werden.

7 Wirkung von Einflussfaktoren auf die Liegezeit von Sole

7.1 Art der Einflussfaktoren

Die bekannten und vermuteten Einflussfaktoren auf die Liegezeit stellen ein sehr komplexes System dar (Bild 61). Bei den Messungen wurde darauf geachtet, dass alle Einflussfaktoren messtechnisch erfasst werden. Deshalb wurden auch die Verkehrsdaten, die Daten der Straßenwetterstationen und eigene Messungen der Makrorauigkeit in die Bewertung der Messdaten für die Liegezeit einbezogen. Auch aus der Gesamtdarstellung der Einflussfaktoren ist abzuleiten, dass aus der Vielzahl der Kombinationsmöglichkeiten einzelner Faktoren eine große Zahl unterschiedlicher Einflusssszenarien entsteht, die nur durch eine größere Zahl von Messungen untersucht werden können

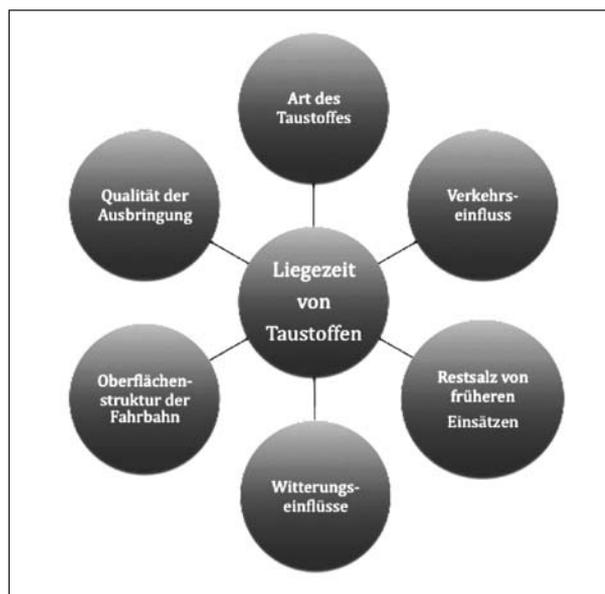


Bild 61: Einflussfaktoren auf die Liegezeit von Taustoffen

Erläuterungen zu den Einflussfaktoren auf die Liegezeit von Taustoffen:

- **Art des Taustoffes:** Grundsätzlich sind NaCl , CaCl_2 und MgCl_2 einsetzbar. Es hat einen Einfluss auf die Liegezeit, ob der Taustoff in kristalliner oder gelöster Form ausgebracht wird. Es ist zu vermuten, dass die starke Hygroskopizität von CaCl_2 und MgCl_2 Einfluss auf die Liegezeit hat.
- **Verkehrseinwirkung:** Die Verfrachtung der Taustoffe von der Fahrbahn wird im Wesentlichen vom Fahrverkehr verursacht. Wichtige Faktoren sind die Fahrgeschwindigkeit, die Art der Fahrzeuge und die Verkehrsstärke.
- **Restsalz von früheren Einsätzen:** Es ist zu vermuten, dass Fahrbahnoberflächen in Abhängigkeit von ihrer Struktur ein spezifisches Speichervermögen für Salzkristalle haben. Eine hohe Restsalzkonzentration könnte die Liegezeit des neu aufgetragenen Streustoffes auf der Fahrbahn beeinflussen.
- **Witterungseinflüsse:** Niederschläge haben einen gravierenden Einfluss auf die Liegezeit von Taustoffen. Durch Niederschläge fließt Taustoff von der Fahrbahn ab. Bei Feuchtigkeit auf der Fahrbahn (ab ca. $0,1 \text{ mm}$ Wasserfilmdicke) wird Taustoff durch Fahrzeuge weggespritzt und stärker aufgewirbelt.
- **Oberflächenstruktur der Fahrbahn:** Es wird angenommen, dass Fahrbahnoberflächen in Abhängigkeit von der Oberflächenstruktur (Makro-

raugigkeit) ein spezifisches Speichervolumen für Taustoffkristalle haben. Damit wäre ein Einfluss auf die Liegezeit von Taustoffen gegeben.

- Qualität der Ausbringung: Für optimale Ergebnisse bei der Glättebekämpfung ist eine vollflächige und homogene Ausbringung von Taustoffen erforderlich, die dem eingestellten Dosierwert entspricht. Lokale Überdosierungen können zu erhöhten Taustoffverlusten auf der Fahrbahn führen.

7.2 Auswertung der Messergebnisse unter Berücksichtigung möglicher Einflussfaktoren

7.2.1 Vorbetrachtung

Mit dem Forschungsprojekt soll auch ermittelt werden, welches Gewicht die einzelnen Einflussfaktoren auf die Liegezeit von Sole haben. Es wurde schnell deutlich, dass sich unter den realen Bedingungen bei Feldmessungen kaum trennen lässt, welcher Einflussfaktor welches Gewicht hat. Auch aus diesem Grund wurden die Messungen an verschiedenen Orten durchgeführt. Daraus ergab sich

die Möglichkeit, die ganze Bandbreite der Auswirkungen unterschiedlicher Einflussfaktoren zu erfassen. Das bedeutet aber auch, dass für jedes Einflusszenarium nur wenige Messungen vorhanden sind. Für diese Auswertung werden die Ein-Stunden-Messwerte in der Rollspur verwendet. Der Grund liegt darin, dass diese Werte nahezu lückenlos von allen Messtagen vorhanden sind. An einigen Messtagen mussten die Messungen abgebrochen werden, da nach den Ein-Stunden-Messungen Niederschlag einsetzte. In der Rollspur ist immer der größte Salzverlust zu verzeichnen. Sie kann daher unter dem Aspekt maximaler Sicherheit als repräsentativ angesehen werden.

7.2.2 Art des Taustoffes

Im Rahmen der Forschungsarbeit wurde mit CaCl_2 -Lösung und NaCl -Lösung gearbeitet. Die prozentuale Abnahme der Salzmenge in der Rollspur nach einer Stunde ist im Durchschnitt für CaCl_2 -Lösung mit 30,3 % geringer als bei NaCl -Lösung, wo der Durchschnitt bei 40,4 % liegt. Die Bandbreite unterschiedlicher Liegezeiten ist bei beiden Streustoffarten sehr groß und es gibt deutliche Überschneidungen der Werte (Bild 62). Insofern kann man von

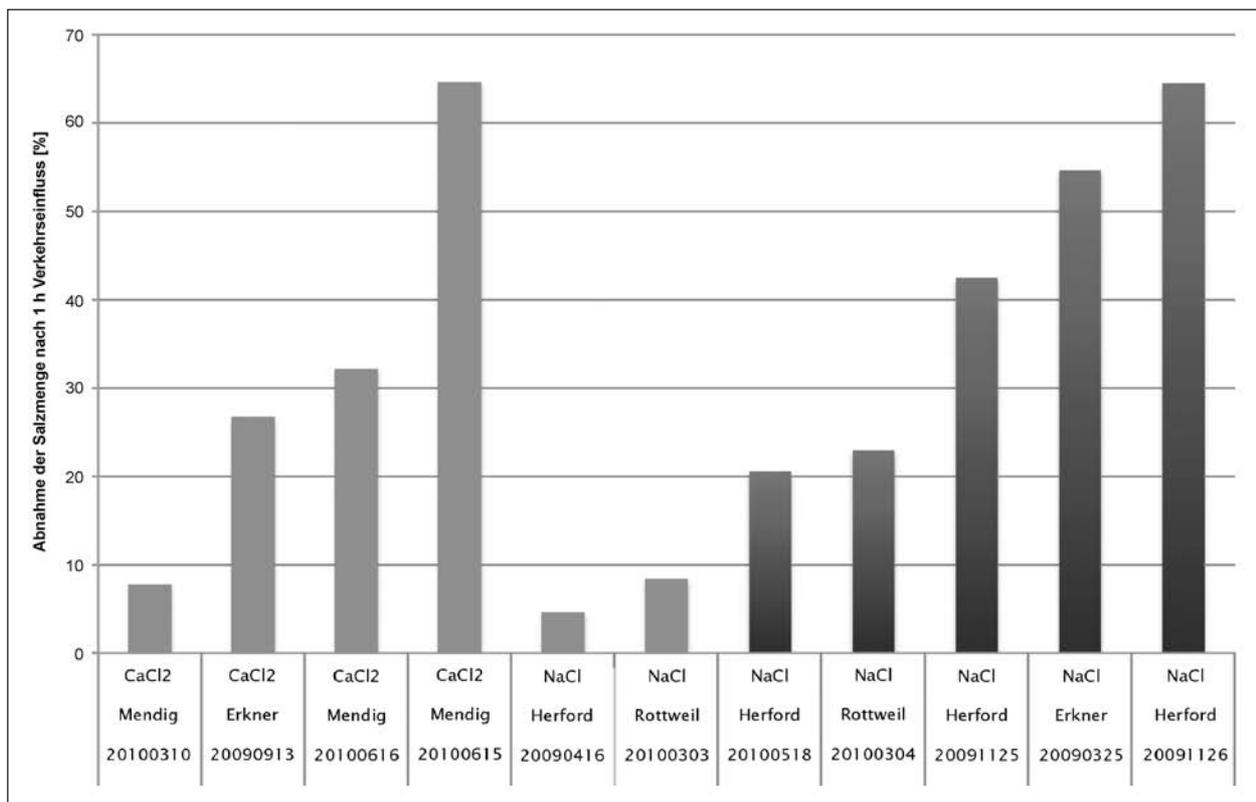


Bild 62: Prozentuale Abnahme der Streustoffmenge nach 1 h Verkehrseinwirkung – Sortierung der Werte nach Streustoffarten (Messungen 2009/10)

einer Tendenz zu längeren Liegezeiten bei CaCl_2 -Lösung sprechen, die jedoch statistisch nicht abgesichert ist.

7.2.3 Verkehrseinfluss

Durch das Abrollen der Reifen auf der Fahrbahnoberfläche, Verwirbelungen und Sprüheffekte wird ständig Taustoff von der Fahrbahn entfernt. Messtechnisch wurde erfasst, dass die Verlustrate in der ersten Stunde nach dem Sprühen am größten ist. Nach visuellen Beobachtungen ist sogar zu vermuten, dass es den wesentlichen Teil der Streustoffverluste bereits in den ersten Minuten gibt und dass 10-20 Fahrzeuge ausreichen, um einen erheblichen Teil des Streustoffes von der Fahrbahn zu entfernen. Das geschieht auch dadurch, dass Streustoff an den Fahrzeugen haften bleibt. Die Größenordnung des Verkehrseinflusses ist mit Sicherheit von Art und Zahl der Fahrzeuge abhängig. Dabei haben Lkw einen größeren Einfluss auf die Salzverluste als Pkw. In einer Forschungsarbeit des schwedischen Straßenforschungsinstitutes VTI wird damit gerechnet, dass Solo-Lkw das 5fache der Salzmenge und Lkw mit Anhänger bzw. Sattelzugmaschinen das 7fache an Salz im Vergleich zu Pkw verdrängen [2].

Für die Berechnungen in dieser Arbeit wird für sämtlichen Schwerverkehr mit dem Faktor 6 gerechnet. Die mit diesem Faktor multiplizierten Verkehrszahlen des Schwerverkehrs werden als Pkw-Äquivalent angesehen und dem Pkw-Verkehr gleichgesetzt (Tabelle 30). Für den Vergleich werden die Stundenwerte des Vormittagsverkehrs auf dem rechten Fahrstreifen verwendet. In diesem Zeitraum wurden auch die Messungen durchgeführt.

Die gemessenen durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeiten waren auf allen Autobahnabschnitten, auf denen die Liegezeiten der Streustoffe gemessen wurden, annähernd gleich. Sie betragen für den Lkw-Verkehr etwa 90 km/h und für den Pkw-Verkehr etwa 125 km/h. Aus diesem Grund kann die Verkehrsstärke als alleiniger Unterscheidungsfaktor für den Verkehrseinfluss angesehen werden.

Messort	Pkw	Lkw	Pkw Äquivalent
Herford	200	400	2.600
Mendig	350	300	2.150
Rottweil	420	180	1.500
Erkner	150	220	1.470

Tab. 30: Verkehrszahlen auf dem rechten Fahrstreifen für eine Stunde im Vormittagsverkehr

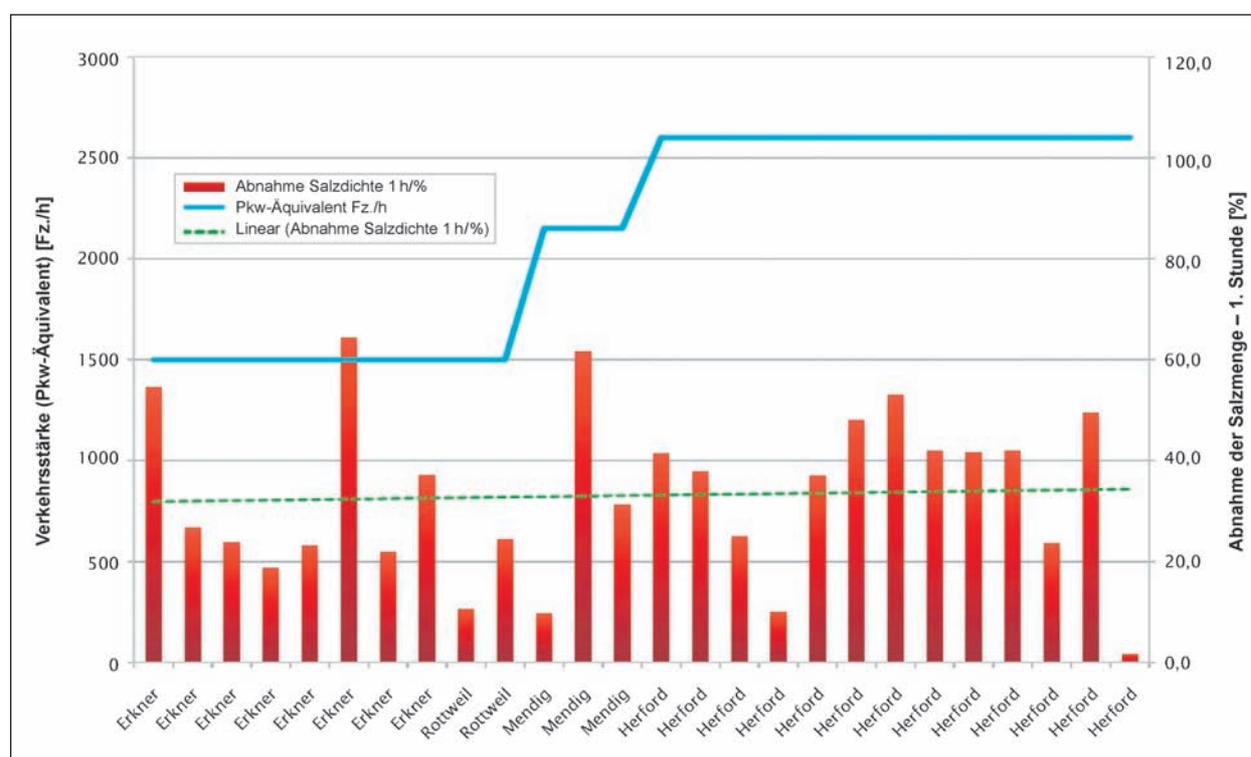


Bild 63: Prozentuale Abnahme der Streustoffmenge nach 1 h Verkehrseinwirkung – Sortierung der Werte nach Verkehrsstärke

Trägt man die Mittelwerte der Abnahme der Salzmenge nach einer Stunde aus den drei Stufen der Verkehrsstärke in einem Diagramm auf, so zeigt sich kein deutlicher Einfluss der Verkehrseinwirkung. Wegen der starken Streuung der Einzelwerte kann die dargestellte Abhängigkeit in ihrer Größenordnung noch nicht als allgemeingültig angesehen werden. Nach der eingezeichneten Trendlinie gibt es keinen Einfluss der Verkehrsstärke auf die prozentuale Abnahme der Salzmenge (Bild 63). Das gehört zu den überraschenden Ergebnissen der Messungen. Es ist jedoch anzunehmen, dass der Faktor Verkehrsstärke durch andere Einflussfaktoren überlagert wird. Im Zusammenhang mit der Verkehrsstärke ist mit Sicherheit der Faktor Fahrgeschwindigkeit von Bedeutung, der nicht untersucht werden konnte.

7.2.4 Restsalz aus früheren Einsätzen

Die Restsalzmengen aus vorangegangenen Einsätzen wurden nicht immer gemessen. Restsalz war vor allem dann zu vermuten, wenn winternahe Bedingungen herrschten und daher planmäßige Streueinsätze durchgeführt wurden. Die Auswertung der Messergebnisse unter diesem Aspekt zeigt relativ deutlich, dass größere Restsalzmengen zu geringeren Salzverlusten bei dem neu aufgetragenen Streustoff führen (Bild 64). Es ist ganz

klar der Trend festzustellen, dass bei höheren Restsalzmengen längere Liegezeiten des neu aufgetragenen Materials gemessen werden. Eine Erklärung für dieses Phänomen gibt es im Moment noch nicht. Man könnte es als „Imprägnierfaktor“ bezeichnen.

Der Imprägnierfaktor könnte auch eine Erklärung dafür geben, dass es oft zu Beginn der Winterdienstsaison und nach längeren Winterpausen, zu Problemen bei der Glättebekämpfung kommt.

Bei der Bewertung der Zusammenhänge muss jedoch auch berücksichtigt werden, dass hohe Restsalzmengen immer nur dann vorhanden sind, wenn winternahe Bedingungen (Temperatur, Luftfeuchte) vorherrschen, ohne dass stärkere Niederschläge auftreten. Auch diese Faktoren könnten in ihrer Wechselwirkung die Liegezeit beeinflussen.

7.2.5 Witterungseinflüsse

Neben dem Niederschlag können weitere Witterungseinflüsse von Bedeutung sein. Dazu gehören die Lufttemperatur, die relative Luftfeuchte und die Fahrbahntemperatur, welche durch die Witterung beeinflusst wird. Temperaturen und relative Luftfeuchtigkeit stehen im Tagesverlauf zumeist in direktem Zusammenhang. Bei steigenden Tempe-

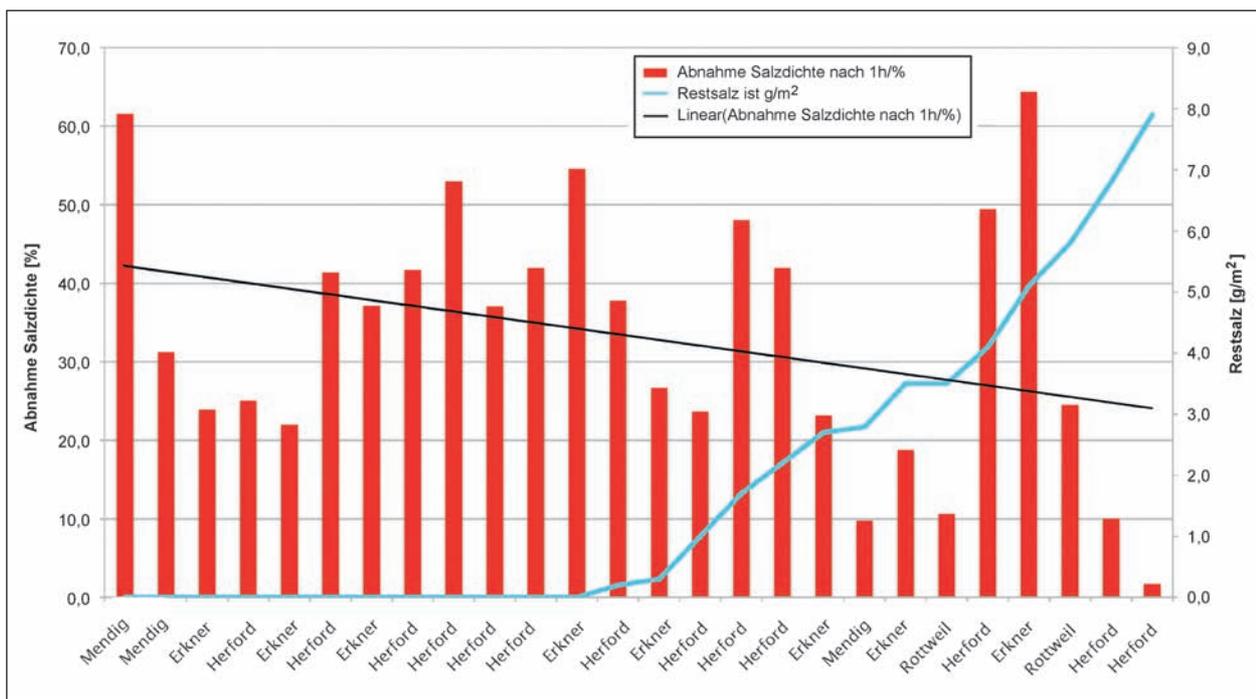


Bild 64: Prozentuale Abnahme der Streustoffmenge nach 1 h Verkehrseinwirkung – Sortierung der Werte nach Restsalzmenge

raturen geht die relative Luftfeuchtigkeit zurück und umgekehrt, soweit nicht Luftwechsel und Niederschläge die relative Luftfeuchtigkeit beeinflussen. In Zusammenhang mit der Liegezeit von Taustoffen ist es von Bedeutung, wie die genannten Einflüsse die Abtrocknung der Taustoffe auf der Fahrbahn beeinflussen. Hygroskopische Eigenschaften der Taustoffe führen zur Abtrocknung bzw. Wiederbefeuchtung von Taustoffen bei bestimmten Schwellenwerten der relativen Luftfeuchte.

Diese Schwellenwerte werden Deliqueszenzfeuchte genannt. Oberhalb der in Tabelle 31 aufgeführten Werte nehmen die Taustoffe Feuchtigkeit aus der Umgebungsluft auf. Unterhalb dieser Werte kann der Taustoff auf der Fahrbahn abtrocknen. Die an den Straßenwetterstationen in 4 m Höhe gemessene relative Luftfeuchte ist aber für die relative Luftfeuchte unmittelbar über der Straßenoberfläche nicht aussagekräftig, da an der Straßenoberfläche zumeist andere Temperaturen vorhanden sind und auch die Verdunstung von

Substanz	Deliqueszenzfeuchte/%
MgCl ₂	33
CaCl ₂	45
NaCl	76

Tab. 31: Deliqueszenzfeuchte unterschiedlicher Taustoffe

Fahrbahnfeuchte unmittelbar über der Fahrbahnoberfläche zu anderen relativen Luftfeuchtigkeitswerten führen wird.

Die Sortierung der Messwerte nach der relativen Luftfeuchte zeigt eine Tendenz zu größeren Salzverlusten bei höherer relativer Luftfeuchte (Bild 65). Bei dieser Bewertung ist jedoch zu berücksichtigen, dass hier nur der Wert der relativen Luftfeuchte zum Zeitpunkt der Soleausbringung einbezogen wird. Letztlich werden Abtrocknungsvorgänge vom zeitlichen Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit und der Temperaturen abhängig sein.

Es gibt jedoch keine Anzeichen dafür, dass sich hohe relative Luftfeuchte positiv auf die Liegezeit auswirkt.

In zwei weiteren Diagrammen ist die Abhängigkeit der Salzverluste von Fahrbahn- und Lufttemperatur dargestellt (Bild 66, Bild 67). Aus diesen Auswertungen ist der Trend erkennbar, dass mit zunehmenden Temperaturen eine schnellere Abnahme der Salzmenge auf der Fahrbahn gemessen wird. Dieser Trend wirft die Frage auf, ob die bis jetzt geübte Praxis, die Liegezeitmessung auch bei höheren Temperaturen durchzuführen, fortgesetzt werden kann. Die Erkenntnisse aus dieser Auswertung legen es nahe, die Messungen nur noch bei Luft- und Fahrbahntemperaturen durchzuführen, die bei maximal 10 °C liegen.

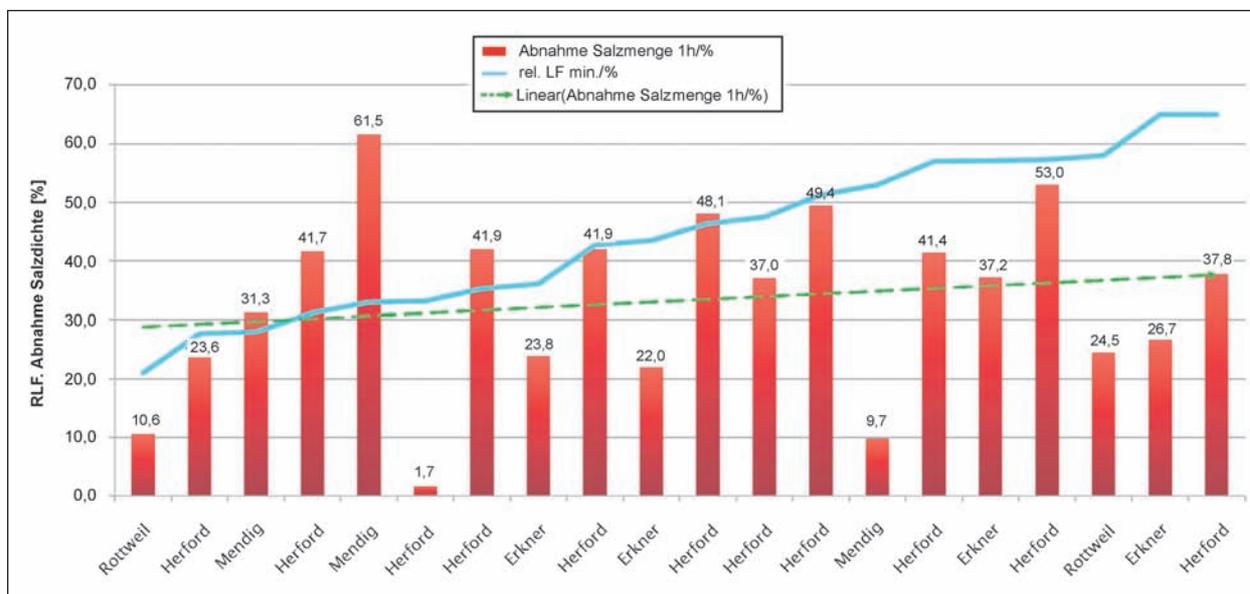


Bild 65: Prozentuale Abnahme der Streustoffmenge nach 1 h Verkehrseinwirkung – Sortierung der Werte nach zunehmender relativer Luftfeuchte

7.2.6 Oberflächenstruktur der Fahrbahn

Beton- und Asphaltstraßen besaßen in den Messbereichen eine unterschiedliche Oberflächenstruktur. Die mittlere Oberflächentexturtiefe in den Rollspuren der Messstrecken ergab folgende Werte:

- Betonfahrbahn: 0,25 bis 0,31 mm,
- Asphaltfahrbahn: 0,59 bis 1,02 mm.

Ursprüngliche Annahmen gingen davon aus, dass auf Asphaltfahrbahnen wegen der größeren Oberflächenrauigkeit ein größeres Speichervolumen für Salz oder Salzlösung vorhanden ist. Daraus hätten sich längere Liegezeiten ergeben können.

Aus den Messergebnissen ist keine Tendenz erkennbar. Auf Betonfahrbahnen wurden im Mittel die gleichen Liegezeiten gemessen wie auf Asphaltfahrbahnen (Bild 68).

Eine amerikanische Untersuchung, die im Jahr 2008 veröffentlicht wurde, kommt zu dem Ergebnis, dass die Liegezeiten von Taustoffen auf Beton grö-

ßer sind [15]. Die Ursache wird darin gesehen, dass bei Asphaltdecken mehr Salzlösung in die Fahrbahn eindringt und somit im Gegensatz zu Betondecken nicht mehr für die Tauwirkung an der Oberfläche zur Verfügung steht. Das gilt ausdrücklich nicht nur für offenporigen Asphalt.

7.2.7 Schlussfolgerungen aus der Bewertung der Einflussfaktoren

Die Auswertung der Ergebnisse zeigt Tendenzen auf, die aber nicht als statistisch abgesichert gelten können.

Ein Teil der nach ersten Messungen vermuteten Zusammenhänge hat sich nach Durchführung weiterer Messreihen nicht bestätigt.

Interessant ist, dass unter winternahen Bedingungen, bei hohen Restsalzmengen vor dem Sprühen und bei niedrigen Temperaturen bessere Werte für die Liegezeit gemessen wurden. Die Rautiefe der Fahrbahnoberfläche und die Art des Streustoffes haben nach den durchgeführten Messungen nur

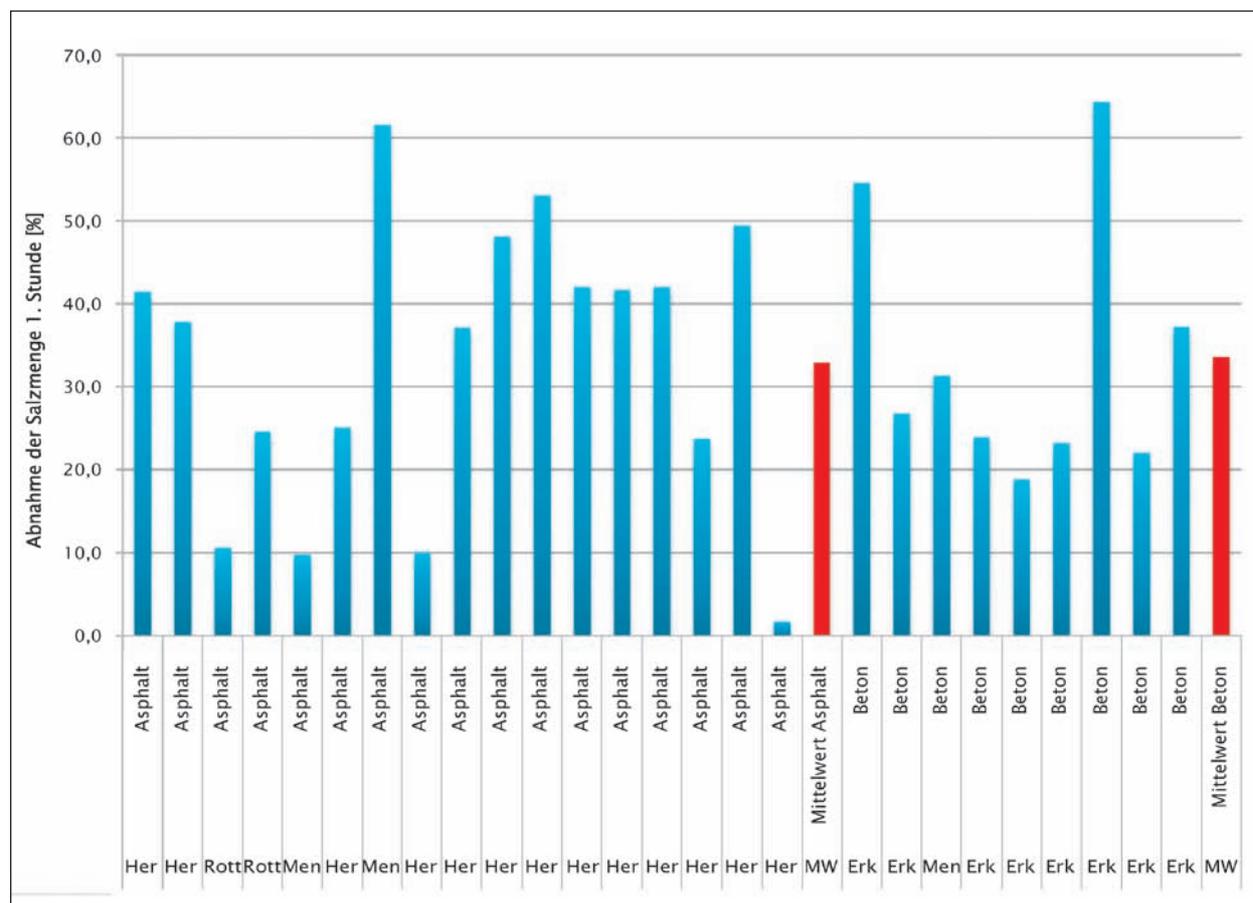


Bild 68: Prozentuale Abnahme der Streustoffmenge nach 1 h Verkehrseinwirkung – Sortierung der Werte nach der Fahrbahnoberfläche (Asphalt/Beton)

geringen Einfluss auf die Liegezeit. Auch die Verkehrsstärke hat nicht den vermuteten starken Einfluss auf die Liegezeit.

Die Zahl der bisher durchgeführten Messungen lässt keine statistisch abgesicherten Schlüsse zu. Bemerkenswert ist die große Streuung einzelner Messergebnisse unter scheinbar vergleichbaren Randbedingungen. Die Häufigkeitsverteilung der prozentualen Abnahme der Salzmenge in der ersten Stunde nach Ausbringung des Taustoffes lässt sich nicht auf eine Normalverteilung zurückführen. Ob die Ursache dafür verfahrensbedingte Messfehler sein könnten, wird in Kapitel 8 behandelt.

8 Messfehler bei den Salz mengenmessungen

Die Messung der Salz mengen mit dem Spül-Saug-Gerät erfolgt durch die Aufnahme des Taustoffes auf einer definierten Fläche von 1 m². Dabei wird unterschieden, welche Lage diese Fläche im Fahr-bahnquerschnitt hat. Die Unterscheidung für die Liegezeitmessungen erfolgt zwischen Aufnahme-flächen, die in der Rollspur und zwischen den Roll-spuren liegen. Um die Messergebnisse abzusichern, werden bei jeder Messreihe weitere Mes-sungen auf Flächen in gleicher Querschnittslage durchgeführt, die sich in 5 m Abstand in Längsrich-tung der Fahrbahn befinden.

Ein Vergleich der Messergebnisse auf den analo-gen Flächen liefert Informationen über die Sicher-heit der Messergebnisse.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich um ver-schiedene Flächen handelt, von denen nur ange-nommen werden kann, dass auf ihnen die gleiche Menge Taustoff ausgetragen wurde. Aus visuellen Beobachtungen lässt sich ableiten, dass der Streu-stoff aufgrund verschiedener Einflussfaktoren nicht gleichmäßig ausgebracht wird. Damit liegt auch auf den analogen Messflächen nicht die gleiche Streu-stoffmenge.

Bei der Analyse der vergleichbaren Messwerte ist aus diesem Grunde damit zu rechnen, dass sich die Schwankungen der Streudichte mit den Mess-fehlern des Verfahrens überlagern.

Beim Messverfahren sind folgende Fehlerquellen zu nennen:

- Abweichungen von der Aufnahmespur bei Mehr-fachüberfahrten über die Messfläche,
- Abweichung von der exakten Länge der Aufnah-mefläche,
- Verlust von Messflüssigkeit mit Taustoff bei der Aufnahme,
- Schwankung der elektrischen Leitfähigkeit der Messflüssigkeit,
- Fehler bei der Leitfähigkeitsmessung,

Zur Einschätzung der Größenordnung der Abwei-chungen wurden die Wertepaare der Messergeb-nisse auf analogen Messflächen verglichen. Es handelt sich um alle 126 Wertepaare der im Jahr 2011 durchgeführten Messungen. Der Vergleich wurde für die prozentualen und absoluten Abwei-chungen der Wertepaare geführt.

Für die prozentualen Abweichungen ergaben sich die in Tabelle 32 genannten Werte.

Bei etwa der Hälfte der Messungen wichen die Er-gebnisse bis maximal 5 % voneinander ab. Bei einem weiteren Viertel betrug die Abweichung zwi-schen 5 und 10 % (Bild 69). Die detaillierte Aus-

Abweichung	Anzahl
0-5 %	61
> 5-10 %	30
> 10-15 %	14
> 15-20 %	8
> 20 %	13
Summe	126

Tab. 32: Prozentuale Abweichung der Ergebnisse vergleichbarer Messungen

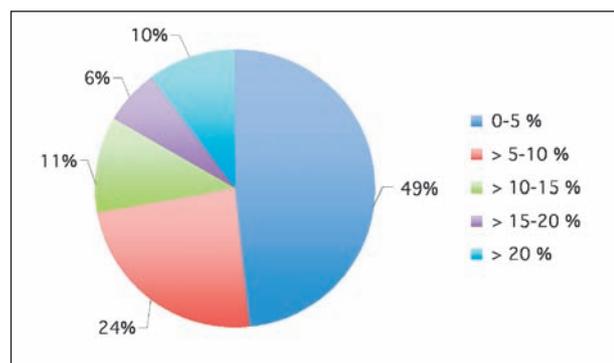


Bild 69: Verteilung der prozentualen Abweichung der Ergebnisse vergleichbarer Messungen

wertung der drei mehr als 50 % abweichenden Messwertpaare ergab in einem Fall keinen nachvollziehbaren Grund. Deshalb wurde diese Messung verworfen. In den zwei weiteren Fällen ist mit hoher Wahrscheinlichkeit die pulsierende Ausbringung Ursache für die Abweichung. Das ergab die Auswertung des Fotomaterials.

Bei der Bewertung der prozentualen Abweichungen muss auch berücksichtigt werden, dass es sich sehr häufig um kleine Salzmengen im Bereich von 0-4 g

Abweichung g/m ²	Anzahl
0-0,5	87
> 0,5-1	26
> 1-2	10
> 2	3
Summe	126

Tab. 33: Absolute Abweichung der Ergebnisse vergleichbarer Messungen

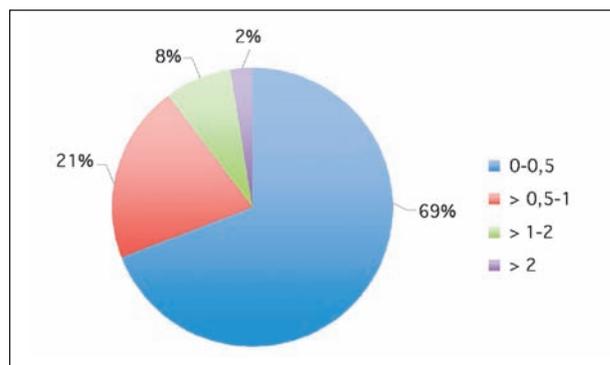


Bild 70: Verteilung der absoluten Abweichung (g/m²) der Ergebnisse vergleichbarer Messungen

handelt. Abweichungen der Messergebnisse in der Größenordnung von wenigen Zehntel Gramm führen dann bereits zu großen prozentualen Abweichungen. Aus diesem Grund ist auch die Analyse der Abweichung der absoluten Werte von Interesse.

Aus dieser Analyse geht hervor, dass die Abweichung bei 90 % der Messungen auf den analogen Flächen maximal 1 g/m² betrug (Bild 70).

Unter Berücksichtigung der Vielzahl von Einflussfaktoren kann festgestellt werden, dass die Salzmengen offenbar mit hoher Genauigkeit gemessen werden. Es gab nur wenige nicht plausible Abweichungen analoger Messwerte voneinander. Die große Streuung von Messwerten für die Liegezeit kann mit Sicherheit nicht auf Ungenauigkeiten des Messverfahrens zurückgeführt werden.

9 Einsatzverfahren mit Sole in den Wintern 2009/10 und 2010/11

9.1 Sprüheinsätze

Die Autobahnmeistereien, die in den Wintern 2009/2010 und 2010/11 Sole einsetzen wollten, wurden gebeten, ihre Einsatzverfahren systematisch zu dokumentieren. Dazu wurde ein einfacher Fragebogen verwendet (Tabelle 34). Beide Winter waren sehr schneereich. Deshalb lagen der Anteil und die Gesamtzahl der präventiven Streuungen unter den langjährigen Werten. Die Sprühtechnik stand wegen späterer Lieferung teilweise nicht für die gesamte Winterdienstsaison zur Verfügung.

Datum DD.MM	Uhrzeit hh:mm	Straße	Beobachtungsabschnitt Kilometer	vorhandener (sichtbarer) Fahrbahnzustand F – feucht/T – trocken N – nass/R – Reif S – Schneeglätte Ü – überfrorene Nässe E – Eisglätte	erwarteter Fahrbahnzustand F – feucht/N – nass R – Reif/ S – Schneeglätte Ü – überfrorene Nässe E – Eisglätte	Streudichte Sole g/m ²	Streudichte FS30 g/m ²	Bemerkungen über zusätzliche Beobachtungen, wie sichtbar auskristallisiertes Restsalz – RS	Initial Fahrer
14.11.	05:35	A 2	302,00	T	R	10		Beispiel – Notiz bei Sprühfahrt	GH
14.11.	07:00	A 2	302,00	F	F			Beispiel – Notiz bei Kontrollfahrt	GH
16.11.	08:50	A 2	302,00	N	S		15	Beispiel – Notiz bei FS30-Streuung	GH

Tab. 34: Fragebogen zur Erfassung der Einsatzverfahren

Bemerkenswert war die Tatsache, dass in vielen Bundesländern Interesse daran bestand, die neue Sprühtechnik zu erproben. In den Bundesländern Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und in der Stadt Berlin wurde in der Saison 2010/11 Sprühtechnik eingesetzt.

Bei den insgesamt 216 dokumentierten Einsätzen wurde bis auf einen Fall das erwünschte Ziel der Glättevermeidung erreicht (Tabelle 35). In einem Fall wurde nach dem Sprühen von 20 g/m² NaCl-Lösung bei -5 °C auf nasser Fahrbahn Glätte festgestellt. Der Fahrbahnabschnitt befand sich im Bereich einer Brücke.

Aus den mündlichen Berichten war zu entnehmen, dass der Taustoff schnell und präzise ausgebracht werden konnte. Bei schon vorhandenen Glätte-schichten trat die Wirkung sehr schnell ein. Es gab wenige Einzelbeobachtungen, dass auch geringe Schneeschichten schneller als mit FS30 beseitigt wurden.

In der Straßenmeisterei Würzburg und den Autobahnmeistereien Oberthulba und Trockau wurde auf offenporigem Asphalt (OPA) mit einer Kombination von FS30 und FS100 gearbeitet. Dabei wird über den Streuteller FS30 ausgebracht und zusätz-

lich über die Düsen Sole gesprüht. In einem Erfahrungsbericht der Autobahndirektion Nordbayern wird folgende Beschreibung der Effekte wiedergegeben: „Durch die Kombination der Feuchtsalzstreuung mit dem Solesprühen ergibt sich eine Verbindung der schnellen mit der nachhaltigen Tauwirkung. Dieser Effekt konnte insbesondere auf dem OPA-Belag festgestellt werden. Durch die Benetzung der Steinspitzen mit Sole ergibt sich eine sofortige Tauwirkung. Gleichzeitig werden die oberen Hohlräume des Asphaltes mit Feuchtsalz gefüllt, was die nachhaltige Tauwirkung begünstigt“ [16].

In Tabelle 36 sind die Dosiermengen aufgeführt, die bei den kombinierten Streuungen angewandt wurden.

Die Liegezeiten nach der kombinierten Ausbringung FS30/FS100 wurden nicht messtechnisch erfasst. Die praktischen Erfahrungen auf OPA waren sehr positiv.

9.2 Sprühtechnik

Hinsichtlich der technischen Ausführung der Sprühmaschinen bestehen unterschiedliche Auffassungen. Die von allen Herstellern angebotenen Ein-zweck-Sprühmaschinen haben den Vorteil, dass

Autobahn-, Straßenmeisterei	Höhe über NN	Soleart	Zahl der erfassten Einsätze	Mindestsprühdichte g/m ²	Maximalsprühdichte g/m ²	Durchschnittliche Sprühdichte g/m ²
Erkner	44	NaCl	42	10	20	12,5
Frankfurt/M.	140	MgCl ₂	10	10	15	10,5
Herford*	180	NaCl	71	12	72	15,0
Rottweil	690	NaCl	15	10	25	15,1
Mendig	260	NaCl	15	14	20	15,3
Würzburg	300	NaCl	8	10	15	10,8
München-Nord	500	NaCl	1	5	15	10,0
Oberthulba	460	NaCl	30	7	20	14,5
Trockau	530	NaCl	24	10	20	14,8

* Werte von ml/m² in g/m² umgerechnet

Tab. 35: Sprühdichten bei präventiven Einsätzen während der Einsatzerprobung

Meisterei	Höhe über NN	Soleart	Zahl der erfassten Einsätze	Sprühdichte FS100 g/m ²	Streudichte FS30 g/m ²
SM Würzburg	300	NaCl	6	15	5-10
AM Oberthulba	530	NaCl	16	13-18	9-16

Tab. 36: Dosiermengen bei kombinierter Streuung FS30/FS100

verhältnismäßig große Solemengen mitgeführt werden, mit denen große Streckenlängen bedient werden können. Bei dieser technischen Ausführung wird mit Wechselsystemen gearbeitet, damit alternativ auch eine FS30-Streumaschine mitgeführt werden kann. Kombinationsstreumaschinen bieten den Vorteil, dass sehr schnell auf unterschiedliche Witterungsbedingungen reagiert werden kann. Eine Umrüstung der Trägerfahrzeuge ist nicht notwendig.

Zur schnellen Betankung größerer Solemengen ist es erforderlich, die Pumpenleistungen und die Querschnitte der Befüllleitungen zu vergrößern. In

Datum jjjjmmdd		Salzstreu- dichte Soll g/m ²	Salzstreu- dichte Ist g/m ²	Diffe- renz g/m ²	Diffe- renz %
20091126	Herford	5,3	8,8	3,5	66,0
20110210	Herford	5,0	8,3	3,3	66,0
20110208	Herford	5,0	8,1	3,1	62,0
20091013	Erkner	3,7	5,7	2,0	54,1
20090325	Erkner	4,3	6,6	2,3	53,5
20110322	Herford	5,0	7,2	2,2	44,0
20110323	Herford	5,0	7,1	2,1	42,0
20110201	Erkner	4,0	5,5	1,5	37,5
20110324	Herford	10,0	13,3	3,3	33,0
20110202	Erkner	4,0	5,0	1,0	25,0
20110322	Herford	10,0	12,4	2,4	24,0
20110209	Herford	5,0	6,0	1,0	20,0
20101013	Erkner	4,1	4,8	0,7	16,6
20091125	Herford	5,3	5,8	0,5	9,4
20101215	Herford	5,9	6,2	0,3	5,1
20110315	Erkner	4,0	4,1	0,1	2,5
20110323	Herford	10,0	10,0	0,0	0,0
20110315	Erkner	8,0	7,8	-0,2	-2,5
20100310	Mendig	4,0	3,4	-0,6	-15,1
20110324	Herford	5,0	4,1	-0,9	-18,0
20100304	Rottweil	5,0	4,0	-1,0	-19,4
20100616	Mendig	4,0	3,2	-0,8	-20,0
20100615	Mendig	4,0	2,6	-1,4	-35,0
20110111	Erkner	2,0	1,3	-0,7	-35,0
20100303	Rottweil	5,0	3,1	-1,9	-37,5
20100518	Herford	5,9	3,6	-2,3	-39,0

Tab. 37: Abweichung der in der Rollspur ausgebrachten Salzmengen vom Sollwert

der AM Mendig sind bereits entsprechende technische Veränderungen realisiert. Damit ist es möglich, 1.000 l Sole pro Minute zu betanken. Die Möglichkeit der Rücksaugung des Schlauchinhaltes nach Abschluss der Betankung verhindert Soleverluste nach der Entkopplung des Schlauches und verbessert die Handhabbarkeit erheblich.

Von allen Anwendern wird die Soletechnologie für präventive Einsätze als praktikabel und vorteilhaft angesehen. Die Betriebssicherheit entsprach bei allen Versuchsmaschinen noch nicht den Anforderungen, die im Winterdienstinsatz gestellt werden müssen. Insbesondere die Querverteilung der Sole über die Fahrzeugbreite hinaus unterlag großen Abweichungen von den Sollwerten (Tabelle 37). Das wurde durch Messungen im Rahmen der Versuche, aber auch durch Augenschein während der praktischen Einsätze festgestellt. Geringste Abweichungen in der Ausrichtung der Weitstrahldüsen führen in Längsrichtung fast regelmäßig zu Streifen mit starker Unterdosierung. In anderen Bereichen des Fahrbahnquerschnittes entsteht dann durch Überschneidung der Sprühbereiche eine starke Überdosierung. Die stoßresistente Fixierung der Düsen muss verbessert werden.

Die Sprühleisten müssen so befestigt sein, dass in der winterdienstfreien Zeit ein Warnleitanhänger mitgeführt werden kann.

10 Betriebswirtschaftliche Aspekte der Soleanwendung

10.1 Kostenfaktoren

Die Anwendung der Soletechnologie hat Auswirkungen auf die Kosten des Winterdienstes, die in wesentlichen Punkten prognostiziert werden können. Es sind folgende Kostenfaktoren zu betrachten:

- Fahrzeugkosten,
- Maschinenkosten,
- Ausrüstungskosten (Streustofflagerung und -umschlag),
- Streustoffkosten,
- Personalkosten.

Für eine Prognose der betriebswirtschaftlichen Auswirkungen wurden von den Straßenbauverwal-

tungen, die Pilotprojekte mit der Soletechnologie durchführen, Kosteninformationen eingeholt, die in die Berechnung eingeflossen sind.

Als Basis- und Vergleichstechnologie wird FS30 mit selbst hergestellter NaCl-Sole angesehen. Der Kostenvergleich wird beispielhaft für eine „Durchschnittliche Autobahnmeisterei“ mit einem durchgehenden Autobahnabschnitt von 70 km Länge mit 140 km zweistreifiger Richtungsfahrbahn geführt (Definition nach MK 8/Anlage 1). Für den Vergleich werden ausschließlich die Hauptfahrbahnen betrachtet.

10.2 Behältergrößen und Maschinenkosten

Grundsätzlich wird zwischen Kombimaschinen (FS30- + Solesprühmaschine) und reinen Solesprühmaschinen unterschieden.

Kombimaschinen basieren konstruktiv auf den FS30-Streumaschinen. Sie sind mit zusätzlichen Soletanks und Sprühdüsen ausgerüstet. Die Soletankkapazität kann zumeist durch ein Baukastensystem mehrstufig erweitert werden.

Solesprühmaschinen bestehen aus einem oder mehreren Tanks, der Dosiereinrichtung und den Sprühdüsen.

Die derzeit bekannten Anschaffungskosten für Solesprühtechnik haben vorläufigen Charakter, da es sich bei den beschafften Maschinen zumeist um Prototypen handelt, deren Preise nicht im Rahmen eines Ausschreibungsverfahrens ermittelt worden sind.

Aus der Vielzahl möglicher Maschinenkonfigurationen werden für den Kostenvergleich zwei Grundtypen in jeweils zwei Baugrößen ausgewählt:

- Baugröße 1 ist für 70 km Streulänge mit zwei Fahrstreifen dimensioniert.

Grundtyp	Baugröße	Einsatzaufgabe	Behältervolumen	
			Salz	Sole
Kombinationsstreumaschine (K)	1	70 km Streulänge – 2-streifig	4 cbm	7.400 l
Kombinationsstreumaschine (K)	2	70 km Streulänge – 3-streifig	5 cbm	10.600 l
Sprühmaschine (S)	1	70 km Streulänge – 2-streifig	0 cbm	7.400 l
Sprühmaschine (S)	2	70 km Streulänge – 3-streifig	0 cbm	10.600 l

Tab. 38: Mindestbehältergrößen in Abhängigkeit von der Einsatzaufgabe auf Autobahnen

- Baugröße 2 ist für 70 km Streulänge mit drei Fahrstreifen ausgelegt.

Als Bemessungstredichten wurden 10 g/m² für FS30 und 15 g/m² für FS100 zugrunde gelegt. Daraus ergeben sich die in Tabelle 38 aufgeführten Mindestgrößen für Trockensalz- und Solebehälter.

10.3 Fahrzeugkosten

Für die Soletechnologie können zusätzliche Anschaffungskosten für Fahrzeuge anfallen. Die Höhe dieser Kosten ist von der vorgesehenen technologischen Variante abhängig.

Beim Einsatz von Solesprühtechnik ist eine höhere Nutzmasse der Fahrzeuge erforderlich. Eine überschlägliche Berechnung des Nutzlastbedarfes für die unterschiedlichen Grundtypen und Baugrößen ist in Tabelle 39 zusammengestellt. Die eingesetzten Lastwerte können im Einzelfall abweichen und müssen daher bei der Fahrzeugauswahl immer individuell berechnet werden. Bei Kombinationsstreumaschinen muss zur gleichmäßigeren Lastverteilung auf die Achsen zumeist eine Mindestmenge an Salz mitgeführt werden (Mindestsalzfüllung). Bei Sprühmaschinen wird davon ausgegangen, dass zum schnellen Wechseln der Streumaschinen (FS30/FS100) Wechselsysteme (z. B. Hakenlift) eingesetzt werden.

	Eigen-gewicht	Wechsel-vorrich-tung	Mindest-salz-füllung	Sole	Nutz-last-bedarf
Grundtyp/ Baugröße	t	t	t	t	t
K/1	1,9	0,0	1,0	8,3	11,2
K/2	2,3	0,0	1,0	12,4	15,7
S/1	1,5	1,0	0,0	8,3	10,8
S/2	1,7	1,0	0,0	12,4	15,1

Tab. 39: Nutzlastbedarf verschiedener Konfigurationen von Sprühmaschinen

Aus dem Nutzlastbedarf ist abzuleiten, dass für die Einsatzaufgaben auf Autobahnen in allen Fällen mindestens 3-achsige Fahrzeuge erforderlich sind. Bei drei Richtungsfahrbahnen entsteht ein Nutzlastbedarf, der für 3-achsige Fahrzeuge zumindest besondere Vorkehrungen erfordert, um die zulässigen Lasten einzuhalten. Dazu zählen die Auflastung der Fahrzeuge und der Festaufbau von Kombistreumaschinen.

In der Kostenberechnung wird auf die Fahrzeuggröße nicht eingegangen, da auch für die FS30-Technologie in zunehmendem Maße bereits 3-achsige Fahrzeuge eingesetzt werden.

Zur Erfüllung der speziellen Anforderungen an die Ladekapazität (drei Richtungsfahrbahnen mit OPA-Belag) werden bei der Autobahndirektion Nordbayern vereinzelt 4-achsige Fahrzeuge eingesetzt. Das ist mit technologischen Berechnungen gut nachvollziehbar.

10.4 Ausrüstungskosten

Für die Anpassung der Solelagerung und des Soleumschlages an den erhöhten Bedarf können je nach Ausgangssituation zusätzliche Kosten anfallen.

Als Extremszenarium wird folgende Anforderung formuliert: Das Solelagervolumen muss in Kombination mit einer Kapazität zur Eigenherstellung von Sole dafür ausreichen, dass die Hauptstrecken an einem Tag einmal präventiv mit Sole (20 g/m²) und anschließend nach einem Witterungsumschlag ab 6:00 Uhr im 3-Stunden-Turnus mit FS30 (20 g/m²) behandelt werden, der bis zu 72 Stunden fortgesetzt wird.

Daraus leiten sich für den Soleverbrauch folgende Tagesmengen ab (s. Tabelle 40).

Nach MK 8 [19] ist bisher eine Solelagerkapazität von 80.000 l vorgesehen. Dieses Lagervolumen ist

	Solebedarf m ³ /Tag
1. Tag (Beginn mit präventiver Solesprühung gegen 2:00 Uhr)	56
2. Tag und Folgetage	48

Tab. 40: Täglicher Solebedarf für „Durchschnittliche Autobahnmeisterei“ mit Soletechnologie

auch für den Soleeinsatz ausreichend, sollte aber unbedingt durch eine Anlage zur Eigenherstellung von Sole ergänzt werden, da die praktisch realisierbaren Nachlieferfristen für Sole nicht ausreichen, um die kontinuierliche Solebereitstellung zu sichern. Diese Situation tritt auch bei der FS30-Technologie häufig auf. Das führt offenbar sehr häufig dazu, dass FS30 wegen Solemangels nicht durchgeführt werden kann.

Soleerzeuger werden in unterschiedlichen Bauarten angeboten. In Tabelle 41 sind die wichtigsten Bauarten und deren Kosten zusammengestellt.

Der Bedarf an zusätzlicher Lager- und Lösekapazität muss im Einzelfall in Kenntnis der vorhandenen Kapazitäten erfolgen. Die Einführung der Soletechnologie erfordert zwingend, die auch schon bisher bei der FS30-Technologie vorhandenen Engpässe in der Solebereitstellung zu beheben. In Meistereien, in denen ausreichend Sole für die FS30-Technologie bereitgestellt werden kann, werden in den meisten Fällen keine zusätzlichen Investitionen für die Soleerzeugung und -lagerung erforderlich sein.

Bei Einführung der Soletechnologie müssen in jedem Fall Vorkehrungen dafür getroffen werden, dass die Befüllung der Sprühmaschinen innerhalb kürzester Zeit erfolgen kann. Dazu müssen die Leitungsquerschnitte von den Tanks bis in die Sprühmaschinen auf mindestens Nennweite 100 vergrößert werden. Außerdem ist eine Pumpenkapazität zu installieren, die Befüllmengen von 1.000 l/min ermöglicht. Darüber hinaus muss der Befüllschlauch (Verbindung zwischen Soleanlage und Streumaschine) trotz der großen Nennweite noch handhabbar sein. Das kann durch die Rücksaugung der Sole aus dem Befüllschlauch gewährleistet werden.

Die Kosten für die Erhöhung der Soleumschlagkapazität sind nach Erfahrungen der AM Mendig mit 14.000 € anzusetzen.

Bauweise	Preis incl. MwSt/€
Soleerzeuger zur automatisierten Herstellung von NaCl-Sole mit externer Beschickung (Lösevolumen 2.000 l/h)	40.000
Soleerzeuger zur automatisierten Herstellung von NaCl-Sole mit eigener Silobevorratung von ca. 40 cbm Salz (Lösevolumen 2.000 l/h)	70.000
Schnelllöseanlage für NaCl (Lösevolumen 24.000 l/h), für die Beschickung ist ein Salzsilo erforderlich	34.000

Tab. 41: Investitionskosten für Solelöseanlagen

10.5 Streustoffkosten

Streustoffkosten sind beim Straßenwinterdienst ein erheblicher Kostenfaktor. Speziell beim Autobahnwinterdienst entfallen bis zu 40 % der Gesamtkosten auf Streustoffe.

Kosten für Streustoffe sind von der Art des Streustoffes, dem Lieferanten, der Transportentfernung und dem Zeitpunkt der Bestellung abhängig. Für die nachfolgende Betrachtung wurden Preisinformationen von Herstellern und Kunden aus dem Jahr 2010 ausgewertet. Es wurden mittlere Transportentfernungen gewählt und ein Mittelwert zwischen Sommer- und Winterbezug gebildet. Alle Preisangaben beinhalten die Mehrwertsteuer.

Bei NaCl-Lösung wurden die Kostenangaben verwendet, welche die Verwaltungen für selbst hergestellte Sole genannt haben.

Bei der Preisabfrage wurde deutlich, dass teilweise relativ große Preisunterschiede bestehen. Die großen Preisspannen sind zum Teil durch regionale Unterschiede begründet, die zum Beispiel bei NaCl-Lösung vorkommen. Es ist auch von Bedeutung, ob die Preise im Rahmen größerer Ausschreibungen angeboten oder für kleinere Einzelaufträge kalkuliert wurden. Teilweise war aber auch nur eine Preisangabe verfügbar. In Tabelle 42 sind die niedrigsten und höchsten genannten Preise als „unterer“ und „oberer“ Preis aufgeführt. Für die weiteren Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit wurde ein „Berechnungspreis“ gebildet, bei dem auch die Häufigkeit der Preisangaben gewichtet wurde.

Aus den Preisen der einzelnen Streustoffe wurden die Kosten für die Streustoffkombinationen errech-

net, die bei den verschiedenen Streutechnologien eingesetzt werden. Um die Vergleichbarkeit der Kosten herzustellen, wurde außerdem der Begriff „Dosierfaktor“ eingeführt. Er beschreibt, in welchem Mengenverhältnis die Streustoffe unter vergleichbaren Bedingungen dosiert werden. Nach den bisherigen Erfahrungen sollte bei Präventivstreuung im Vergleich zur Streudichte bei FS30 die 1,5fache Menge Sole verwendet werden. Wären zum Beispiel 10 g/m² FS30 eingesetzt worden, wird mit 15 g/m² Sole kalkuliert. Diese Relation ergibt sich aus der bei Präventiveinsätzen mit FS30 durchschnittlich angewandten Streudichte von 10 g/m² [5] und der Sprühdichte, die mit 15 g/m² aus den Einsatzerfahrungen 2009/2010 errechnet wurde (s. Tabelle 35, Kapitel 9). Zur Verdeutlichung der Relationen zwischen den Streustoffpreisen wird ein Preisindex gebildet. Damit wird der Bezug zur „Standardtechnologie“ FS30 mit selbst erzeugter NaCl-Sole hergestellt, deren Preisindex mit 1,00 angesetzt ist.

Aus Tabelle 43 und Bild 71 wird sehr deutlich, dass allein aus der Wahl der Streustoffe ganz erhebliche Kostenunterschiede entstehen. Eine Verringerung der Streustoffkosten tritt nur ein, wenn die Soletechnologie mit selbst hergestellter NaCl-Sole durchgeführt wird. Wird Sole eingesetzt, deren Kosten über denen von NaCl liegen, ist in jedem Fall mit Kostenerhöhungen zu rechnen. Die fallen besonders drastisch aus, wenn CaCl₂-Lösung verwendet wird. Von Praktikern wird jedoch immer wieder berichtet, dass der Einsatz von CaCl₂-Lösung eine wesentlich nachhaltigere Wirkung hinterlässt. Der messtechnische Nachweis dafür konnte noch nicht mit hinreichender Sicherheit erbracht werden.

Streustoff	unterer Preis €/t	oberer Preis €/t	Berechnungspreis €/t
NaCl	60,00	79,14	65,00
NaCl-Lösung/20 % Eigenherstellung	16,70	25,00	22,00
NaCl-Lösung/20 % Fremdbezug	26,00	59,50	29,00
CaCl ₂ -Lösung/20 % Eigenherstellung	75,00	75,00	75,00
CaCl ₂ -Lösung/20 % Fremdbezug	85,00	85,00	85,00
MgCl ₂ -Lösung/20 %	59,24	84,49	70,00

Tab. 42: Streustoffkosten, Stand 2010

	Preis €/t	Dosierfaktor	Preisindex
FS0 – NaCl	65,00	1	1,25
FS30 mit NaCl-Lösung – Eigenherstellung	52,10	1	1,00
FS30 mit NaCl-Lösung – Fremdbezug	54,20	1	1,04
FS30 mit CaCl ₂ -Lösung – Eigenherstellung	68,00	1	1,31
FS30 mit CaCl ₂ -Lösung – Fremdbezug	71,00	1	1,36
FS30 mit MgCl ₂ -Lösung	66,50	1	1,28
FS100 mit NaCl-Lösung – Eigenherstellung	22,00	1,5	0,63
FS100 mit NaCl-Lösung – Fremdbezug	29,00	1,5	0,83
FS100 mit CaCl ₂ -Lösung – Eigenherstellung	75,00	1,5	2,16
FS100 mit CaCl ₂ -Lösung – Fremdbezug	85,00	1,5	2,45
FS100 mit MgCl ₂ -Lösung	70,00	1,5	2,02

Tab. 43: Preisrelationen für die gebräuchlichen Streustoffkombinationen

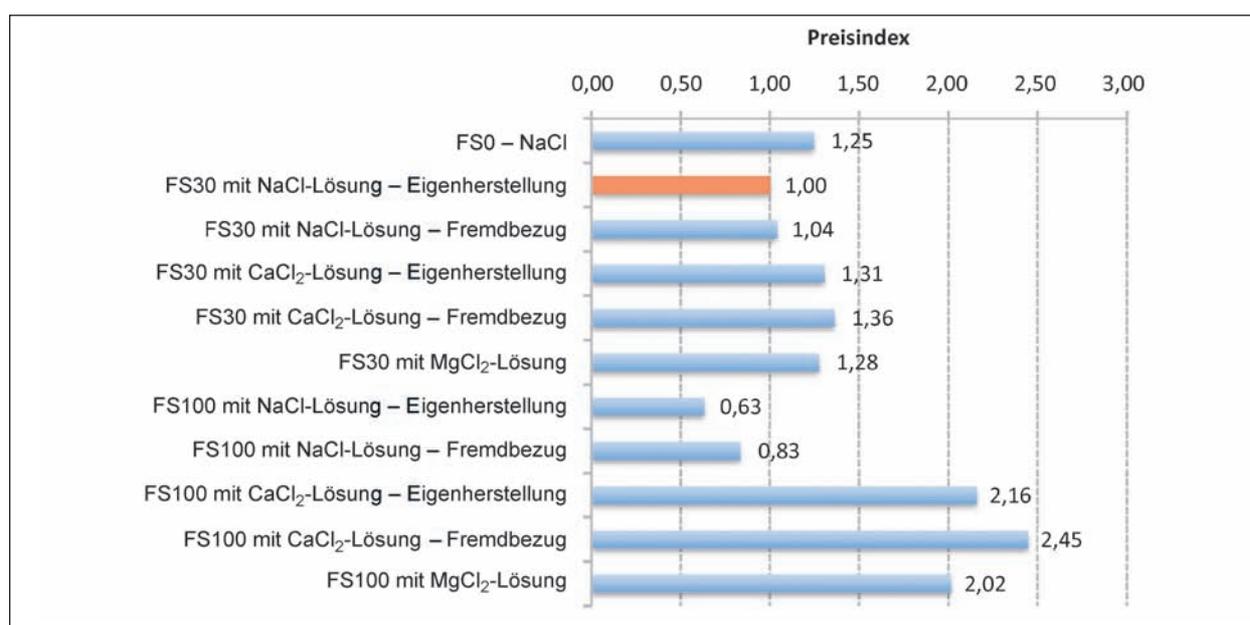


Bild 71: Preisindex im Verhältnis zu FS30 mit selbst hergestellter NaCl-Lösung

10.6 Personalkosten

Die Abweichungen im Personalaufwand sind bei der Soletechnologie im Vergleich zur FS30-Technologie relativ gering. So können etwas höhere Arbeitsgeschwindigkeiten gefahren werden, die zu geringeren Umlaufzeiten führen. Die Einsparungen pro Streuschleife können maximal 20 Minuten betragen. Auch die Zusammenlegung von Streuschleifen wäre denkbar. Insgesamt sind keine wesentlichen Zeiteinsparungen zu erwarten. Aus diesem Grund wird vorerst davon ausgegangen, dass der Technologiewechsel keine Auswirkungen auf die Personalkosten hat.

10.7 Kostenvergleich

Das Einsparpotenzial der Soletechnologie im Vergleich mit FS30 liegt bei den Streustoffkosten. Einsparungen können für den Fall ausgewiesen werden, bei dem selbst hergestellte NaCl-Lösung verwendet wird.

Die finanzielle Größenordnung der möglichen Einsparungen in einer Winterdienstsaison wird für eine „Durchschnittliche Autobahnmeisterei“ nach MK 6a [20] mit 140 km zweistreifiger Richtungsfahrbahn, für eine Autobahnmeisterei gleicher Streckenlänge mit dreistreifigen Richtungsfahrbahnen berechnet.

Auf Grundlage statistischer Daten mehrerer Bundesländer wurden durchschnittliche Einsatzzahlen für Winterdiensteseinsätze zusammengestellt. (Tabelle 44).

Der durchschnittliche Anteil präventiver Einsätze wird je nach Höhenlage des Netzes unterschiedlich eingeschätzt.

Wegen der unterschiedlichen Gesamtzahl der Einsätze ist die absolute Zahl der Präventiveinsätze in allen Höhenlagen jedoch annähernd gleich. Für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wird daher einheitlich mit einer Zahl von 50 Präventiveinsätzen pro Saison gerechnet.

Die Einsatzbegriffe sind nach [17] wie folgt definiert:

- Räumeeinsatz: „Winterdiensteseinsatz, bei dem die bearbeiteten Strecken nicht nur bestreut werden, sondern zumindest auf einem Teil der Strecken auch mechanisch Schnee geräumt wird.“
- Streueinsatz: „Winterdiensteseinsatz, bei dem alle bearbeiteten Strecken nur bestreut, nicht aber geräumt werden.“

Als durchschnittliche Streu- bzw. Sprühdichten werden folgende Werte angenommen:

- FS30: 10 g/m² (nach Datenerhebungen in [5]),
- FS100: 15 g/m² (Durchschnittswert aus den Aufschreibungen der Autobahnmeistereien, die in

der Saison 2009/2010 und 2010/2011 Sole-sprühmaschinen getestet haben).

Aus dem Streustoffverbrauch für einen Volleinsatz im betreffenden Netz werden unter Berücksichtigung der Zahl der Präventiveinsätze und der Streustoffkosten pro Tonne die Streustoffgesamt-kosten einer Autobahnmeisterei für eine Saison berechnet.

Die Streustoffkosten werden aus Kapitel 10.5 übernommen:

- NaCl-Streusalz: 65,00 €/t,
- NaCl-Sole (Eigenherstellung): 22,00 €/t.

Danach ergeben sich differenziert nach den in Tabelle 45 aufgeführten Streuaufgaben folgende Be-

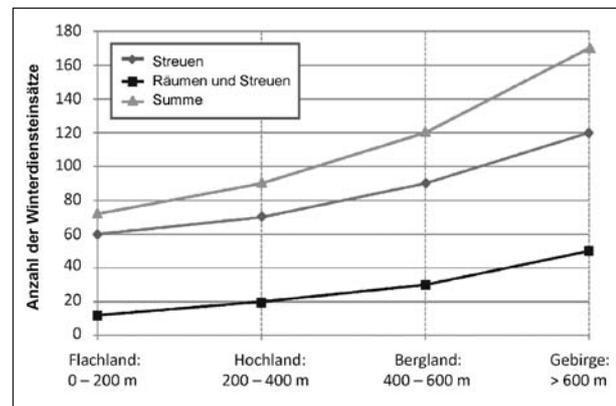


Bild 72: Durchschnittliche Anzahl der Räum- und Streueinsätze auf deutschen Autobahnen in Abhängigkeit von der Höhenlage

Bezeichnung: Höhenlage ü. NN	Streuen	Räumen und Streuen	Summe	Anteil präventiv geschätzt	Präventiv-einsätze
	Anzahl Einsätze	Anzahl Einsätze	Anzahl Einsätze	%	Anzahl
Flachland: 0-200 m	60	12	72	70	50
Hochland: 200-400 m	70	20	90	55	50
Bergland: 400-600 m	90	30	120	40	48
Gebirge: > 600 m	120	50	170	30	51

Tab. 44: Durchschnittliche Zahl von Räum- und Streueinsätzen in unterschiedlichen Höhenlagen

Streuaufgabe	Streustrecke km	Streubreite m	Streufäche m ²	FS30		FS100
				NaCl-Verbrauch t	Sole-verbrauch t	Sole-verbrauch t
2 Fahrstreifen Hauptfahrbahn	140	7,5	1.050.000	7,35	3,15	15,75
3 Fahrstreifen Hauptfahrbahn	140	11,3	1.575.000	11,03	4,73	23,63
3 Fahrstreifen Hauptfahrbahn	210	11,3	2.362.500	16,54	7,09	35,44

Tab. 45: Streustoffbedarf für einen Volleinsatz bei unterschiedlichen Netzlängen und Streubreiten

Präventiv – 50 Einsätze	Trockensalz	Sole	Trockenstoff NaCl	Streustoffkosten
Streustoffjahresverbrauch FS30/t	368	158	399	27.353 €
Streustoffjahresverbrauch FS100/t	0	788	158	17.325 €
Einsparung/t			242	10.028 €
Einsparung/%			61	37

Tab. 46: Jährliche Streustoffeinsparungen durch Soleeinsatz in einer Autobahnmeisterei mit 140 km Streu- bzw. Sprühlänge und 7,5 m Streubreite

Präventiv – 50 Einsätze	Trockensalz	Sole	Trockenstoff NaCl	Streustoffkosten
Streustoffjahresverbrauch FS30/t	551	236	599	41.029 €
Streustoffjahresverbrauch FS100/t	0	1.181	236,25	25.988 €
Einsparung/t			362	15.041 €
Einsparung/%			61	37

Tab. 47: Jährliche Streustoffeinsparungen durch Soleeinsatz in einer Autobahnmeisterei mit 140 km Streu- bzw. Sprühlänge und 11,3 m Streubreite

rechnungsergebnisse für Streustoffbedarf, Streustoffkosten und Streustoffeinsparung (Tabelle 46, Tabelle 47).

Aus den Berechnungen ist ersichtlich, dass durch die Veränderung der Technologie bei der präventiven Streuung pro Autobahnmeisterei und Saison je nach Streufläche zwischen 240 und 360 t Salz eingespart werden können. Das sind etwa 60 % der bisher bei der präventiven Streuung verwendeten Salzmenge.

Unter den Voraussetzungen, dass für präventive Einsätze mit FS100 nur etwa 60 % der Salzmenge benötigt wird wie mit FS30 und dass bei kurativen Einsätzen etwa 50 % mehr Streustoff ausgebracht wird als bei präventiven Einsätzen, gilt der in folgender Grafik dargestellte Zusammenhang für die Einsparung der Salzmenge (Bild 73).

Den Einsparungen bei den Streustoffkosten stehen Investitionskosten in Sprühtechnik und die Erhöhung der Soleverladekapazität gegenüber.

Unterschieden nach unterschiedlichen Arbeitsumfängen wird in Tabelle 48 der Mindestbedarf an zusätzlichen Maschinen und Ausrüstung aufgeschlüsselt. Für jede Tour auf Hauptstrecken sind ein Kombistreuer oder eine Sprühmaschine erforderlich, um die FS100-Technologie bei Einhaltung der Vorgaben des Leistungsheftes Straßenunterhaltung durchzuführen. Ursprüngliche Überlegungen, mit einer Sprühmaschine im präventiven Einsatz zwei Touren zu bedienen, haben sich nicht als praktikabel erwiesen. Die Umlaufzeit von maximal 2 Stunden würde in diesem Fall nicht eingehalten. Die Si-

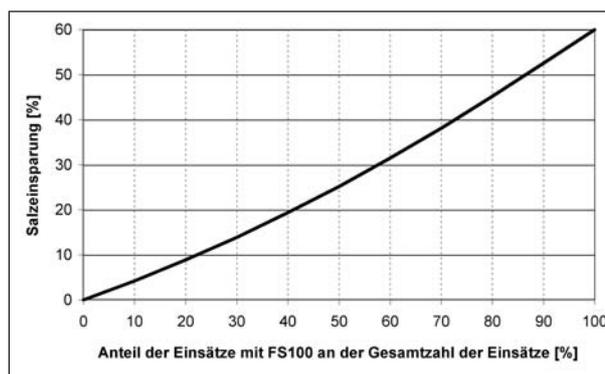


Bild 73: Salzeinsparung in Abhängigkeit vom Anteil präventiver Einsätze

Zusatz-ausrüstung	Zusatz-kosten pro Stück	140 km Streustrecke 2-streifig	140 km Streustrecke 3-streifig
Kombistreuer	35.000 €	2	2
alternativ Sprühmaschine	48.000 €	2	2
Soleverladung	14.000 €	1	1

Tab. 48: Zusätzlicher Ausrüstungsbedarf für den Soleeinsatz

cherheit bei der Glättevorbeugung würde sich mit der Erhöhung der Umlaufzeiten verringern, da die Prognosesicherheit mit steigendem Vorlauf sinkt.

Aus der Gegenüberstellung der Einsparungen an Streustoffkosten und der Zusatzkosten errechnet sich die jährliche Kostenbilanz pro Meisterei (Tabelle 49, Tabelle 50). Mit Kombistreumaschinen ergibt sich in jedem Fall eine positive Bilanz. Mit Sole-sprühmaschinen werden bei größeren Verkehrsflä-

chen (140 km 3-streifige Richtungsfahrbahn) Einsparungen ausgewiesen.

	Einheit	Kombistreu- maschine	Solesprüh- maschine
Zusatzkosten pro Meisterei und Jahr	€	8.295	13.335
Einsparung an Streustoffkosten	€	10.028	10.028
Einsparung pro Meisterei und Jahr	€	1.733	-3.307

Tab. 49: Einsparungspotenzial bei 140 km 2-streifiger Richtungsfahrbahn

	Einheit	Kombistreu- maschine	Solesprüh- maschine
Zusatzkosten pro Meisterei und Jahr	€	9.695	14.735
Einsparung an Streustoffkosten	€	15.041	15.041
Einsparung pro Meisterei und Jahr	€	5.346	306

Tab. 50: Einsparungspotenzial bei 140 km 3-streifiger Fahrbahn

In Abhängigkeit von der Winterhärte schwankt der jährliche Streustoffverbrauch erheblich. Abweichungen von 100 % vom langjährigen Mittelwert sind keine Ausnahme. Deshalb wurde ein Berechnungsalgorithmus entwickelt, mit dem das Einsparungspotenzial für Streustoffe einer kompletten Organisationseinheit berechnet werden kann. Um die Berechnung einfach und übersichtlich zu gestalten, wird von folgenden Grunddaten ausgegangen:

1. Jahresverbrauch zurückliegender Jahre von NaCl als Trockenstoff in der FS30-Technologie,
2. Einkaufspreis von NaCl pro Tonne (brutto),
3. Herstellungskosten oder Einkaufspreis pro Kubikmeter Sole (brutto),
4. prognostizierter prozentualer Anteil von FS100-Einsätzen.

Das als Excel-Tabelle gestaltete Berechnungsprogramm kann die Einsparung an Streustoffkosten durch Einführung der FS100-Technologie berechnen.

In den Tabellen 51 bis 53 sind Berechnungsergebnisse für typische Konstellationen aufgeführt.

Die Berechnungsbeispiele zeigen, wie durch die Wechselwirkung zwischen dem Streubedarf bei un-

FS30 -Technologie			Einheit		Einheit		Einheit	
Jahresverbrauch NaCl	t	3.500	Kosten NaCl	€	227.500	Preis NaCl	€/t	65,00
Anteil Präventiv – Touren	%	40						
Anteil Präventiv – Mengen	%	32						
Jahresverbrauch NaCl präventiv	t	1.120						
Jahresverbrauch Sole bei 100 % FS30	m ³	1.286	Kosten Sole	€	28.299	Preis Sole	€/m ³	22,00
Summe Streustoffkosten				€	255.799			
FS100 und FS30								
Jahresverbrauch NaCl	t	2.380	Kosten NaCl	€	154.700			
Jahresverbrauch Sole für FS30	m ³	875	Kosten Sole	€	19.243			
Präventiv mit FS100 Jahresverbrauch Sole	m ³	2.053	Kosten Sole	€	45.173			
			Summe Streustoffkosten	€	219.117			
			Einsparung pro Jahr	€	36.682			
Eingabefeld								
Ergebnisfeld								

Tab. 51: Autobahnmeisterei im Flachland, niederschlagsreicher Winter, 40 % Präventivstreuung mit FS100

terschiedlichen Winterbedingungen und dem Anteil der FS100-Sprühung trotz unterschiedlicher Eingangsdaten ähnlich hohe Einsparungen erzielt werden.

FS30 -Technologie	Einheit			Einheit			Einheit	
Jahresverbrauch NaCl	t	2.000	Kosten NaCl	€	130.000	Preis NaCl	€/t	65,00
Anteil Präventiv – Touren	%	70						
Anteil Präventiv – Mengen	%	63						
Jahresverbrauch NaCl präventiv	t	1.260						
Jahresverbrauch Sole bei 100 % FS30	m ³	735	Kosten Sole	€	16.171	Preis Sole	€/m ³	22,00
Summe Streustoffkosten				€	146.171			
FS100 und FS30								
Jahresverbrauch NaCl	t	740	Kosten NaCl	€	48.100			
Jahresverbrauch Sole für FS30	m ³	272	Kosten Sole	€	5.983			
Präventiv mit FS100 Jahresverbrauch Sole	m ³	2.310	Kosten Sole	€	50.820			
			Summe Streustoffkosten	€	104.903			
			Einsparungpro Jahr	€	41.268			
Eingabefeld								
Ergebnisfeld								

Tab. 52: Autobahnmeisterei im Flachland, niederschlagsarmer Winter, 70 % Präventivstreuung mit FS100

FS30 -Technologie	Einheit			Einheit			Einheit	
Jahresverbrauch NaCl	t	4.500	Kosten NaCl	€	292.500	Preis NaCl	€/t	65,00
Anteil Präventiv – Touren	%	25						
Anteil Präventiv – Mengen	%	19						
Jahresverbrauch NaCl präventiv	t	844						
Jahresverbrauch Sole bei 100 % FS30	m ³	1.654	Kosten Sole	€	36.385	Preis Sole	€/m ³	22,00
Summe Streustoffkosten				€	328.885			
FS100 und FS30								
Jahresverbrauch NaCl	t	3.656	Kosten NaCl	€	237.656			
Jahresverbrauch Sole für FS30	m ³	1.344	Kosten Sole	€	29.563			
Präventiv mit FS100 Jahresverbrauch Sole	m ³	1.547	Kosten Sole	€	34.031			
			Summe Streustoffkosten	€	301.250			
			Einsparungpro Jahr	€	27.635			
Eingabefeld								
Ergebnisfeld								

Tab. 53: Autobahnmeisterei im Mittelgebirgsvorland, niederschlagsreicher Winter, 25 % Präventivstreuung mit FS100

Der Anteil der Präventiveinsätze wird regional sehr unterschiedlich eingeschätzt. Das resultiert wahrscheinlich auch aus unterschiedlichen Auffassungen über die Durchführung von präventiven Einsätzen. Das Berechnungsschema in Form einer Excel-Tabelle ermöglicht die schnelle Berechnung unterschiedlicher Varianten. Dabei können Jahresverbrauch, Anteil der Präventiv-Touren und Preise für die Taustoffe variiert werden. Der wirtschaftliche Nutzen der FS100-Technologie verringert sich mit dem Anteil der Präventiv-Touren.

Neben der Höhe der Taustoffpreise kommt es vor allem auf die Preisrelation zwischen NaCl und Sole an. Liegt der Solepreis nahe dem Preis für NaCl, können auch Mehrkosten durch Einführung der FS100-Technologie entstehen.

11 Schlussfolgerungen

Die durchgeführten Messungen bestätigen, dass der Salzanteil in Salzlösungen bei präventivem Einsatz unter Verkehrseinwirkung eine deutlich längere Liegezeit hat als Salz, das mit der FS30-Technologie ausgebracht wird.

Die Soletechnologie wird dazu beitragen, dass Reifglätte und überfrierende Nässe mit größerer Sicherheit vermieden werden können. Die daraus resultierende Erhöhung der Verkehrssicherheit verringert die Unfallzahlen und bewirkt volkswirtschaftlichen Nutzen.

Nach einer Stunde Verkehrseinwirkung befinden sich nach FS30-Streuung nur noch etwa 20 % des ausgebrachten Salzes auf der Fahrbahn. Wird das

Salz in gelöster Form als Sole ausgebracht, sind nach einer Stunde noch etwa 70 % des ausgebrachten Salzes auf der Fahrbahn.

Aus den Messungen ist klar zu erkennen, dass es sehr komplexe Wirkungen der verschiedenen Einflussfaktoren auf die Liegezeit der Sole gibt. Wegen dieser Komplexität der Einflussfaktoren, die sich bei Feldmessungen nur wenig beeinflussen und trennen lassen, wurden möglichst viele Messungen unter wechselnden Bedingungen durchgeführt.

Bei der präventiven Sprühung können durch Einsatz der FS100-Technologie etwa 60 % Taustoff eingespart werden. Damit werden Umweltbelastungen durch den Winterdienst deutlich reduziert.

Die betriebswirtschaftliche Bilanz der Soletechnologie ist abhängig von der technologischen Konstellation in der jeweiligen Autobahnmeisterei. In den meisten Fällen können Kosteneinsparungen erzielt werden.

Die Messungen an verschiedenen Tagen und Orten weisen im Vergleich untereinander eine hohe Streuung der Ergebnisse aus.

Die Durchführung zusätzlicher Messungen in der Winterdienstsaison 2010/11 hat zur besseren statistischen Absicherung der Ergebnisse beigetragen. Es war aber zu verzeichnen, dass sich bisher vermutete und durch erste Messungen bekräftigte Wirkungen von Einflussfaktoren auf die Liegezeit nicht bestätigt haben.

Ein Überblick über die Wirkung der Einflussfaktoren wird in Tabelle 54 gegeben.

Einflussfaktor	Wirkungstendenz	Aussagesicherheit
Streustoffart	Liegezeit für CaCl ₂ -Lösung geringfügig höher als für NaCl-Lösung	gering
Verkehrsstärke	geringer Einfluss	mittel
Restsalzmengen	größere Restsalzmengen – längere Liegezeit	hoch
Luftfeuchte	hohe Luftfeuchte – geringere Liegezeit	gering
Lufttemperatur	hohe Lufttemperatur – geringere Liegezeit	gering
Fahrbahntemperatur	hohe Lufttemperatur – geringere Liegezeit	gering
Makrorauigkeit der Fahrbahn	kein Einfluss im Vergleich zwischen hohlraumarmem Asphalt und Beton	mittel
Fahrgeschwindigkeit	nicht untersucht	
Niederschlag	starke Verringerung der Liegezeit	absolut sicher

Tab. 54: Wirkung der Einflussfaktoren auf die Liegezeit

Die Aussagesicherheit wird als gering eingeschätzt, wenn eine leichte Tendenz sichtbar ist, es aber bei einzelnen Messungen erhebliche Abweichungen von der Tendenz gibt.

Die Aussagesicherheit wird als mittel eingeschätzt, wenn eine deutliche Tendenz sichtbar ist, es aber bei einzelnen Messungen erhebliche Abweichungen von der Tendenz gibt.

Die Aussagesicherheit wird als hoch eingeschätzt, wenn eine sehr deutliche Tendenz sichtbar ist, es aber trotzdem einzelnen Messungen erhebliche Abweichungen von der Tendenz gibt.

Der geringe Einfluss der Verkehrsstärke auf die Liegezeit ist als überraschend anzusehen. Die Verkehrsstärke hat vor allem Einfluss auf die Geschwindigkeit der Anfangsverluste. Für die praktische Wirkung ist es jedoch nicht entscheidend, ob die hohen Anfangsverluste innerhalb von 2, 10 oder 15 Minuten entstehen. Größeren Einfluss könnte nach visuellen Beobachtungen die Geschwindigkeit der Fahrzeuge haben. Die Einsatzverfahren mit Salzlösung waren in den beiden vergangenen Winterdienstperioden fast ausschließlich positiv.

Für die Einsatzpraxis ist eine sehr wichtige Erfahrung, dass für präventive Streuungen mit dem 1,5fachen der bei der FS30-Technologie üblichen Streudichte sicher gearbeitet werden kann. Diese Relation ist auch durch die Ergebnisse der Liegezeitmessungen bestätigt. Die Mindeststredichte sollte jedoch bei 10 g/m² liegen.

Bezogen auf die im Merkblatt für den Winterdienst, Ausgabe 2010 [18] für FS30 empfohlenen Anhaltswerte ergeben sich für NaCl-Lösung als FS100 ausgebracht folgende Sprühdichten (in g/m²) (s. Tabelle 55).

Für die praktische Anwendung der Empfehlungen über die Sprühdichte kann es zweckmäßig sein,

5g/m²-Schritte vorzugeben. Es ist in diesem Zusammenhang darauf hinzuweisen, dass bei Einsatz so geringer Taustoffmengen eine hohe Qualität und Sicherheit der Salzlösungsausbringung unabdingbar sind. Die Erfahrungen bei den Tests haben gezeigt, dass es in der Quer- und Längsverteilung der Sole oft erhebliche Abweichungen von den eingestellten Sprühdichten gibt. Eine Querverteilung der Salzlösung findet durch den Verkehr bei geringer Feuchte oder trockener Fahrbahn kaum statt. Es besteht daher die Gefahr, dass durch schlechte Sprühqualität lokale Glätte auftritt. Das muss unbedingt vermieden werden.

Darüber hinaus muss auch sichergestellt sein, dass die Konzentration der Sole den Anforderungen für den Winterdiensteinsatz genügt. Bei Eigenherstellung der Salzlösung sollten Dichtemessungen zur Feststellung der Solekonzentration mindestens einmal täglich durchgeführt und protokolliert werden, da Fehlfunktionen von Salzlöseanlagen nicht vollkommen ausgeschlossen werden können.

Es gibt einige Erfahrungen, die bestätigen, dass Sole auch bei geringem Schneefall und dünnen Schneedecken besonders wirkungsvoll eingesetzt werden kann. Berichtet wird vor allem über die im Vergleich zu FS30 besonders schnelle Wirkung der Sole unter diesen Bedingungen.

Aus den praktischen Erfahrungen wird die Einsatzgrenze für Sole derzeit mit -6 °C angegeben.

Weitere Erfahrungen, insbesondere auch zu den Grenzbereichen der Einsatzmöglichkeiten, sollten auch in der kommenden Winterdienstsaison systematisch dokumentiert und ausgewertet werden.

Im Detail und als Voraussetzung für eine breite praktische Anwendung sind vor allem folgende Fragen zu klären:

1. Bis zu welcher Temperatur hält die Wirkung der Salzlösung unter Frostbedingungen an?

vorhandener Fahrbahnzustand	erwarteter Fahrbahnzustand	erwartete Fahrbahntemperatur		
		um 0 °C	bis -3 °C	bis -6 °C
trocken	Reif	10	12	15
Reif		10	12	15
feucht	überfrierende Feuchte	10	15	23
feucht-nass	überfrierende leichte Nässe	15	23	38
Nässe	Schneefall (Schneeglätte)	23	30	45

Tab. 55: Empfohlene Sprühdichte beim Einsatz von FS100

2. Welche Empfehlungen für die Sprühdichte sind durch praktische Erfahrungen abgesichert?
3. Gibt es wesentliche Unterschiede in der Wirkung der unterschiedlichen Salzlösungen?

12 Literatur

- [1] BADEL, H.: Beurteilung der Streustoffverteilung im Winterdienst, Teil 2: Bestimmung der Wiederholbarkeit von Streubildbeurteilungen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 186, Bergisch Gladbach 2009
- [2] BLOMQUIST, G. GUSTAFSSON, M.: The environmental sub-model of the Swedish winter model, Swedish National Road and Transport Research Institute, XIII. International Winter Road Congress, Quebec 2010
- [3] HANKE, H.: Die Streutechnik der Zukunft – Wirkungsoptimierung und Qualitätssicherung, Kolloquium Straßenbetriebsdienst, Karlsruhe 2009
- [4] HANKE, H.: Optimized spreading of salt and brine in winter service, XIII. International Winter Road Congress, Quebec 2010
- [5] HAUSMANN, G.: Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben FE 03.0404/2005HRB im Auftrag der BAST, 2008
- [6] HAUSMANN, G.: Distribution of the de-icing salts on the road surface, XIII. International Winter Road Congress, Quebec 2010
- [7] HAUSMANN, G.: Maîtrise du dosage en fondant routier/Distribution of the deicing salts on the road surface, Routes/Roads Paris (2010) 1
- [8] HOFMANN, M. et al.: Projekte „Safecote“ & „Feuchtsalzoptimierung“, Vortrag Golling 2010
- [9] IKIZ, N.: Field and Laboratory Investigation of Anti-Icing/Pretreatment, Dissertation, Russ College of Engineering and Technology of Ohio University, Juni 2008
- [10] JONSON, P., BLOMQUIST, G., GUSTAFSSON, M.: Wet Dust Sampler – Technological Innovation for Sampling Particles and Salt on Road Surface, Swedish National Road and Transport Research Institute, Seventh International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology, June 16-19, 2008 Indianapolis
- [11] KNUDSEN, F.: Der Einsatz von Salzlauge in Dänemark, Vortrag Epoke-Soletage 2010
- [12] MITCHELL et al.: Evaluation of ODOT Roadway/Weather Sensor Systems for Snow and Ice Removal Operations, Part III: Optimization of Salt Brine Pretreatment Application Rates and Frequency, Final Report September 2003
- [13] NIEBRÜGGE, L.: Versuche zur Verteilung von Taustofflösungen im Winterdienst, Kolloquium Straßenbetriebsdienst, Karlsruhe 2009
- [14] Road Directorate, County of Funen, Prewetted salt versus brine on motorway, 2003
- [15] RUSS et al.: Durability of Brine Applications for Winter Maintenance on Asphalt and Portland Cement Concrete Pavements, Transportation Research Board, Annual Meeting 2008, Paper 08-2608
- [16] SCHWEMMER: Erfahrungen Kombistreuer, interner Bericht, Autobahndirektion Nordbayern, Nürnberg 2011
- [17] Begriffsbestimmungen Winterdienst, VKS-Fachausschuss Winterdienst, Informationsschrift 20, Köln 1993
- [18] Merkblatt für den Winterdienst auf Straßen, Ausgabe 2010, FGSV, Arbeitsausschuss Winterdienst
- [19] Maßnahmekatalog Straßenbetriebsdienst, MK 8, Ermittlung des Fahrzeug- und Gerätebedarfs für Autobahn- und Straßenmeistereien, Ausgabe 2003
- [20] Maßnahmekatalog Straßenbetriebsdienst, MK 6a, Optimierung von Einsatzverfahren – Empfehlung für die Organisation des Winterdienstes bei Autobahn- und Straßenmeistereien, Ausgabe 2004

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2008

- V 165: Ermittlung des Beitrages von Reifen-, Kupplungs-, Brems- und Fahrbahnabrieb an den PM₁₀-Emissionen von Straßen
Quass, John, Beyer, Lindermann, Kuhlbusch, - Hirner, Sulkowski, Sulkowski, Hippler € 14,50 -
- V 166: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2006 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 26,00
- V 167: Schadstoffe von Bankettmaterial – Bundesweite Datenauswertung
Kocher, Brose, Siebertz € 14,50
- V 168: Nutzen und Kosten nicht vollständiger Signalisierungen unter besonderer Beachtung der Verkehrssicherheit
Frost, Schulze € 15,50
- V 169: Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen
Wermuth, Wulff € 15,50
- V 170: Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen
Roos, Zimmermann, Riffel, Cyra € 16,50
- V 171: Pilotanwendung der Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN)
Weinert, Vengels € 17,50
- V 172: Luftschadstoffe an BAB 2007
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50
- V 173: Bewertungshintergrund für die Verfahren zur Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offenerporiger Straßenbeläge
Altreuther, Beckenbauer, Männel € 13,00
- V 174: Einfluss von Straßenzustand, meteorologischen Parametern und Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PM_x-Belastung an Straßen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden. -
Düring, Lohmeyer, Moldenhauer, Knörr, Kutzner, - Becker, Richter, Schmidt € 29,00 -
- V 175: Maßnahmen gegen die psychischen Belastungen des Personals des Straßenbetriebsdienstes
Fastenmeier, Eggerdinger, Goldstein € 14,50

2009

- V 176: Bestimmung der vertikalen Richtcharakteristik der Schallabstrahlung von Pkw, Transportern und Lkw
Schulze, Hübel € 13,00
- V 177: Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A24
Lerner, Hegewald, Löhe, Velling € 13,50
- V 178: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2007 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen € 26,00
- V 179: Straßenverkehrszählung 2005: Methodik
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,50
- V 180: Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn
Hausmann € 14,50

- V 181: Voraussetzungen für dynamische Wegweisung mit integrierten Stau- und Reisezeitinformationen
Hülsemann, Krems, Henning, Thiemer € 18,50
- V 182: Verkehrsqualitätsstufenkonzepte für Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern
Sümmermann, Lank, Steinauer, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen € 17,00
- V 183: Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen
Lank, Sümmermann, Steinauer, Baur, Kemper, Probst, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen, Jachtmann, Hebel € 24,00
- V 184: Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern
Alrutz, Bohle, Müller, Prahlow, Hacke, Lohmann € 19,00
- V 185: Möglichkeiten zur schnelleren Umsetzung und Priorisierung straßenbaulicher Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit
Gerlach, Kesting, Thiemeyer € 16,00
- V 186: Beurteilung der Streustoffverteilung im Winterdienst
Badelt, Moritz € 17,00
- V 187: Qualitätsmanagementkonzept für den Betrieb der Verkehrsrechnerzentralen des Bundes
Kirschfink, Aretz € 16,50

2010

- V 188: Stoffeinträge in den Straßenseitenraum – Reifenabrieb
Kocher, Brose, Feix, Görg, Peters, Schenker € 14,00
- V 189: Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM₁₀-Belastung an Straßen
Düring, Lohmeyer, Pöschke, Ahrens, Bartz, Wittwer, - Becker, Richter, Schmidt, Kupiainen, Pirjola, - Stojiljkovic, Malinen, Portin € 16,50 -
- V 190: Entwicklung besonderer Fahrbahnbeläge zur Beeinflussung der Geschwindigkeitswahl
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Lank, Steinauer, Busen € 29,50
- V 191: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2008
Fitschen, Nordmann € 27,00
Dieser Bericht ist als Buch und als CD erhältlich oder kann ferner als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
- V 192: Anprall von Pkw unter großen Winkeln gegen Fahrzeugrückhaltesysteme
Gärtner, Egelhaaf € 14,00
- V 193: Anprallversuche an motorradfahrerfreundlichen Schutzeinrichtungen
Klöckner € 14,50
- V 194: Einbindung städtischer Verkehrsinformationen in ein regionales Verkehrsmanagement
Ansorge, Kirschfink, von der Ruhren, Hebel, Johanning € 16,50
- V 195: Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen
Londong, Meyer € 29,50
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
- V 196: Sicherheitsrelevante Aspekte der Straßenplanung
Bark, Kutschera, Baier, Klemps-Kohnen € 16,00
- V 197: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2008
Lensing € 16,50
- V 198: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2005/2006
Kocher, Brose, Chlubek, Karagüzel, Klein, Siebertz € 14,50
- V 199: Stoffeintrag in Straßenrandböden - Messzeitraum 2006/2007
Kocher, Brose, Chlubek, Görg, Klein, Siebertz € 14,00

V 200: Ermittlung von Standarts für anforderungsgerechte Datenqualität bei Verkehrserhebungen
Bäumer, Hautzinger, Kathmann, Schmitz,
Sommer, Wermuth € 18,00 -

V 201: Quantifizierung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen
Vieten, Dohmen, Dürhager, Legge € 16,00

V 218: Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tausalösungen
Hausmann € 16,00

2011

V 202: Einfluss innerörtlicher Grünflächen und Wasserflächen auf die PM₁₀-Belastung
Endlicher, Langner, Dannenmeier, Fiedler, Herrmann,
Ohmer, Dalter, Kull, Gebhardt, Hartmann € 16,00 -

V 203: Bewertung von Ortsumgehungen aus Sicht der Verkehrssicherheit
Dohmen, Vieten, Kesting, Dürhager, Funke-Akbiyik € 16,50

V 204: Einfluss von Straßenrandbegrünung auf die PM₁₀-Belastung
Bracke, Reznik, Mölleken, Berteilt, Schmidt € 22,00
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 205: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2009
Fitschen, Nordmann € 27,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 206: Sicherheitspotenzialkarten für Bundesstraßen nach den ESN
Färber, Lerner, Pöppel-Decker € 14,50

V 207: Gestaltung von Notöffnungen in transportablen Schutzeinrichtungen
Becker € 16,00

V 208: Fahrbahnquerschnitte in baulichen Engstellen von Ortsdurchfahrten
Gerlach, Breidenbach, Rudolph, Huber, Brosch, Kesting € 17,50

V 209: Stoffeintrag in Straßenrandböden - Messzeitraum 2008/2009
Beer, Surkus, Kocher € 14,50

2012

V 210: Schmale zweibahnig vierstreifige Landstraßen (RQ 21)
Maier, Berger € 18,50

V 211: Innliegende Linkseinfädeltstreifen an plangleichen Knotenpunkten innerorts und im Vorfeld bebauter Gebiete
Richter, Neumann, Zierke, Seebo € 17,00

V 212: Anlagenkonzeption für Meistereigehöfte – Optimierung von Arbeitsabläufen
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 213: Quantifizierung von Verkehrsverlagerungen durch Baustellen an BAB
Laffont, Mahmoudi, Dohmen, Funke-Akbiyik, Vieten € 18,00

V 214: Vernetzungseignung von Brücken im Bereich von Lebensraumkorridoren
Schmellekamp, Tegethof
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 215: Stauprävention auf BAB im Winter
Kirschfink, Poschmann, Zobel, Schedler € 17,00

V 216: Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen (AOSI)
Lippold, Weise, Jährg € 17,50

V 217: Verbesserung der Bedingungen für Fußgänger an Lichtsignalanlagen
Alrutz, Bachmann, Rudert, Angenendt, Blase,
Fohlmeister, Häckelmann € 18,50 -

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.