

Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 156

The logo for 'bast' is written in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving it a 3D appearance. It is positioned in the bottom right corner of the page.

Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen

von

Horst Badelt
Reinhold Seliger
Karl Moritz
Simon Scheurl
Gerd Häusler

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 156

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, Referat 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 Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum AP 01671:
Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen

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

Redaktion
Referat 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 978-3-86509-687-6

Bergisch Gladbach, Juni 2007

Kurzfassung – Abstract

Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen

Tauleistungsmessungen im Labor widersprechen der häufig geäußerten Annahme, dass Feuchtsalz aufgrund der Anfeuchtung deutlich schneller reagiert als getrocknetes Natriumchlorid. Auf Eisplatten aufgetragenes trockenes Natriumchlorid beginnt praktisch sofort mit einer Tauwirkung. Die bessere Wirkung des Feuchtsalzes im Vergleich zu trocken ausgebrachten Tausalz in der Praxis entsteht nur durch wesentlich geringere Verwehverluste während und nach dem Ausbringen.

Ausgehend von dieser Erkenntnis entstand die Überlegung, inwieweit durch eine Verringerung des Lösungsanteils bei der Anfeuchtung des Trockenanteils (Anfeuchtungsgrad) im gleichen Umfang eine Verwehung verhindert werden kann. Eine Verringerung der Lösungsanteile soll Kosten für die Lösungen senken, die heute erforderliche, im Vergleich zum Trockensalz lange Ladezeit senken und gegebenenfalls die mögliche Lademenge von tauwirksamen Trockenstoffen für eine längere Streustrecke erhöhen.

Zunächst fanden Tauleistungsmessungen im Labor mit Natriumchlorid und unterschiedlichen Anfeuchtungsgraden statt, anhand deren Ergebnissen sich keine Senkung der Tauleistung infolge der Reduzierung der Lösungsmenge bei gleich bleibendem Trockenstoffanteil ableiten ließ. Die Messergebnisse führten allerdings zu teilweise unterschiedlichen Aussagen, die vorrangig auf die Genauigkeit des Messverfahrens zurückgeführt werden.

Durchgeführte Praxisversuche zeigten, dass eine reduzierte Anfeuchtung nicht zu höheren Verwehverlusten führen muss. Die Streubilder wurden dabei visuell beim Ausbringen durch eine Hinterherfahrt beurteilt.

Ein geänderter Anfeuchtungsgrad führt nach den durchgeführten Beobachtungen zu einem geänderten Flugverhalten der Tausalze vom Streuteller. Dieses führte wiederum zu ungleichmäßigeren Verteilungen der Tausalze auf der Fahrbahn. Eine Korrektur dieses geänderten Wurfverhaltens war an den eingesetzten Streumaschinentypen nicht möglich.

Anhand der Versuche waren auch sehr deutliche Unterschiede zwischen den eingesetzten Streumaschinentypen erkennbar. Während ein Maschinen-

typ eine Absenkung des Anfeuchtungsgrades unter 30 ohne wesentlich höhere Verwehverluste zulässt, hatte ein anderer Maschinentyp Schwierigkeiten, bei dem Anfeuchtungsgrad 30 eine vollständige Anfeuchtung zu erreichen. Eine verringerte Lösungsmenge ohne Erhöhung der Verwehverluste setzt nach den Beurteilungen eine optimale Anfeuchtungstechnik voraus, die bei einem eingesetzten Typ nach einer Korrektur des Wurfverhaltens auch erreichbar scheint. Diese Korrektur war aber an der eingesetzten Streumaschine nicht möglich.

Ein weiteres wesentliches Ergebnis der Versuche war der Einfluss der Tausalze auf die Streubilder. Bei der Streudichte konnten bei gleichen Einstellungen Differenzen über 25 % infolge unterschiedlicher Salzqualitäten (Korngrößen, Feuchtigkeitsgehalt) erkannt werden. Ebenso ergab sich ein sehr unterschiedliches Wurfverhalten bei den unterschiedlichen Tausalzqualitäten. Diese Erkenntnisse zeigen den sehr hohen Einstellbedarf für die Streumaschinen in Bezug zu den eingesetzten Tausalzen.

Da die genutzten Streumaschinen sich bei einem verringerten Anfeuchtungsgrad nicht so einstellen ließen, dass ein optimales Streubild erreicht wird, wurden die Untersuchungen eingestellt. Zwischenzeitlich erkannte Mängel an weiteren Streumaschinen aus dem laufenden Betrieb verschiedener Straßenbauverwaltungen mit dem FS30-Verfahren weisen auf einen erhöhten Prüf- und Justierbedarf hin. Diese Probleme müssen zunächst geklärt werden, bevor an einer weiteren Optimierung der Tausalzausbringung gearbeitet wird. Technische Weiterentwicklungen der Streumaschinen für eine verringerte Anfeuchtung im Sinne des ursprünglich geplanten Projektzieles laufen ebenfalls. Die müssen dann gegebenenfalls in ihrer Wirkung geprüft werden.

Optimisation of moistening of de-icing salts

Thawing measurements in the laboratory contradict the frequently made assumption that moist salt reacts much faster than dry sodium chloride due to moistening. Dry sodium chloride applied to ice slabs starts thawing almost immediately. The improved effect of the moist salt compared to de-icing salt applied in a dry condition in practice is only formed through considerably less loss when blown over and after application.

Based on this finding, we looked into what extent, blowing over can be prevented by moistening the dry part (degree of moistening) at the same level by reducing the soluble part. A reduction in the soluble parts will decrease costs for the solutions as well as the long loading period compared to dry salt nowadays and if necessary the possible loading quantity of dry substances effective in thawing for a longer scattering route.

Initially, thawing measurements took place in the laboratory with sodium chloride and different degrees of moistening, based on whose results no decrease in thawing performance as a consequence of the reduction of the soluble amount at a proportion of dry substance that remained the same, could be deduced. However, the measurement results led to partly differing statements which were mainly based on the accuracy of the measurement process.

Practical tests conducted showed that a reduced moistening does not have to lead to higher losses in the degree of blowing over. The scattering images were assessed visually during application by driving on it afterwards.

A changed degree of moistening after the conducted observations leads to a changed scattering behaviour of the de-icing salts when being applied from the scattering plate. This again leads to a more uneven distribution of the de-icing salts on the road. A correction of this changed throwing behaviour was not possible on the types of scattering machines used.

Very clear differences between the scattering machine types used could be seen based on the tests. Whereas one machine type permits a reduction in the degree of moistening less than 30 without any considerably large losses when blown over, it was difficult to reach a complete degree of moistening with another machine type at 30. A reduced quantity of solution without an increase in

the losses during blowing over requires an optimal moistening method according to assessments, which seems possible to achieve with one of the types used after a correction in the throwing behaviour. However, this correction was not possible in the case of the scattering machine used.

Another important result of the tests was the influence of the de-icing salts on the scattering images. Differences of over 25% could be found at that scattering density with the same adjustments as a consequence of different salt qualities (grain sizes, moisture content). There was also a very different throwing behaviour with the different qualities of de-icing salts. These findings show the very high requirement for adjustment in the scattering machines as far as the de-icing salts used are concerned.

The investigations were discontinued since the scattering machines used could not be adjusted at a reduced degree of moistening so that an optimal scattering image was reached. Defects found meanwhile on other scattering machines from running operations at various road construction authorities with the FS30 procedure, indicate an increased requirement for testing and adjustment. These problems must first be clarified before working on a further optimisation in the application of de-icing salts. Continued technical developments on the scattering machines for a reduced moistening as per the originally planned objective of the project are also underway. These have to be tested for effectiveness, if necessary.

Inhalt

1	Einleitung (Problem/Ziel/Nutzen)	7	8	Hinweisen für die Streupraxis	27
2	Definition der Anfeuchtung	8	8.1	Empfehlungen zum Einsatz der Streumaschinen	27
3	Die Tauwirkung von Feuchtsalz	8	8.2	Einstellung der Streustoffdichten	27
4	Der Nutzen der Feuchtsalztechnik	12	9	Zusammenfassung und Ausblick	28
5	Einflussgrößen auf die optimale Anfeuchtung	13	10	Literatur	29
5.1	Einfluss der Streumaschine	13			
5.2	Fahrtwind/Fahrgeschwindigkeit/ Windverhältnisse	14			
5.3	Einfluss der Tausalzqualität	15			
5.4	Einfluss der Fahrbahneigen- schaften	15			
5.5	Wetter (Niederschlag)	15			
6	Verfahren für die Beurteilung der Streubilder	15			
6.1	Parameter für die Streubild- beurteilung	15			
6.1.1	Prüfung der Streudichte (Dosiergenauigkeit)	16			
6.1.2	Längs- und Querverteilung/ Streubreite/Streulage	16			
6.2	Beurteilung der Anfeuchtung	17			
7	Versuche zur Beurteilung redu- zierter Tausalzanfeuchtungen	17			
7.1	Auswahl der Streumaschinen	17			
7.2	Justierung der Streumaschinen	18			
7.2.1	Justierung der Streudichte	18			
7.2.2	Überprüfung Streulage/Streubreite/ Verteilung/Anfeuchtung	19			
7.3	Ergebnisse visueller Beurteilungen der unterschiedlichen Anfeuchtung	21			
7.3.1	Ergebnisse mit dem Typ STA 95 der Firma Küpper-Weisser	21			
7.3.2	Ergebnisse mit dem Typ 6002 der Firma Beilhack	23			
7.4	Bewertung der visuellen Beobachtungen	24			
7.5	Quantitative Beurteilung der Anfeuchtungswirkung	25			

1 Einleitung (Problem/Ziel/ Nutzen)

Natriumchlorid ist der effektivste Streustoff für die Vermeidung und die schnelle Beseitigung von winterlicher Glätte [6]. Das in den ersten Einsatzjahren trocken ausgebrachte Tausalz verwehte im größeren Umfang, sodass sehr große Mengen für eine ausreichenden Wirkung notwendig waren. Diese hohen Mengen führten zu umfangreichen Umweltschäden, vor allem an Bäumen.

Moderne Streumaschinen bringen inzwischen das Tausalz mit Hilfe der Feuchtsalztechnik aus. Trocken, rieselfähiges Natriumchlorid wird dabei vor dem Ausbringen angefeuchtet. Durch die Anfeuchtung backen insbesondere kleinere Körner zusammen und werden durch den Fahrtwind weniger verweht. Nach dem Auftreffen auf die Fahrbahnoberfläche wird zudem eine bessere Haftung erzeugt, sodass sie durch den Verkehr weniger beiseite geschleudert werden als einzelne trockene Salzteilchen. Damit lassen sich Verwehverluste vermeiden und erhebliche Mengen Tausalz einsparen [14, 15, 18, 19].

Für die Tausalzanfeuchtung gibt es zwei Verfahren:

FS30-Verfahren: Das Tausalz wird unmittelbar vor dem Ausbringen am Streuteller mit einer Tausalzlösung angefeuchtet. Der Lösungsanteil beträgt ca. 30 Masse-% von der Gesamtmasse.

FS5-Verfahren: Das Tausalz wird bereits beim Beladen mit einer Tausalzlösung angefeuchtet und in diesem Zustand über einen Streuteller ausgebracht. Der Lösungsanteil beträgt ca. 5 Masse-% von der Gesamtmasse.

Ein wesentlicher Nachteil des FS5-Verfahrens ist, dass die angefeuchteten Tausalze innerhalb kurzer Zeit ausgebracht sein müssen. Verbleiben die Tausalze im Behälter, backen sie zusammen und lassen sich nicht ohne weitere Hilfsmittel aus dem Behälter entfernen. Da dieses Verfahren nur eine geringe Verbreitung hat, wird es bei diesen Untersuchungen nicht weiter betrachtet.

Bei dem unmittelbaren Anfeuchten an dem Streuteller werden in der Regel 70 Masse-% trockenes Tausalz mit 30 Masse-% Tausalzlösung angefeuch-

tet (FS30-Verfahren). Die Lösungen sind Gemische von Wasser mit Natrium-, Calcium- oder Magnesiumchlorid.

Mit diesem Verhältnis konnten nach visuellen Beobachtungen eine gute Anfeuchtung der Trockenstoffe und damit geringe Verwehverluste erreicht werden. Die Anwendung der Feuchtsalztechnik reduzierte die ausgebrachten Salzmengen deutlich [15].

Das Wasser der Lösungen stellt einen nicht tauwirksamen Stoff dar. Bei empfohlenen 20 Masse-% Chloridanteil in der Lösung [8] beträgt der Wasseranteil rund 24 Masse-% an der gesamten Austragsmenge. Der Anteil des Tausalzes in der Lösung beträgt nur 6 Masse-% in Bezug zu der ausgebrachten Gesamtmasse. Das Wasser der Lösung muss zusätzlich zu dem vorhandenen Wasser bzw. dem geschmolzenen Eis oder Schnee auf der Fahrbahnoberfläche am Gefrieren gehindert werden [2]. Es verringert bei den Streumaschinen die Ladekapazität für die tauwirksame Substanz.

Detaillierte Untersuchungen, welcher Lösungsanteil ausreicht, um Verwehungsverluste beim Ausbringen ausreichend zu minimieren, sind nicht bekannt. In diesem Arbeitsprojekt soll untersucht werden, inwieweit die Lösungsmenge reduziert werden kann, ohne die Verwehverluste wieder zu erhöhen. Die notwendige Menge des eigentlichen Trockensalzes soll sich dabei nicht erhöhen.

Als Nutzen können Kostensenkungen durch eine geringere benötigte Lösungsmenge erreicht werden. Auf den Bundesfernstraßen wurden in 6 Jahren (Winter 1997/98 bis 2002/03) im Durchschnitt rund 707.500 t/a Tausalz [1] ausgebracht. Der durchschnittliche Gesamtabsatz an Tausalzen für die Jahre 1992-2000 beträgt nach Aussagen des Vereins der Deutschen Salzindustrie e. V. rund 1,4 Mio. t/a [12].

Durch die Reduzierung des Lösungsanteils von 30 Masse-% auf 25 Masse-% in Bezug zur auszubringenden Gesamtmasse ließe sich bei gleichem ausgebrachtem Trockenstoffanteil im Straßenwinterdienst ein Prozent der angeführten Tausalze (14.000 t) einsparen (Berechnung siehe Tabelle 1). Das entspricht bei einem durchschnittlichen Preis von 65 €/t einer Kostenersparnis von rund 910.000 €/a. Bei einer Reduzierung des Lösungsanteils auf 20 Masse-% verdoppeln sich die Einsparmöglichkeiten.

Masseverhältnis zwischen Trockenstoff und Lösung	Masse trockenes Natriumchlorid an der Gesamtaustragemenge	Anteil 20%ige Lösung an der Gesamtaustragemenge	Anteil Natriumchlorid in der 20%igen Lösung	Masse Natriumchlorid in der Austragemenge
70:30 (FS30)	7 g	3 g	0,6 g	7,6 g
70:25	7 g	2,5 g	0,5 g	7,5 g
70:20	7 g	2 g	0,4 g	7,4 g

Tab. 1: Natriumchloridanteile im Feuchtsalz mit unterschiedlichen Masseverhältnissen zwischen Trockenstoff und Lösung, aber gleichen Trockenstoffanteilen (Beispielrechnung, Ausgangsstreudichte: 10 g/m² FS30)

Diese Berechnung enthält nur die Kosten für die eingesparte Menge des Tausalzes als benötigter trockener Feststoff für die Herstellung der Lösungen. Hinzu kommen Einsparungen weiterer Aufwendungen bei der Lösungsanfertigung (Wasser und Arbeitszeit). Die Kosteneinsparungen können sich bei den Straßenbauverwaltungen erhöhen, die die Lösungen fertig angeliefert bekommen. Der Preis für eine fertige Natriumchloridlösungen beträgt nach Angaben eines Lösungslieferanten ca. 57 €/t (schwankt aufgrund unterschiedlicher Transportaufwendungen). Noch höhere Einsparungen entstehen bei Verwaltungen, die Calciumchloridlösungen einsetzen. Calciumchloridlösungen kosten ca. 95 €/t.

Die dargestellte Einsparung verringert sich aber wieder, da gegenwärtig nicht durchgängig das FS30-Verfahren eingesetzt wird. Die erhöhte Kostenersparnis beim Einsatz von fertigen Lösungen und die sich ergebende geringere Kostenersparnis durch den nicht durchgängigen Einsatz von FS30-Feuchtsalztechnik werden als sich gegenseitig aufhebend angenommen.

Eine Verringerung der Lösungsanteile lässt zusätzlich die Erhöhung der meist zu geringen Ladekapazitäten der Streumaschinen für Trockensalz zu bzw. ermöglicht längere Umlaufstrecken. Gleichzeitig lassen sich die langen Ladezeiten für die Lösungen im Vergleich zu den kurzen Ladezeiten für die Trockenstoffe reduzieren [13].

Zusätzliche Investitionen sind nicht erforderlich, wenn die Streumaschinen mit einer optimierten, aber nicht erweiterten Technik Tausalze mit einem geringeren Lösungsanteil ohne Verwehverluste ausbringen können und mit dem laufenden Ersatz älterer Streumaschinen auf einen modernen Stand der Technik gebracht werden.

2 Definition der Anfeuchtung

Die Untersuchungen in diesem Projekt führen zu Änderungen einer bisher konstanten Größe, und zwar zum Masseverhältnis zwischen Trockenstoff und Lösung. Für dieses Verhältnis gibt es keinen allgemein verbindlichen Ausdruck. Daher wird diese Größe im nachfolgenden Text verkürzt „Anfeuchtungsgrad xx“ genannt. Die Angabe „xx“ bezeichnet den Anteil der Lösung an der gesamten Austragemenge. Bei dem FS30-Verfahren wird demnach mit einem Anfeuchtungsgrad 30 gearbeitet.

3 Die Tauwirkung von Feuchtsalz

Angefeuchtetem Tausalz wird häufig eine schnellere Tauwirkung nachgesagt; dies widerspricht allerdings Laborerfahrungen. Bei Tauleistungsuntersuchungen mit dem Inzeller Eisplattenverfahren [4, 5, 17] beginnt der Tauprozess sofort nach dem Aufbringen von trockenem Tausalz (Feuchteanteil praktisch nahezu 0 Masse-%) auf einer Eisplatte. Bereits nach wenigen Sekunden lassen sich kleine Salzhäufchen auf der Eisplatte nicht mehr einfach verteilen, weil durch die Taureaktion die ursprünglich trockenen Salzkörner bereits durchnässt und verklebt sind.

Die sehr schnelle Taureaktion von Trockensalz lässt sich auch in einem Kalorimeter nachweisen. Werden in dem thermisch geschlossenen Gefäß Eis und trockenes Tausalz zusammengebracht, fällt nach wenigen Sekunden die Temperatur im Gefäß. Die Schmelzreaktion entzieht Wärme aus der Umgebung (Luft und Eis im Gefäß, siehe Bild 1), da für die Umwandlung des Wassers von den festen in den flüssigen Aggregatzustand Energie benötigt wird [3]. Die Reaktion ist je nach Korngröße zwischen drei bis vier Minuten des Tausalzes beendet.

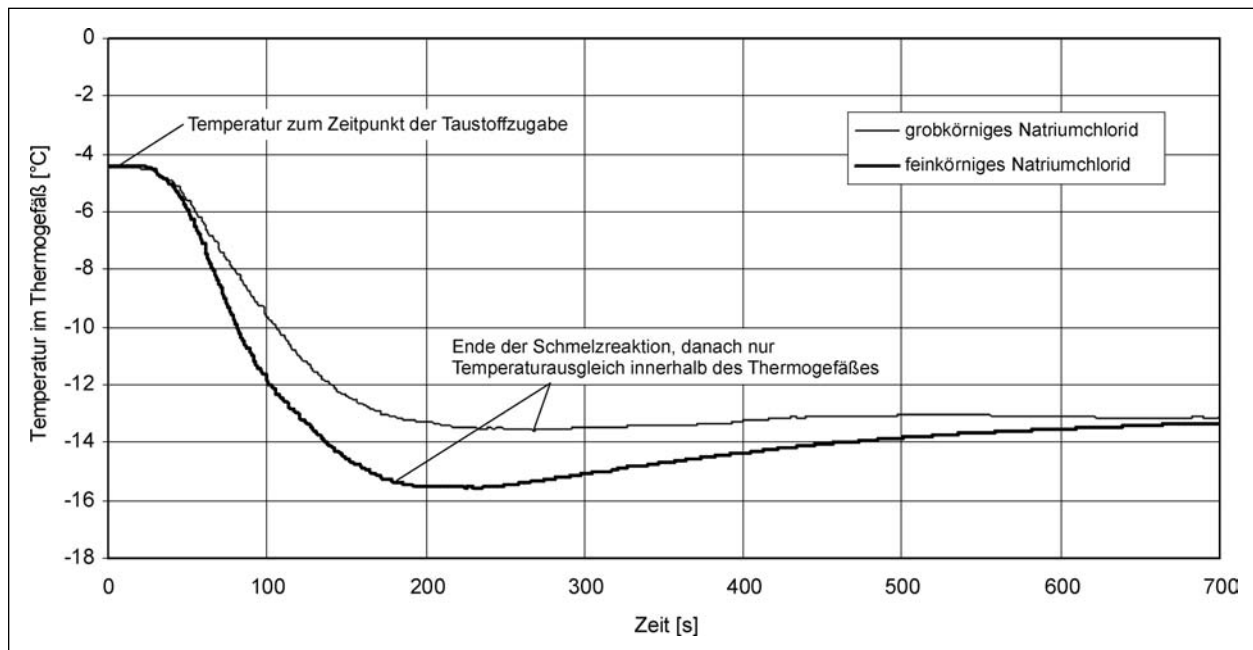


Bild 1: Temperaturverlauf im Kalorimeter nach Zusammenbringen von 4 g Natriumchlorid und 200 g fein zermahlenem Eis [3]

Kornklasse (Siebweite) [mm]	Massenanteil [%]
< 0,16	2,3
0,16 - 0,40	2,8
0,40 - 1,00	10,0
1,00 - 1,60	20,1
1,60 - 2,00	16,3
2,00 - 2,50	16,5
2,50 - 3,15	19,6
3,15 - 5,00	12,2
> 5,00	0,0

Tab. 2: Korngrößenverteilung des für die Tauleistungsmessungen genutzten Natriumchlorids

Aus den genannten Erkenntnissen ergeben sich für die Zielstellung dieses Projektes zwei Fragen: Welche Tauleistung erreicht Feuchtsalz im Vergleich zum Trockensalz? Wie ändert sich die Tauleistung mit unterschiedlichen Anfeuchtungsgraden? Für die Beantwortung dieser Fragen fanden Tauleistungsmessungen mit Feuchtsalz nach dem Inzeller Eisplattenverfahren statt.

Dafür wurden Tausalzproben mit unterschiedlicher Anfeuchtung (Anfeuchtungsgrade 10, 20 und 30) mit einer trockenen Tausalzprobe verglichen. Die Gesamtmenge der Proben betrug immer 4 g. Bei den Untersuchungen kamen ein handelsübliches, weit verbreitetes Steinsalz als Trockenstoffkomponente und eine 20%ige Natriumchloridlösung als Feuchtkomponente zur Anwendung. Die Korn-



Bild 2: Anfeuchten von trockenem Natriumchlorid mit einer Chloridlösung

größenverteilung des verwendeten Steinsalzes ist aus der Tabelle 2 ersichtlich.

Die Anfeuchtung des trockenen Tausalzes erfolgte mit einer Injektionsspritze (Bild 2). Anschließend wurde das angefeuchtete Tausalz von einer Glasplatte mit einem Spachtel auf die Eisplatte aufgetragen und dort verteilt (Bild 3).

Bei der Anfeuchtung mit der Injektionsspritze war schon ein unterschiedliches Verhalten zwischen Trockenstoff und Lösung erkennbar. Während bei einem Verhältnis von 70 Masse-% Trockenstoff und 30 Masse-% Lösung die Lösung aus dem Salzhäufchen herauslief, war bei einem Verhältnis 90:10 das trockene Natriumchlorid nicht vollständig durchfeuchtet. Bei einem Verhältnis 80:20 erfolgte eine

augenscheinlich vollständige Durchfeuchtung, ohne dass die Lösung aus dem geschütteten Salzhaufen auslief.

Die Tauleistungen bei einer relativen Luftfeuchte von 60 % und unterschiedlichen Temperaturen bzw. Einwirkdauern geben die Bilder 4 und 5 sowie Tabelle 3 wieder.

Die Tauleistungen des Feuchtsalzes sind im Vergleich zu dem Trockensalz geringer. In der Tendenz nimmt die Tauleistung mit dem NaCl-Gehalt ab. Nach einer Einwirkdauer von 60 Minuten und bei -5°C Eisplattentemperatur verringert sich die Tauleistung fast entsprechend dem Tausalzgehalt. Bei einer Einwirkdauer von nur 10 Minuten sind dage-



Bild 3: Auftragen von Feuchtsalz auf eine Eisplatte

gen zwischen den Ergebnissen zum Feuchtsalz FS20 und FS30 vergleichsweise nur geringe Unterschiede erkennbar.

Die Ursache der geringen Differenzen zwischen FS20 und FS30 wird hauptsächlich auf das Messverfahren zurückgeführt. Die Messgenauigkeit des Verfahrens beträgt $\pm 5\%$ [4]. Diese Angabe gilt nur für trockene Tausalze. Die Versuche mit Feuchtsalz fanden mit diesem Verfahren erstmalig statt. Erkenntnisse über die erzielbare Wiederholbarkeit von Messergebnissen mit Feuchtsalz liegen daher nicht vor. Für jedes angegebene Ergebnis wurden vier Einzelwerte ermittelt, aus denen nach der Entfernung einzelner Ausreißer ein Mittelwert gebildet wurde [9]. Durch das beschriebene schwierigere Auftragen ist im Einzelfall mit größeren Fehlern zu rechnen.

Auch bei Berücksichtigung der beschriebenen Messtoleranzen des Verfahrens ist der deutliche Trend erkennbar, dass mit abnehmender Temperatur die Tauleistung des Feuchtsalzes überproportional zum Tausalzgehalt abnimmt. Dies wird auf das vorhandene Wasser in der Lösung zurückgeführt, welches bei tieferen Temperaturen mehr Tausalz gegen das eigene Gefrieren bindet und damit nicht für die gewünschte Tauwirkung nutzbar ist.

Bei den durchgeführten Tauleistungsmessungen wurden immer gleich bleibende Probenmassen ver-

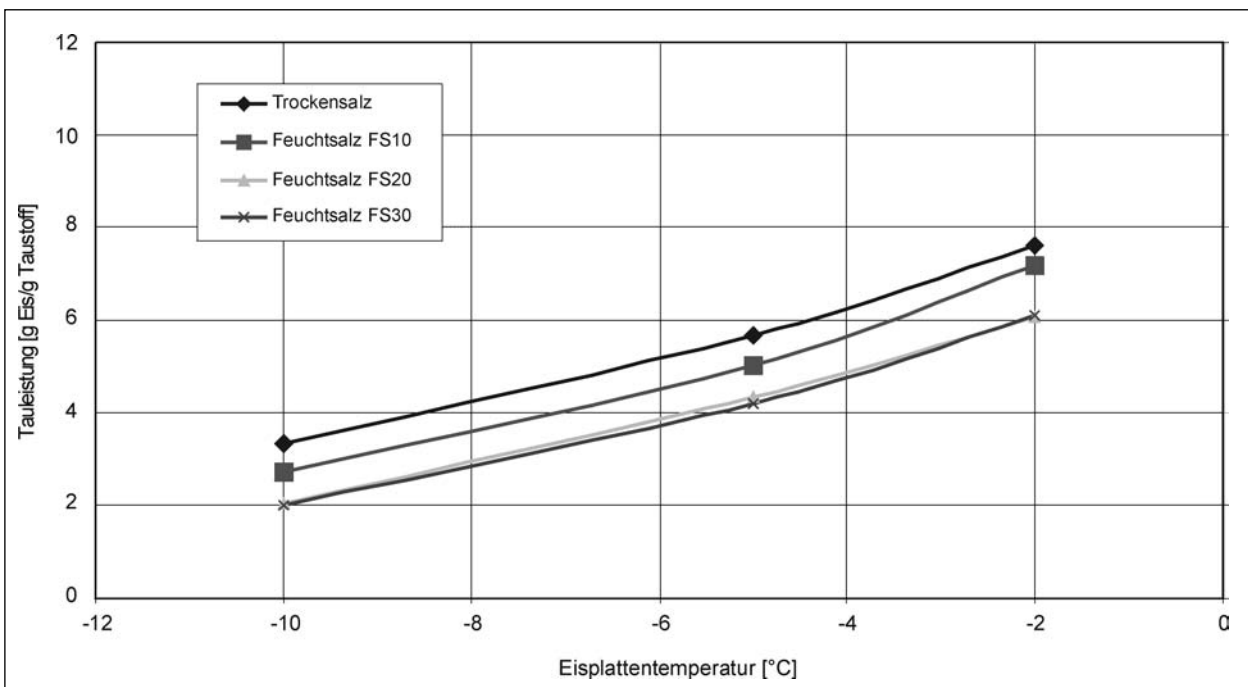


Bild 4: Tauleistungen von trockenem und angefeuchtetem Steinsalz (NaCl) in Abhängigkeit von der Eisplattentemperatur bei einer Einwirkdauer von 10 Minuten

wendet. Mit der Umsetzung des Projektzieles – Einsparung von Lösungen ohne Erhöhung des Trockenstoffanteils – müssen die Tauleistungen auf eine verringerte Gesamtmasse aufgrund des gesenkten Lösungsanteils umgerechnet werden. Dazu das folgende Beispiel:

Bei einer Einstellung 10 g/m^2 mit dem Anfeuchtungsgrad 30 werden 7 g Trockenstoff mit 3 g Lösung ausgebracht. Bei einer Reduzierung des Anfeuchtungsgrades auf 20 sollen dann die Austragsmengen 7 g Trockenstoff und nur noch 2 g Lösung je Quadratmeter betragen. Die Gesamtmasse reduziert sich um 10 Masse-% bzw. 20 Masse-%. Tabelle 4 zeigt einen Vergleich der berechneten Tauleistungen mit entsprechend reduzierten Tauleistungen. Aufgrund der unterschiedlichen Masse-Verhältnisse zwischen Trockenstoff und Lösung beim Reduzierungsansatz (70:20 bzw.

70:10) im Vergleich zu den Proben bei den Tauleistungsmessungen (80:20 bzw. 90:10) stimmen die Berechnungen nur näherungsweise.

Die berechneten Tauleistungen des Feuchtsalzes mit den reduzierten Lösungsanteilen nach 10 Minuten Einwirkdauer ergeben ein uneinheitliches Bild. Bei den Vergleichen zwischen FS20 und FS30 entstehen Abweichungen bis 10 %, wobei bei den einzelnen Messpunkten mal das FS20, mal das FS30 die höheren Tauleistungen erreicht. Nach 60 Minuten Einwirkdauer beträgt die Differenz nur rund 3 %.

Die Gegenüberstellung der berechneten Tauleistungen von Feuchtsalz FS10 mit um 20 % reduzierter Gesamtmasse und Feuchtsalz FS30 zeigt tendenziell höhere Tauleistungen des FS10 bei tieferen Eisplattentemperaturen (siehe Tabelle 4, letzte Zeile).

	NaCl-Anteil in der Probe [in Bezug auf das Trockensalz]	Tauleistung nach 10 Minuten Einwirkdauer			Tauleistung bei -5 °C und nach 60 Minuten Einwirkdauer
		-2 °C	-5 °C	-10 °C	
		[prozentualer Anteil im Vergleich zum Trockensalz]			
Trockensalz	100	100	100	100	100
Feuchtsalz FS10	92	64	89	81	90
Feuchtsalz FS20	84	80	77	61	82
Feuchtsalz FS30	76	80	74	60	76

Tab. 3: Prozentuale Tauleistungen des Feuchtsalzes im Vergleich zum Trockensalz

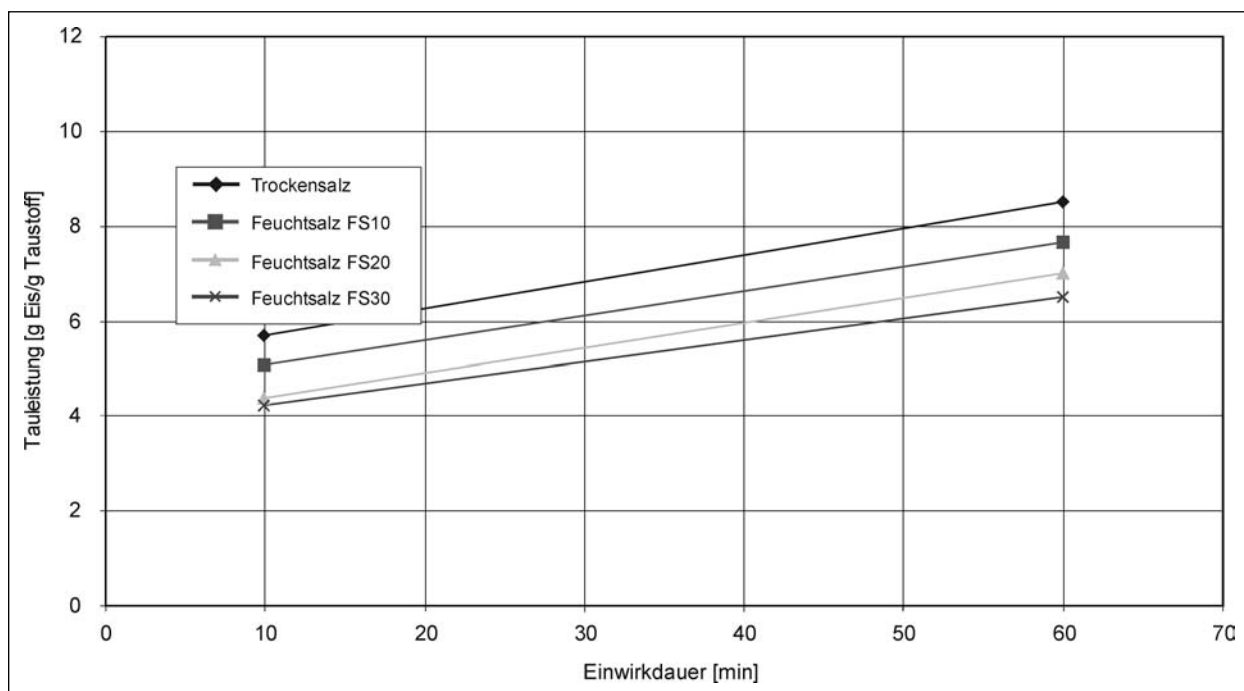


Bild 5: Tauleistungen von trockenem und angefeuchtetem Steinsalz (NaCl) in Abhängigkeit von der Einwirkdauer bei -5 °C Eisplattentemperatur

Einwirkdauer	10 Minuten			60 Minuten
	-2 °C	-5 °C	-10 °C	-5 °C
Eisplattentemperatur	-2 °C	-5 °C	-10 °C	-5 °C
Tauleistung Feuchtsalz FS30 [g Eis/g Taustoff]	6,09	4,19	2,00	6,48
Tauleistung Feuchtsalz FS20 berechnet mit um 10 % reduzierter Gesamtmenge [g Eis/g Taustoff]	5,47	4,53	1,84	6,30
Tauleistung Feuchtsalz FS10 berechnet mit um 20 % reduzierter Gesamtmenge [g Eis/g Taustoff]	5,75	4,53	2,18	6,81
Höhe der Tauleistung von 90 % Austragungsmenge FS20 in Bezug zu 100 % Austragungsmenge FS30 [%]	90	108	92	97
Höhe der Tauleistung von 80 % Austragungsmenge FS10 in Bezug zu 100 % Austragungsmenge FS30 [%]	94	108	109	105

Tab. 4: Gegenüberstellung der berechneten Tauleistungen von Feuchtsalz mit verschiedenen Anfeuchtungsgraden, aber gleichen Trockenstoffanteilen

Diese unterschiedlichen Aussagen innerhalb der Messreihen werden wieder auf die Messungenauigkeit bei den gemessenen Tauleistungen für die Feuchtsalze zurückgeführt. Für genauere Aussagen sind umfangreichere weitere Tauleistungsmessungen erforderlich.

Eine Auswirkung auf die Tauleistung durch einen geringeren Anfeuchtungsgrad bei Beibehaltung der Trockenstoffmenge wird aus den vorliegenden Ergebnissen nicht erwartet.

4 Der Nutzen der Feuchtsalztechnik

Aufgrund der gemessenen schlechteren Tauleistung der angefeuchteten Tausalze kann die Einsparung von Tausalzen nur durch das geringere Verwehen beim und nach dem Ausbringen zurückgeführt werden. Diese positive Wirkung der Anfeuchtung beim Ausbringen lässt sich beim Fahren hinter dem Streufahrzeug sehr gut erfassen.

Die Bilder 6 und 7 zeigen den Vergleich zwischen dem Trocken- und Feuchtsalzausbringen beim Einsatz desselben Streufahrzeuges und demselben ausgebrachten Tausalz bei einer Fahrgeschwindigkeit von rund 50 km/h. Beim Trockensalzstreuen sind deutlich die höheren Verweherscheinungen zu erkennen.

Der Grund hierfür ist folgender:

Kleine Körner backen durch das Anfeuchten relativ lose zusammen. Dadurch erreichen sie eine höhere Masse, die dann nach dem Verlassen des Streutellers weniger verweht. Auf der Fahrbahnoberfläche wird durch die Feuchtigkeit eine bessere Haftung erreicht.



Bild 6: Ausbringen von Steinsalz ohne Anfeuchtung (30g/m² Streudichte, 6 m Streubreite, 50 km/h Fahrgeschwindigkeit)



Bild 7: Ausbringen von Steinsalz mit Anfeuchtung (FS30-Verfahren, 30 g/m² Streudichte, 6 m Streubreite, 50 km/h Fahrgeschwindigkeit)

Bei größeren Körnern (geschätzt ab ca. 2 mm Durchmesser) ist der Haftungseffekt durch die Anfeuchtung geringer. Nach Beobachtungen bei Hinterherfahrten springen und rollen die großen Körner sowohl mit als auch ohne Anfeuchtung im gleichen Maße weg.

5 Einflussgrößen auf die optimale Anfeuchtung

Als Ergebnis der Anfeuchtung sollen die Tausalze beim und nach dem Ausbringen möglichst nicht verwehen, damit eine gleichmäßige Verteilung auf der Fahrbahnoberfläche gegeben ist und diese über einen längeren Zeitraum erhalten bleibt. Für die Beurteilung der optimalen Anfeuchtung müssen verschiedene Einflussgrößen berücksichtigt und beurteilt werden. Als Einflüsse auf die Streubildqualität sind anzusehen:

- Konstruktion der Streumaschine einschließlich Steuer- und Regeltechnik,
- Fahrtwind/Fahrgeschwindigkeit/Windverhältnisse.
- Tausalzqualität
 - Korngrößenverteilung,
 - Rieselfähigkeit (Wassergehalt),
 - Dichte,
- Fahrbahnoberfläche (Rauigkeit, Neigung),
 - Wetter (Niederschlag).

Zwischen den einzelnen Einflüssen bestehen untereinander verschiedene Zusammenhänge.

5.1 Einfluss der Streumaschine

Die Anfeuchtung der trockenen Tausalze erfolgt mit der zurzeit in Deutschland eingesetzten Streutechnik überwiegend unmittelbar am Streuteller. Dabei muss es vom Zeitpunkt des Zusammentreffens des festen Tausalzes und der Lösung bis zum Verlassen des Streutellers zu einer vollständigen Durchmischung beider Komponenten kommen.

Eine ausreichende gleichmäßige Anfeuchtung muss unter allen praktischen Einsatzbedingungen

erfolgen. Einen erheblichen Einfluss haben dabei die sehr unterschiedlichen Tausalzmassen, die in einer Zeiteinheit anzufeuchten und auszuwerfen sind.

Die unterschiedlichen Austragemengen am Streuteller ergeben sich zum einen aufgrund der unterschiedlichen Streudichten. Sie betragen in der Praxis zwischen 5-40 g/m². Sie variieren um den Faktor 8.

Die Streumengen in der Zeiteinheit unterscheiden sich weiterhin durch die Streubreite. Hier müssen im Extremfall Breiten zwischen 3 (Anschlussstellen, Parkplätze) und 12 m (dreistreifige Autobahnen) bestreut werden. Durch die verschiedenen Streubreiten kann die auszubringende Tausalzmenge je Zeiteinheit bis zu dem Faktor 4 variieren.

Als weiterer Einfluss müssen die Fahrgeschwindigkeiten berücksichtigt werden. Hier werden in der Praxis zwischen 5 und 60 km/h gefahren, womit die Fahrgeschwindigkeit um dem Faktor 12 variieren kann.

Werden alle Faktoren zwischen der kleinst- und größtmöglichen auszubringenden Streumenge je Zeiteinheit berücksichtigt, ergibt sich ein Gesamtfaktor von 384. Unter der Annahme, dass Streudichten über 20 g/m² nur bei Schneepflugfahrten mit 30 km/h und nur 8 m Streubreite ausgebracht werden, variieren die auszubringenden Streumengen je Zeiteinheit um den Faktor 64. In der Tabelle 5 sind unterschiedliche Salzmengen aufgeführt, die je nach Einstellung und Geschwindigkeit in einer Sekunde über den Streuteller ausgebracht werden müssen.

Die Konstruktion der Anfeuchtungstechnik muss gewährleisten, dass diese unterschiedlichen Tausalzmengen jeweils gleichmäßig angefeuchtet sind. Da die Anfeuchtungstechnik im Wesentlichen starr ausgeführt ist, kann die Konstruktion nur für einen Betriebspunkt optimal ausgelegt sein.

Fahrgeschwindigkeit [km/h]	Streubreite [m]	Streudichte [g/m ²]	Auszubringende Tausalzmenge [g/s]	Volumen der Tausalzmenge (Dichte = 1,2 kg/dm ³) [dm ³]	Bemerkung
5	3	5	21	0,02	
5	6	20	167	0,14	
30	8	20	1.333	1,11	
30	12	15	1.500	1,25	
60	12	20	4.000	3,33	
60	12	40	8.000	6,67	theoretischer Wert

Tab. 5: Auszubringende Streumengen je Sekunde in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit, Streudichte und Streubreite

Beim Auftreffen auf den Streuteller bekommen die Salzkörner durch das Rotieren der vorhandenen senkrechten Stege einen Impuls, der ihre fallende Bewegung aus dem Streustoffbehälter in eine horizontale Richtung umlenkt. Die Beschleunigung des Salzkorns hängt von der Geschwindigkeit des Drehtellers (Drehzahl), der Anzahl der senkrechten Stege auf dem Streuteller, dem Abstand von der Drehtellermittelpunkt und der Größe bzw. Masse des Salzkorns selber ab. Je nach Austragungsmenge fallen die Salzkörner mit unterschiedlichen Auftreffpunkten auf den Streuteller. Sie verweilen bei der rotierenden Bewegung des Streutellers auch unterschiedlich lang auf diesem. Da alle Teile innerhalb der Streuteller bekannter Streumaschinen nicht beweglich sind, ändert sich das Verhalten der Salzkörner auf dem Streuteller je nach auftreffender Tausalzmenge.

Damit die Streumaschinen eine konstante Streudichte bei unterschiedlichen Streubreiten und/oder verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten trotzdem einhalten, ändert eine Reihe von Streumaschinenherstellern die Streutellerdrehzahl beim Ausbringen. Zusätzlich steuern einige Streumaschinenhersteller auch die Stellung des Streutellers zum Fallrohr zwischen Streugutbehälter und dem Streuteller in Abhängigkeit von der Ausbringmenge je Zeiteinheit, womit ebenfalls eine Verschiebung der Streulage und Streubreite möglich ist.

Im Zusammenhang mit der Reduzierung der Lösungsanteile ist die technische Ausführung einer Streumaschine für die ausreichende Anfeuchtung als wesentliche Einflussgröße zu beachten.

5.2 Fahrtwind/Fahrgeschwindigkeit/Windverhältnisse

Die Tausalze werden bei allen Streumaschinen am Streufahrzeugende ausgetragen. Die eintretende Sogwirkung hinter dem Fahrzeug darf das Ausbringen möglichst nicht beeinflussen.

Das Verwehen durch die Sogwirkung nimmt nach visuellen Beobachtungen mit der Fahrgeschwindigkeit zu. Bei Fahrgeschwindigkeiten von rund 20 km/h treten Verweheffekte in der Flugphase selbst beim Streuen ohne Anfeuchtung kaum sichtbar auf (Bild 8).

Das Verwehen nimmt mit der Abnahme der Korngröße zu. Bild 9 zeigt das Austragen von feinkörnigem Siedesalz bei einer Fahrgeschwindigkeit von

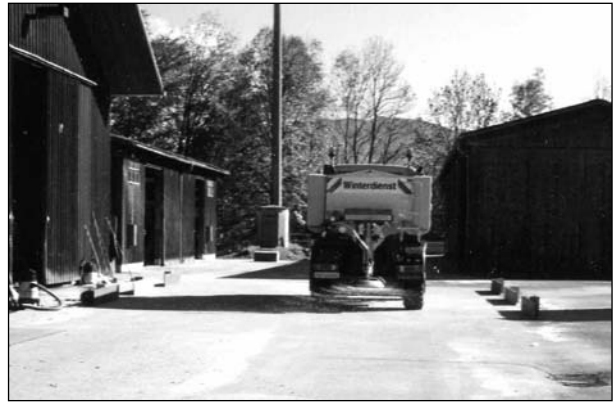


Bild 8: Ausbringen von trockenem Steinsalz bei einer Fahrgeschwindigkeit von ca. 20 km/h (20 g/m² Streudichte, 6 m Streubreite)



Bild 9: Ausbringen von trockenem Siedesalz bei einer Fahrgeschwindigkeit von ca. 40 km/h (20 g/m² Streudichte, 8 m Streubreite)

rund 40 km/h mit wesentlich höheren Verweheffekten als bei dem grobkörnigeren Steinsalz (vergleiche Bild 6, Abschnitt 4). Hier wird keine gleichmäßige Verteilung der Tausalze mehr erreicht. Das Bild zeigt auch eine gewisse Sogwirkung durch vorbeifahrende Fahrzeuge.

Die Verwehung bei höheren Geschwindigkeiten soll eine funktionierende Anfeuchtung weitgehend verhindern, die wie beschrieben hauptsächlich durch das Zusammenbacken der kleineren Tausalzkörner erreicht wird (siehe Bild 7, Abschnitt 4).

Einflüsse wetterbedingter Luftbewegungen müssen ebenfalls beachtet werden. Zu Auswirkungen vor allem hoher Windgeschwindigkeiten aus jeweils unterschiedlichen Richtungen liegen jedoch keine Erfahrungen vor.

5.3 Einfluss der Tausalzqualität

Als Tausalz kommt in der Regel nur Natriumchlorid zum Einsatz. Andere Bestandteile dürfen nicht über 7 % betragen [11]. Variieren können dagegen die Korngröße und in Abhängigkeit von der Feuchte die Rieselfähigkeit des Tausalzes.

Die Größe der Tausalzkörner bewirkt ein unterschiedliches Flug- und Aufprallverhalten. Kleine Körner verwehen mehr als große Körner durch die Sogwirkung hinter dem Fahrzeug, sofern sie nicht angefeuchtet sind (vergleiche Bild 6, Abschnitt 4, und 9, Abschnitt 5.2). Große Körner springen nach vorliegenden Beobachtungen nach dem Auftreffen auf der Fahrbahn wie ein Ball weiter. Genaue Aussagen, bei welchen Korngrößen die genannten Effekte in welchem Maße auftreten, sind nicht bekannt.

Die Rieselfähigkeit beeinflusst nach den theoretischen Überlegungen ebenfalls die Anfeuchtung. Sind die Tausalze weniger rieselfähig, bilden sie bereits infolge geringer Anfeuchtung größere zusammengebackene Tausalzteile. Wenn dieser Effekt nicht gleichmäßig ist, muss auch mit einem sehr ungleichmäßigen Ausbringen gerechnet werden.

Weiterhin ist ein unterschiedliches Verhalten bei der Anfeuchtung zu erwarten, dass sich durch unterschiedliche Lösungsdurchdringung der Tausalze bei den verschiedenen Korngrößen ergeben kann. Größere Körner können aufgrund ihrer kleineren spezifischen Oberfläche nur weniger Lösung im Vergleich zu kleineren Körnern an sich binden.

Kleinere Körner finden nach der Anfeuchtung aufgrund der größeren spezifischen Kontaktflächen dann auch mehr Möglichkeiten, um sich durch die anhaftende Lösung untereinander zu verbinden. Sie können sich auch an andere, größere Körner binden. Verbindungen zwischen größeren Körnern sind aufgrund der kleineren Kontaktflächen weniger wahrscheinlich.

Inwieweit sich die vergleichsweise losen Verbindungen zwischen den Tausalzkörnern während der Flugphase wieder lösen, ist nicht bekannt.

5.4 Einfluss der Fahrbahneigenschaften

Als Einflüsse der Fahrbahneigenschaften auf die Streubildqualität sind

- die Neigung der Fahrbahn (quer und längs)
- und die Oberflächenstruktur (Rauigkeit)

anzusehen.

Über diese Einflüsse liegen keine Erfahrungen vor. Sie werden im Vergleich zu den anderen Einflüssen als geringer eingeschätzt.

Vorhandenes Wasser oder Schnee auf der Fahrbahnoberfläche verbessern die Haftungsmöglichkeiten der Tausalze. Für das Verwehen nach dem Auftragen ist in diesen Fällen keine Anfeuchtung erforderlich. Unter diesen Bedingungen muss die Anfeuchtung nur das Verwehen der Tausalze beim Ausbringen selber verhindern.

5.5 Wetter (Niederschlag)

Praktisch befeuchtet ein Niederschlag (Regen oder Schneefall) die Tausalze zusätzlich, sodass sich die Anfeuchtung durch die Streumaschine gegebenenfalls verringern ließe.

Über Auswirkungen des Niederschlags auf die Qualität der Streubilder liegen keine Erfahrungen vor. Die Auswirkungen sind vermutlich sehr von der Niederschlagsintensität abhängig.

6 Verfahren für die Beurteilung der Streubilder

6.1 Parameter für die Streubildbeurteilung

Die richtige Tausalzverteilung nach dem Ausbringen setzt sich aus den folgenden definierten Einzelparametern zusammen:

- Streudichte in g/m^2
Durchschnittliche Menge in Gramm, die auf einem Quadratmeter Fahrbahn liegen soll.
- Längs- und Querverteilung
Die vorgegebene Streudichte darf zwischen definierten benachbarten Flächen der Fahrbahn in Längs- und Querrichtung zur Fahrtrichtung nur

um einen vorgegebenen Prozentsatz abzuweichen.

- **Streubreite in Meter**
Längenmaß quer zur Fahrtrichtung, in dem eine gleichmäßige Verteilung der Tausalze erreicht werden soll. Über die vorgegebene Streubreite hinaus darf maximal nur ein vorgegebener Teil der Gesamtaustragsmenge gestreut werden.
- **Streulage**
Lage der Streubreite in Bezug zur Streufahrzeugmitte – symmetrisch oder asymmetrisch.
- **Anfeuchtung**
Die Salzkörner müssen durch geeignete Technik so angefeuchtet sein, dass sie während und nach dem Austragen nur wenig oder gar nicht infolge Fahrtwinds und Verkehrseinflusses verwehen bzw. beiseite geschleudert werden.

Die einzelnen Parameter sind miteinander verknüpft zu beurteilen.

6.1.1 Prüfung der Streudichte (Dosiergenauigkeit)

Die Streudichte wird nach den TLG B3 für Streumaschinen [10] und nach dem „Merkblatt für die Überprüfung von Streugeräten“ [7] im Stand geprüft. Dazu sind bei den bekannten Streumaschinentypen das Fallrohr und der Streuteller hochgeklappt. Unter dem Ende der Transportvorrichtungen aus dem Streugutbehälter zum Fallrohr wird ein Auffanggefäß für eine definierte Zeit untergeschoben. Die Tausalzlösung wird in einem weiteren Gefäß aufgefangen (Bild 10).

Aufgetretene Probleme bei der Überprüfung der Streudichten sind im Abschnitt 7.2.1 aufgeführt.

6.1.2 Längs- und Querverteilung/Streubreite/Streulage

Die Quer- und Längsverteilungen, Streubreite und -lage der Tausalze nach der Ausbringung lassen sich durch Zusammenfegen von bestreuten Flächen beurteilen (Bild 11) [7]. Der Nachteil dieses Verfahrens besteht darin, dass kleine Salzkörner ganz und größere Körner teilweise in Lösung gehen können. Die Lösung lässt sich nur unzureichend zusammenkehren und kann damit für die Beurteilung verloren gehen. Die Bewertung wird daher als erheblich fehlerbehaftet eingeschätzt.

Bei den Untersuchungen für eine optimierte Anfeuchtung fanden keine Überprüfungen der Längs- und Querverteilungen statt. Diese Parameter wie



Bild 10: Auffangen der Tausalze und Lösungen bei der Überprüfung der Streudichte



Bild 11: Tausalz zusammengekehrt längs der Fahrtrichtung über 10 m Länge, Streudichte: 20 g/m², Fahrgeschwindigkeit nicht simuliert

auch die Streulage und die Streubreite wurden nur visuell bei der Hinterherfahrt betrachtet.

Objektive und weniger fehlerbehaftete Prüfverfahren bei der Feuchtsalzausbringung sind nicht bekannt.

6.2 Beurteilung der Anfeuchtung

Ein Verfahren für eine genaue objektive Beurteilung eines Feuchtsalzstreubildes gibt es bisher nicht. Vorgenommene Entwicklungen für ein Prüfverfahren erwiesen sich als zu aufwändig und als nicht ausreichend praxisnah [16].

Das vorgesehene Prüfverfahren sollte auch die Beurteilung des Verhältnisses zwischen Trockenstoff- und Lösungsanteil nach der Verteilung in der Fläche zulassen. Dazu wurde ausgetragenes Feuchtsalz in Schalen mit einer Öffnung 50 x 50 cm aufgefangen.

Als Trockenkomponente kam Natriumchlorid zum Einsatz. Für die Lösung wurde Calciumchlorid verwendet. Die aufgefangenen Mengen in den Schalen wurden anschließend mittels Titration auf die entsprechenden Bestandteile untersucht. Für die genauere Titration mussten größere Mengen Tausalze ausgetragen werden. Das Streufahrzeug fuhr bei diesen Versuchen sehr langsam. Das Ausbringen fand mit einer simulierten Streugeschwindigkeit statt. Im Ergebnis verlaufen beim Ausbringen die höheren Mengen an Tausalz und Lösungen. Sie bilden breiartige Mengen (siehe Bild 12). Die direkte Befeuchtung der einzelnen Salzkörner vor oder nach Aufkommen auf die Fahrbahn lässt sich nicht mehr beurteilen.

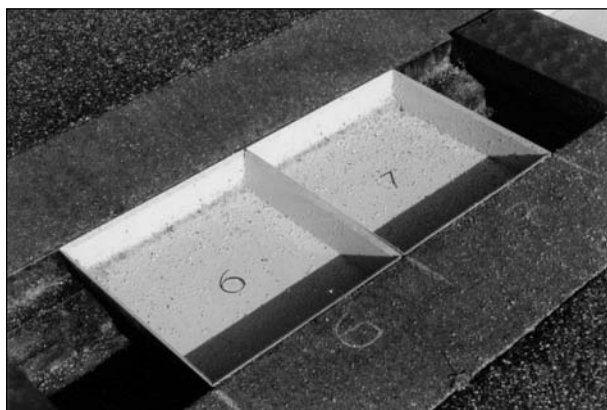


Bild 12: Schalen für das Auffangen von Feuchtsalz (FS30) nach Überfahrt mit reduzierter Fahrgeschwindigkeit

Bei einer Einfärbung der Lösung und einer realen Streugeschwindigkeit kann in den Schalen erkannt werden, ob ein Korn sich mit der Lösung verbunden hat und damit angefeuchtet ist. Für eine statistische Beurteilung müssten die angefeuchteten und nicht angefeuchteten Salzkörner ausgezählt werden. Ohne technische Hilfsmittel ist aber das Verfahren sehr zeitaufwändig. Verfahren zur Automatisierung sind nicht bekannt.

Die Technischen Lieferbedingungen für Streumaschinen [10] empfehlen eine visuelle Beurteilung der Anfeuchtung. Diese Beurteilungen fanden bisher bei der Tausalzausbringung im Stand oder bei Hinterherfahrten statt. Die Lösung sollte zu diesem Zweck ebenfalls mit einer Lebensmittelfarbe eingefärbt sein. Die Erfahrungen zeigen, dass damit schon die Qualität der Anfeuchtung für die Praxis recht gut beurteilt werden kann. Sie ist aber in der Bewertung sehr subjektiv.

Neu entstand die Überlegung, die Effektivität der Anfeuchtung anhand der auftretenden Verwehverluste durch den Verkehr nach dem Auftragen zu bestimmen. Für diese Beurteilung ist neben der Fahrbahn eine Vorrichtung aufzubauen, mit der nach dem Aufbringen zur Seite gewehtes Tausalz aufgefangen werden soll (siehe Abschnitt 7.5). Die Versuche müssen unter realem Verkehr durchgeführt werden. Sie haben den Nachteil, dass keine wiederholbaren Verhältnisse herrschen. Anhand von Verkehrszählungen mit der Bestimmung der Fahrzeuganzahl, -geschwindigkeiten und -typen müssen die Ergebnisse unter diesen unterschiedlichen Verhältnissen verglichen und interpretiert werden. Untersuchungen mit definiertem Verkehr werden als zu aufwändig eingeschätzt.

7 Versuche zur Beurteilung reduzierter Tausalzanfeuchtungen

7.1 Auswahl der Streumaschinen

Die Untersuchungen setzten Streumaschinen voraus, mit denen sich das Verhältnis zwischen Trockenstoff- und Lösungsanteil variieren lässt. Nach einer Marktanalyse kamen dafür zwei Typen in Frage:

- Typ STA 95 der Firma Küpper-Weisser
Am Typ STA 95 ist ein Bedienpult vorhanden, auf dem sich der Anfeuchtungsgrad in Stufen

von 5 mittels dafür vorhandener Tasten einstellen lässt.

- Typ 6002 der Firma Beilhack
Das Bedienpult dieser Streumaschine enthält zwar keine speziellen Einstellelemente für den Anfeuchtungsgrad. Es wurden auf frei programmierbaren Funktionstasten verschiedene Anfeuchtungsgrade programmiert.

Weitere in Frage kommende Typen mit einer Verstellung des Anfeuchtungsgrades am Bedienpult konnten nicht ermittelt werden.

7.2 Justierung der Streumaschinen

7.2.1 Justierung der Streudichte

Vor der Bewertung der Anfeuchtung durch Beobachtungen bei Hinterherfahrten wurden die Streumaschinen in Bezug auf die Streudichte und -breite justiert. Dafür fanden für die Streudichtejustierung Versuche entsprechend dem im Abschnitt 6.1.1 beschriebenen Verfahren statt.

Die Autobahnmeisterei Siegsdorf, die die Untersuchungen unterstützte, verwendete zum Zeitpunkt der Versuche Natriumchlorid in Siedesalzform (sehr feinkörnig, Korngröße 0-1 mm mit geringen Ausnahmen). Als Lösung kam eine ca. 20%ige Calciumchloridlösung zum Einsatz. Die Streudichten ließen sich ohne erhöhten Einstellungsaufwand auf maximal +/-10 % Abweichung einstellen.

Für die Beurteilung sollte auch ein grobkörniges Steinsalz der Südsalz AG zum Einsatz kommen. Für diese Versuche stand der Streumaschinentyp 6002 der Firma Beilhack zur Verfügung. Vor dem

Wechsel der Tausalzformen fand zunächst eine Prüfung der Streudichte mit dem standardmäßig eingesetzten Siedesalz statt. Anschließend wurde die Streumaschine entleert und mit dem Steinsalz gefüllt (2/3 des möglichen Maximalvolumens). Danach erfolgte eine erneute Ermittlung der Streudichten mit den gleichen Einstellungen wie für das Siedesalz. Zwischen den beiden Tausalzen ergaben sich bei gleicher Einstellung erhebliche Unterschiede (siehe Tabelle 6).

Bei den Versuchen mit dem Siedesalz werden im Durchschnitt +5 % Abweichung von den Sollwerten erreicht. Beim Steinsalz beträgt mit der gleichen Einstellung wie für das Siedesalz die Abweichung im Durchschnitt +30 % vom Sollwert. Die 25 % höheren Streudichten mit dem Steinsalz können mit der Dichte des Tausalzes erklärt werden. Von beiden Salzen wurden Proben für eine Dichteuntersuchung genommen. Die Dichte lässt sich nach dem Einfüllen in Messzylinder sehr gut vergleichen. Bild 13 zeigt den

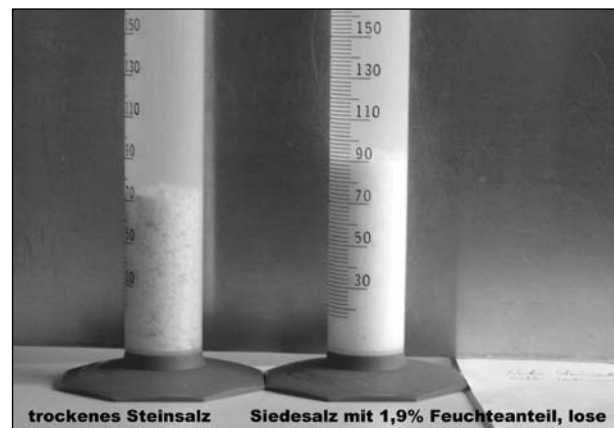


Bild 13: Vergleich der Dichte von trockenem Steinsalz und feuchtem Siedesalz, lose geschüttet, jeweils 100 g

Einstellwerte						Messergebnisse mit Salinensalz mit Einstellung für Salinensalz		Messergebnisse mit Steinsalz mit Einstellung für Salinensalz	
Versuchsnummer	Streudichte [g/m ²]	Streubreite [m]	simulierte Geschwindigkeit [km/h]	Auffangzeit [s]	Sollmenge [kg]	Ist-Masse [kg]	Abweichung Soll-Ist [%]	Ist-Masse [kg]	Abweichung Soll-Ist [%]
1	5	7	35	60	20,4	21,0	3	26,5	30
2	5	7	20	60	11,7	12,0	3	16,1	38
3	5	7	60	40	23,3	24,0	3	27,7	19
4	20	7	40	15	23,3	24,1	3	30,1	29
5	40	7	40	15	46,7	50,6	8	60,5	30
6	10	4	20	60	13,3	16,5	23	20,4	53
7	10	4	20	60	13,3	14,8	11	18,4	38

Tab. 6: Erreichte Ist-Werte bei der Streudichteüberprüfung mit zwei verschiedenen Tausalzen bei gleicher Regeleinstellung

Vergleich zwischen den beiden entnommenen Proben nach dem Einschütten. Während 100 g des Steinsalzes ca. 70 ml Volumen (Dichte ca. $1,4 \text{ kg/dm}^3$) einnehmen, erreichen 100 g Siedesalz ein Volumen von ca. 90 ml (Dichte ca. $1,1 \text{ kg/dm}^3$). Der Wassergehalt des Siedesalzes betrug fast 2 %. Das Tausalz befand sich aber bereits mehrere Tage in der Streumaschine, wodurch es zu einer Feuchtaufnahme des Tausalzes aus der Luft gekommen ist. Das Tausalz in der Salzhalle wirkte wesentlich trockener und damit auch rieselfähiger. Die untersuchte Probe stammte aus dem oberen Bereich des Streugutbehälters, aus dem das Tausalz noch von selbst herabsank. Im äußersten oberen Behälter-

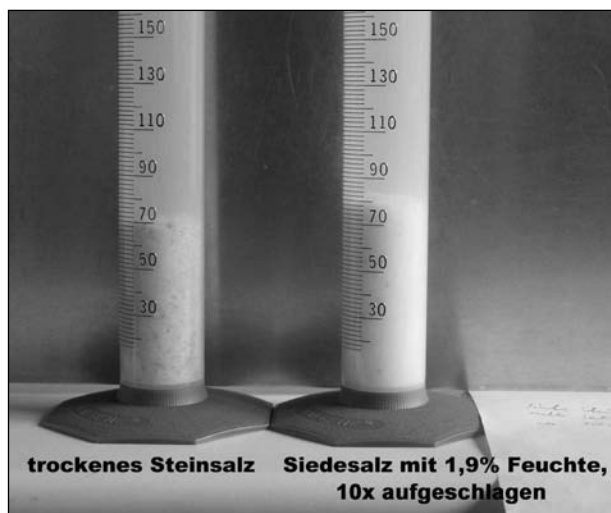


Bild 14: Vergleich der Dichte von trockenem Steinsalz mit feuchtem Siedesalz nach 10 x kräftigem Aufschlagen des Messzylinders auf den Tisch

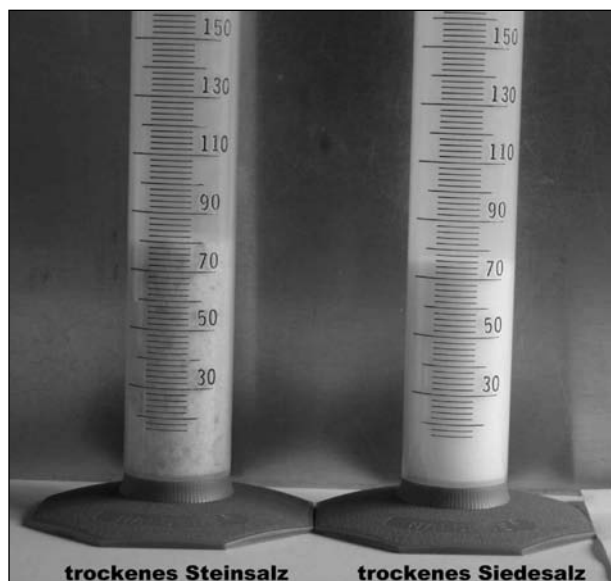


Bild 15: Vergleich der Dichte von Stein- und Siedesalz, jeweils 100 g, beide trocken

rand war das Salz noch feuchter und blieb am Behälter kleben.

Das Siedesalz ließ sich durch mehrfaches kräftiges Klopfen des Zylinders auf einen Tisch um etwa 10 % verdichten (Bild 14). Bei dem trockenen Steinsalz war durch das Klopfen keine Verdichtung erkennbar.

Nach dem Trocknen (Wassergehalt 0 %) erreichte das Siedesalz bei einer losen Schüttung etwa die gleiche Dichte wie das Steinsalz (Bild 15).

Eine Besonderheit in den beiden Messreihen in der Tabelle 6 bilden die Ergebnisse der Zeile 6. Hier weichen im Vergleich zu den anderen Prüfpunkten die Ist- und Sollwerte höher voneinander ab. Als Ursache wird die Umstellung von einer sehr hohen auf eine sehr niedrige Streudichte bei gleichzeitiger Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit und der Streubreite angesehen. Die auszutragende Tausalzmenge je Zeiteinheit reduziert sich um das 14fache.

Bei den Messungen der Streudichten fand kein Vorlauf der eingestellten Streudichte statt, d. h., nach der Umstellung der Vorgaben für Fahrgeschwindigkeit, Streudichte und -breite am Bedienpult wurde das Tausalz nach dem Einschalten sofort über die vorgesehene Zeitdauer aufgefangen.

Die zunächst hohe auszutragende Tausalzmenge wird scheinbar in der Förderschnecke höher komprimiert als eine kleinere Austragsmenge. Da aber nach dem Umschalten die hohe Komprimierung des Tausalzes am Förderschneckenende noch vorliegt, treten Fehlmessungen auf. Eine Wiederholung der Messung mit der eingestellten niedrigen Austragsmenge (Zeile 7, Tabelle 6) ohne eine geänderte Justierung führt zu deutlich geringeren Abweichungen zwischen Ist- und Sollwert. Bei den Überprüfungen der Streudichte sollte in jedem Fall ein Vorlauf des Tausalzauswurfs vor dem Auffangen erfolgen.

Bei der anschließenden Nutzung einer in der Steuerung vorhandenen Einstellung für Steinsalze wichen Soll- und Istwerte ohne Nachjustierung unter 10 % voneinander ab.

7.2.2 Überprüfung Streulage/Streubreite/Verteilung/Anfeuchtung

Streulage und -breite wurden nach visueller Betrachtung bei Hinterherfahrten mit einer Fahrgeschwindigkeit von ca. 50 km/h justiert. Die einge-

setzten Streufahrzeuge fahren immer auf dem rechten Fahrstreifen etwa mittig. Die eingestellte Streubreite betrug bei allen Fahrten 7 m.

Geschwindigkeitsabhängige Veränderungen der Streubreite und -lage waren im gefahrenen Geschwindigkeitsbereich zwischen 40 bis 60 km/h nicht erkennbar. Die hohen Fahrgeschwindigkeiten wurden gewählt, da die beteiligten Streufahrzeug-



Bild 16: Tausalzausbringung des Streuertyps 6002 der Firma Beilhack (FS30-Streuung)



Bild 17: Tausalzausbringung des Streuertyps 6002 der Firma Beilhack (5 g/m², ca. 50 km/h, ohne Anfeuchtung)



Bild 18: Vergleich der Streubilder bei der Austragung von Siede- und Steinsalz

führer angaben, sie in der Praxis (auf Autobahnen) auch regelmäßig zu fahren. Da alle Versuche im laufenden Verkehr stattfanden, wurden niedrigere Geschwindigkeiten zur Vermeidung möglicher Verkehrsgefährdungen nicht gewählt.

Die vorgefundenen Streubreiten mussten und konnten vom Werkstattpersonal korrigiert werden.

Erhebliche Ungleichmäßigkeiten bei der Streubildqualität fielen bei dem Streuertyp 6002 der Firma Beilhack auf. Streudichten ab etwa 20 g/m², 7 m Streubreite und Fahrgeschwindigkeiten von ca. 50 km/h führten zu einem sehr ungleichen Austreten der Tausalze am Streuteller, das zu keiner gleichmäßigen Verteilung führen kann (Bild 16). Ebenso lässt sich anhand verwehender Feinstkornanteile eine nur unzureichende Anfeuchtung trotz der FS30-Einstellung erkennen. Die Flächen rechts vom Streuteller werden augenscheinlich zu wenig bestreut und die Flugkurve der Tausalze ist ansteigend (siehe auch Bild 17).

Bessere Streustoffverteilungen und Anfeuchtungen konnte das Werkstattpersonal durch Nachjustierungen nicht erreichen. Nur durch konstruktive Änderungen am gesamten Streustoffverteiler konnte der Hersteller über mehrere Stufen die Streubildqualitäten deutlich verbessern. Umfangreichere Versuche mit letztem Stand der überarbeiteten Streumaschine fanden nicht statt.

Das Verwenden der verschiedenen Tausalzqualitäten (feinkörniges Siedesalz und grobkörniges Steinsalz) führte bei einer Austragung mit dem Streuertyp 6002 der Firma Beilhack im Stand zu sehr unterschiedlichen Streubildern (Bild 18).

Das Siedesalz wird sichelförmig mit einer zum Streufahrzeug geöffneten Sichelform ausgetragen. Das Streubild mit dem eingesetzten Steinsalz ist ebenfalls sichelförmig. Allerdings ist die Sichel nach hinten geöffnet. Dieser Vergleich zeigt einen erheblichen Einfluss der Streustoffeigenschaften auf die Streubildqualität.

Die Streumaschine Typ STA 95 der Firma Küpper-Weisser erreicht mit dem FS30-Verfahren nach der visuellen Beurteilung bei Fahrgeschwindigkeiten zwischen 40 bis 50 km/h eine gute Tausalzverteilung.

7.3 Ergebnisse visueller Beurteilungen der unterschiedlichen Anfeuchtung

7.3.1 Ergebnisse mit dem Typ STA 95 der Firma Küpper-Weisser

Die erste Untersuchungsfahrt mit verschiedenen Anfeuchtungsgraden fand auf einer trockenen Fahrbahn mit einer Fahrgeschwindigkeit von ca. 40 km/h statt. Die eingestellte Streubreite betrug 7 m, die Streudichte 20 g/m^2 . Als Tausalz kam Reichenhaller Siedesalz zum Einsatz (Korngrößen nur bis etwa 0,8 mm). Während der Fahrt fanden Verstärkungen des Anfeuchtungsgrades in Stufen von 5 statt. Die Windstärke war gering.

Die Bilder 19 bis 25 geben das Verhalten der Tausalze beim Ausbringen mit den unterschiedlichen Anfeuchtungsgraden wieder. Die Fotos sind immer entstanden, nachdem eine Stabilität des Streubildes nach dem Umstellen sichtbar war. Die Be-

schreibung der Streubilder anhand der visuellen Beobachtungen enthält Tabelle 7.

Weitere Streusalzausbringungen fanden bei Fahrgeschwindigkeiten mit 60 km/h und einer eingestellten Streudichte von 20 g/m^2 statt. Hier war die



Bild 21: Ausbringung von Siedesalz mit Streumaschine Typ STA 95 der Firma Küpper-Weisser mit Anfeuchtungsgrad 10 bei 40 km/h, 7 m Streubreite und 20 g/m^2 Streudichte



Bild 19: Ausbringung von Siedesalz mit Streumaschine Typ STA 95 der Firma Küpper-Weisser ohne Anfeuchtung bei 40 km/h, 7 m Streubreite und 20 g/m^2 Streudichte



Bild 22: Ausbringung von Siedesalz mit Streumaschine Typ STA 95 der Firma Küpper-Weisser mit Anfeuchtungsgrad 15 bei 40 km/h, 7 m Streubreite und 20 g/m^2 Streudichte



Bild 20: Ausbringung von Siedesalz mit Streumaschine Typ STA 95 der Firma Küpper-Weisser mit Anfeuchtungsgrad 5 bei 40 km/h, 7 m Streubreite und 20 g/m^2 Streudichte



Bild 23: Ausbringung von Siedesalz mit Streumaschine Typ STA 95 der Firma Küpper-Weisser mit Anfeuchtungsgrad 20 bei 40 km/h, 7 m Streubreite und 20 g/m^2 Streudichte



Bild 24: Ausbringung von Siedesalz mit Streumaschine Typ STA 95 der Firma Küpper-Weisser mit Anfeuchtungsgrad 25 bei 40 km/h, 7 m Streubreite und 20 g/m² Streudichte

Ohne Anfeuchtung	Die Salzkörner wehen vollkommen unkontrolliert. Eine gleichmäßige Verteilung des Siedesalzes lässt sich bei dieser Fahrgeschwindigkeit nicht erreichen (Bild 19).
Anfeuchtungsgrad 5	Bei einem Anfeuchtungsgrad 5 ist keine geringere Verwehung im Vergleich zum Ausbringen ohne Anfeuchtung zu erkennen. Diese Betrachtung darf nicht mit dem traditionellen FS5-Verfahren verwechselt werden, bei dem die Anfeuchtung des Tausalzes bei der Beladung erfolgt. Die Anfeuchtung am Streuteller hier bleibt sichtbar wirkungslos (Bild 20).
Anfeuchtungsgrad 10	Der Anfeuchtungsgrad 10 bewirkt eine sichtbare Verringerung der verwehenden Tausalze. Allerdings werden Teile des auszubringenden Tausalzes an die hintere Schürze geschleudert, von der es unregelmäßig abtropft. Eine gleichmäßige Verteilung wird nicht erreicht (Bild 21).
Anfeuchtungsgrad 15	Mit dem Anfeuchtungsgrad 15 verringert sich der verwehende Anteil im Vergleich zum Anfeuchtungsgrad 10. Gleichzeitig erhöht sich der Anteil, der gegen die Schürze geschleudert wird und von dort wieder abtropft (Bild 22).
Anfeuchtungsgrad 20	Im Vergleich zum Anfeuchtungsgrad 15 sind keine größeren Veränderungen erkennbar (Bild 23).
Anfeuchtungsgrad 25	Bei dem Anfeuchtungsgrad 25 sind visuell nur sehr geringe Verwehungen erkennbar. Das Schleudern gegen die Schürze tritt nicht mehr auf (Bild 24).
Anfeuchtungsgrad 30	Es sind keine Verwehungen mehr sichtbar (Bild 25).

Tab. 7: Beschreibung der augenscheinlichen Streubildeinschätzung bei Hinterherfahrt hinter dem Streutyp STA 95 der Firma Küpper-Weisser bei einer Fahrgeschwindigkeit von 45 km/h, 20 g/m² Streudichte und 7 m Streubreite

Fahrbahn jedoch nass, und es regnete mit unterschiedlichen Intensitäten. Durch den Regen und das aufgewirbelte Wasser von der Fahrbahn ist eine Aussage über das Verwehen von Salzkörnern unmöglich. Die Bilder 26 und 27 zeigen die Situationen unter den genannten Bedingungen. Das eingesetzte Tausalz war das gleiche Siedesalz wie bei den zuvor beschriebenen Versuchen.



Bild 25: Ausbringung von Siedesalz mit Streumaschine Typ STA 95 der Firma Küpper-Weisser mit Anfeuchtungsgrad 30 bei 40 km/h, 7 m Streubreite und 20 g/m² Streudichte



Bild 26: Ausbringung von Siedesalz mit Streumaschine Typ STA 95 der Firma Küpper-Weisser ohne Anfeuchtung bei 60 km/h, 7 m Streubreite und 20 g/m² Streudichte



Bild 27: Ausbringung von Siedesalz mit Streumaschine Typ STA 95 der Firma Küpper-Weisser mit Anfeuchtungsgrad 30 bei 60 km/h, 7 m Streubreite und 20 g/m² Streudichte

7.3.2 Ergebnisse mit dem Typ 6002 der Firma Beilhack

Nach Beseitigung der größten Mängel (siehe Abschnitt 2.2.2) fanden auch mit diesem Typ Versuchsfahrten statt. Die Bilder 28 bis 34 zeigen das Verhalten mit unterschiedlichen Anfeuchtungsgraden (Beschreibung der visuellen Beobachtungen siehe



Bild 28: Ausbringung von Siedesalz mit Streumaschine Typ 6002 der Firma Beilhack ohne Anfeuchtung bei 45 km/h, 7 m Streubreite und 20 g/m² Streudichte



Bild 29: Ausbringung von Siedesalz mit Streumaschine Typ 6002 der Firma Beilhack mit Anfeuchtungsgrad 5 bei 45 km/h, 7 m Streubreite und 20 g/m² Streudichte



Bild 30: Ausbringung von Siedesalz mit Streumaschine Typ 6002 der Firma Beilhack mit Anfeuchtungsgrad 10 bei 45 km/h, 7 m Streubreite und 20 g/m² Streudichte



Bild 31: Ausbringung von Siedesalz mit Streumaschine Typ 6002 der Firma Beilhack mit Anfeuchtungsgrad 15 bei 45 km/h, 7 m Streubreite und 20 g/m² Streudichte



Bild 32: Ausbringung von Siedesalz mit Streumaschine Typ 6002 der Firma Beilhack mit Anfeuchtungsgrad 20 bei 45 km/h, 7 m Streubreite und 20 g/m² Streudichte



Bild 33: Ausbringung von Siedesalz mit Streumaschine Typ 6002 der Firma Beilhack mit Anfeuchtungsgrad 25 bei 45 km/h, 7 m Streubreite und 20 g/m² Streudichte



Bild 34: Ausbringung von Siedesalz mit Streumaschine Typ 6002 der Firma Beilhack mit Anfeuchtungsgrad 30 bei 45 km/h, 7 m Streubreite und 20 g/m² Streudichte

Ohne Anfeuchtung	Die Salzkörner wehen vollkommen unkontrolliert. Eine gleichmäßige Verteilung des Siedesalzes lässt sich bei dieser Fahrgeschwindigkeit nicht erreichen (Bild 28).
Anfeuchtungsgrad 5	Im Vergleich zum Ausbringen ohne Anfeuchtung ergeben sich kaum Änderungen. Vereinzelt sind einzelne Zusammenbackungen der Tausalze zu erkennen (Bild 29).
Anfeuchtungsgrad 10	Der etwas höhere Anfeuchtungsgrad 10 führt kaum zu Änderungen im Vergleich zum Anfeuchtungsgrad 5. Die zusammengebackenen Salzteile erscheinen etwas mehr vorhanden zu sein (Bild 30).
Anfeuchtungsgrad 15	Die höhere Anfeuchtung der Tausalze mit dem Anfeuchtungsgrad 15 ist im Vergleich zum Anfeuchtungsgrad 10 an dem Flugverhalten unmittelbar hinter dem Teller deutlich erkennbar (Bild 31 links vom Streufahrzeug). Ebenfalls scheinen die Anteile verwehender Tausalze geringer zu sein. In diesem Fall werden, ähnlich wie bei dem Typ STA 95 der Firma Küpper-Weisser beschrieben, Teile der angefeuchteten Salzkörner gegen die Schürze geschleudert, die dann von dort abtropfen.
Anfeuchtungsgrad 20	Im Vergleich zum Anfeuchtungsgrad 15 werden beim Anfeuchtungsgrad 20 nach der visuellen Betrachtung die verwehenden Tausalzmengen geringer. Das Schleudern von Tausalzen gegen die Schürze ändert sich kaum (Bild 32).
Anfeuchtungsgrad 25	Die Anteile der verwehenden Salzkörner verringern sich im Vergleich zum Anfeuchtungsgrad 20 deutlich. Es sind auf der Fahrbahnoberfläche im mittleren Fahrbahnbereich angefeuchtete Ablagerungen zu erkennen (Bild 33).
Anfeuchtungsgrad 30	Trotz eines Anfeuchtungsgrades 30 treten noch wehende und damit nicht angefeuchtete Tausalze auf. Die auf der Fahrbahnoberfläche aufgekommenen angefeuchteten Salzmengen wirken ungleich verteilt (Bild 34).

Tab. 8: Beschreibung der augenscheinlichen Streubildeinschätzung bei Hinterherfahrt hinter dem Streutyp 6002 der Firma Beilhack bei einer Fahrgeschwindigkeit von 45 km/h, 20 g/m² Streudichte und 7 m Streubreite

Tabelle 8). Bei diesen Fahrten kam das gleiche Siedesalz wie bei den Fahrten mit der Streumaschine der Firma Küpper-Weisser zum Einsatz. Die Fahrgeschwindigkeit betrug in diesem Fall ca. 45 km/h, die eingestellte Streudichte 20 g/m² und die Streubreite 7 m.



Bild 35: Ausbringung von Siedesalz mit Streumaschine Typ 6002 der Firma Beilhack mit Anfeuchtungsgrad 30 bei 35 km/h, 7 m Streubreite und 20 g/m² Streudichte



Bild 36: Ausbringung von Siedesalz mit Streumaschine Typ 6002 der Firma Beilhack mit Anfeuchtungsgrad 30 bei 60 km/h, 7 m Streubreite und 20 g/m² Streudichte

Die Bilder 35 und 36 geben noch die Situationen hinter dem Fahrzeug bei dem gleichen Anfeuchtungsgrad 30 und sonstigen gleichen Einstellungen, aber anderen Fahrgeschwindigkeiten wieder.

Während bei 35 km/h die verwehenden Tausalzanteile geringer sind als bei der Fahrgeschwindigkeit von 45 km/h, ist bei 60 km/h kaum noch eine angefeuchtete Tausalzmenge sichtbar.

7.4 Bewertung der visuellen Beobachtungen

Mit den visuellen Beobachtungen bei Hinterherfahrten sind tendenzielle Aussagen über die Wirkung der unterschiedlichen Anfeuchtungsgrade möglich.

Bei der Bewertung von Fotos muss beachtet werden, dass sie nur Momentaufnahmen darstellen. Die Tausalze verwehen aufgrund äußerer Einflüsse auch bei gleichen Einstellungen sichtbar unterschiedlich. Hauptsächlich wirken hier Fahrtwindinflüsse von vorbeifahrenden Fahrzeugen ein.

Unterschiede bei der Beurteilung ergeben sich zwischen den visuellen Betrachtungen unmittelbar hinter dem Fahrzeug und den Betrachtungen der Fotos. Zwischen den Anfeuchtungsgraden FS20, FS25, FS30 waren die subjektiven Eindrücke bei der Hinterherfahrt in Bezug auf die Differenzen bei der Verwehnung geringer als in der Fotoreihe dargestellt. Die Fotos sind digital aufgenommen und bearbeitet. Teilweise kam bei den Aufnahmen ein Polarisationsfilter zum Einsatz, das in erster Linie Spiegelungen der Fahrzeugscheibe verhindern sollte. Das Filter und die Bearbeitung führen aber zu höheren Kontrasten im Vergleich zu den unmittelbaren visuellen Wahrnehmungen der beurteilenden Person ohne Hilfsmittel. Die Fotos zeigen daher im Einzelnen höhere Verwehnungen als mit dem Auge wahrnehmbar. Eindeutigere Aussagen können nur genauere Beurteilungsverfahren geben, die es zum Zeitpunkt der Untersuchungen aber nicht gab.

Der Vergleich der beiden eingesetzten Streumaschinen zeigt den erheblichen Einfluss der konstruktiven Ausführung der Anfeuchtungstechnik. Die Streumaschine der Firma Küpper-Weisser erreichte nach den visuellen Betrachtungen bei gleichen Einstellungen und Fahrgeschwindigkeiten im Vergleich zum Beilhack-Typ 6002 eine wesentlich bessere Anfeuchtung, die zu deutlich geringeren Verwehnungen führte.

Die durchgeführten Tausalzausbringungen mit dem Typ 6002 der Firma Beilhack mit unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten zeigten außerdem eine erhebliche Abhängigkeit der Anfeuchtung von der Fahrgeschwindigkeit. Bei einem erhöhten Durchsatz je Zeiteinheit durchmischen sich Trockenstoff und Lösung nicht mehr ausreichend. Diese Streumaschine sollte bei dem Ausbringen mit dem FS30-Verfahren nicht wesentlich schneller als 40 km/h fahren, um eine ausreichend gleichmäßige Verteilung zu erreichen.

Bei beiden Typen, vor allem beim Typ STA 95, änderte sich der Tausalzabwurf in Abhängigkeit vom Anfeuchtungsgrad. Bei einigen vorgenommenen Einstellungen schleuderten die Streuteller die Tausalze mehr oder weniger in Richtung unter das Fahrzeug. Von der am Fahrzeugheck vorhandenen Schürze tropften dann Teile der Tausalzmengen herunter, die so zu keiner gleichmäßigen Verteilung der Tausalze führen können. Mit einer Änderung des Anfeuchtungsgrades beim Ausbringen muss auch eine Änderung der Steuerung des Auswurfes

(z. B. Änderung der Tellerdrehzahl oder Stellung des Streustoffverteilers) erfolgen, die diesem Verhalten entgegenwirkt.

7.5 Quantitative Beurteilung der Anfeuchtungswirkung

Für die quantitative Bestimmung der Verwehverluste fand nach den im Abschnitt 6.2 beschriebenen Überlegungen ein Pilotversuch statt, bei dem seitlich neben der Fahrbahn Kunststoffplatten mit einer Abmessung 50 x 50 cm ausgelegt wurden. Auf den Platten befanden sich zur Fahrbahn abgewandten Seite etwa 40 cm hohe Holzborde, die ein Weiterrollen oder -fliegen von Salzkörnern über die Platten verhindern sollten (Bild 37).

Die Platten lagen etwa 50 cm neben der linken Fahrbahnmarkierung. Dort befand sich ein geringer Absatz, sodass die Platten in einer Ebene zur Fahrbahnoberfläche ausgelegt werden konnten. Ebene Übergänge zwischen Platten und Fahrbahnoberfläche wurden mit Klebeband geschaffen. Unter den Platten lagen schwarze Gummimatten. Die Platten bedeckten nicht vollständig die Gummimatten. Alle Kunststoffplatten wurden vor dem Auslegen im trockenen Zustand gewogen.

Für eine optimalere Beurteilung sollten die Auffangvorrichtungen direkt neben dem Fahrbahnrand liegen, was in diesem Fall aufgrund der vorhandenen Gegebenheiten nicht realisierbar war.

Nach dem Aufbau der Platten fand eine Ausbringung von Feuchtsalz mit einem Anfeuchtungsgrad 30 statt. Die genutzte Streumaschine war der Typ STA 95 der Firma Küpper-Weisser. Es war dieselbe Maschine wie bei den Beurteilungen der Anfeuchtung mittels der Hinterherfahrten. Dabei wurde wieder das gleiche Natriumchlorid in Siedesalzqualität mit einer Calciumchloridlösung verwendet. Die eingestellte Streudichte betrug 20 g/m², die Streubreite 7 m und die Fahrgeschwindigkeit etwa 45 km/h. Das Fahrzeug fuhr auf dem rechten Fahrtrichtungsstreifen. Die Streulage wurde vor dem Messfeld anhand der Beobachtungen bei der Hinterherfahrt so korrigiert, dass subjektiv betrachtet, keine größeren Mengen an Salzkörnern in den Seitenstreifenbereich flogen (Bild 38). Die Fahrbahn war vor dem Ausbringen augenscheinlich trocken.

Unmittelbar beim Ausbringen rollten oder wehten Salzkörner auf die Platten. Darunter waren die dem



Bild 37: Vorrichtung für das Auffangen von Verwehverlusten bei der Tausalzausbringung



Bild 38: Streubild vor dem Messfeld für die quantitative Bewertung von Verwehversuchen



Bild 39: Auffangplatte mit verwehtem Tausalz

Siedesalz untergemischten großen Körner (geschätzter Durchmesser rund 3 mm, Anteil kleiner 1 % der Gesamtmasse) verhältnismäßig häufig zu erkennen (Bild 39).

In der sich anschließenden Zeit nach dem Ausbringen entstand bei vergleichsweise geringem Ver-

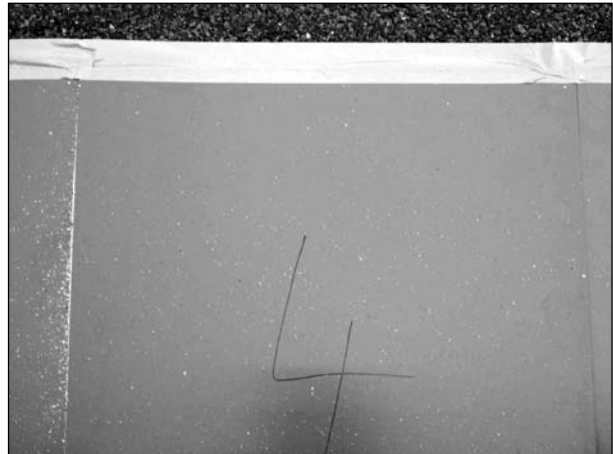


Bild 40: Auffangplatte mit verwehtem Tausalz, links erhöhte Salzkornablagerungen infolge einer Kantenbildung

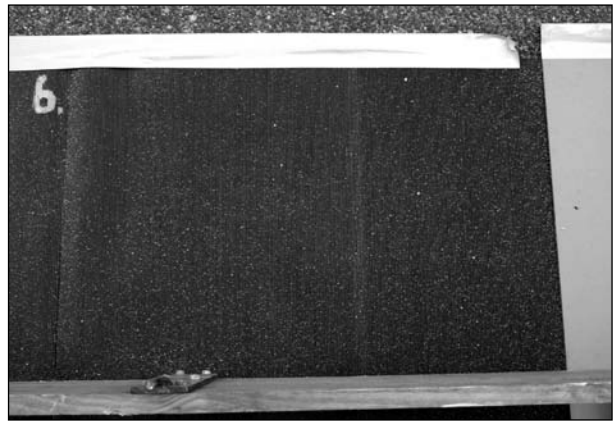


Bild 41: Verwehte Tausalzkörner auf ausgelegten Gummimatten neben der Fahrbahn

kehr innerhalb ca. einer Minute, subjektiv beurteilt, eine gleichmäßig angefeuchtete Fahrbahnoberfläche. Weitere Verfrachtungen von Tausalzkörnern zum Fahrhahnrand und auf die Platten konnten in den folgenden 15 Minuten nicht beobachtet werden. Die feinkörnigen Salzanteile haben sich scheinbar in der Lösung gelöst. Diese Lösungsanteile wurden durch den Verkehr aufgewirbelt und mit dem Fahrtwind verweht. Die Beobachter unmittelbar neben der Fahrbahn haben das Salz sehr deutlich im Gesicht gespürt, ohne dass feste Teilchen sichtbar waren.

Die Platten wurden anschließend mit den aufgenommenen Tausalzkörnern verwogen. Allerdings können die Ergebnisse nur als sehr fehlerbehaftet bewertet werden, da durch geringe Kantenbildungen zwischen den Platten und sich lösenden Klebändern trotz vorsichtiger Aufnahme mit vorheriger Verlagerung der Salzkörner mit einem weichen Pinsel Salzanteile verloren gegangen sein können. Insgesamt wird die auf den Platten abgelagerte

Tausalzmenge mit unter 5 % der aufgetragenen Gesamtmasse geschätzt.

Im Ergebnis kann das Ausbringen von Natriumchlorid in der Siedesalzform mit einer 30%igen Anfeuchtung bei dem Typ STA 95 mit den genannten Einstellungen und Fahrgeschwindigkeit als ein Verfahren angesehen werden, das zu nur sehr geringen Verwehverlusten bei und auch nach dem Ausbringen führt.

Der Versuchsaufbau für die Beurteilung hat sich nicht bewährt. Die eingesetzten Klebestreifen blieben nicht vollständig haften. Ebenso negativ beeinflussten die bereits genannten unebenen Übergänge zwischen den Platten die genaue Beurteilung der verwehten Tausalzanteile (siehe Bild 40).

Auf den ausgelegten schwarzen Matten ließen sich die verwehten Tausalzkörner ebenso sehr gut erkennen (Bild 41).

Für weitere Ergebnisse mit diesem Versuchansatz wird vorgeschlagen, die verwehten Salzteilchen in einem begrenzten Bereich neben der Fahrbahn aufzusaugen. Die aufgesaugte Menge kann durch Wägung quantifiziert werden.

8 Hinweise für die Streupraxis

8.1 Empfehlungen zum Einsatz der Streumaschinen

Die vorliegenden Beobachtungsergebnisse zeigen, dass eine Reduzierung des Lösungsanteils für die Anfeuchtung von Trockensalz ohne eine höhere Verwehungsgefahr möglich erscheint. Die Möglichkeit der Reduzierung muss durch weitere Untersuchungen genauer nachgewiesen werden. Dabei müssen auch vor allem Tausalze mit anderen Korngrößenzusammensetzungen und andere Streumaschinentypen untersucht werden. Ohne die Ergebnisse weiterer Untersuchungen wird eine Reduzierung der Anfeuchtung nicht empfohlen.

Die Untersuchungen zeigen aber auch, dass eine Verringerung des Anfeuchtungsgrades zu Anpassungen in der Steuerung der Streumaschine führen muss, damit die gleichen Streubilder wie bei einem Anfeuchtungsgrad 30 erreicht werden. Vor einer Reduzierung der Lösungsmenge ist die Einstellung der Streumaschine genau zu prüfen.

Die Versuche ergaben außerdem, dass die Qualität der vorhandenen Streumaschine vom Typ 6002 der Firma Beilhack nach den visuellen Beurteilungen nicht den Anforderungen entsprach. Die Tausalze wurden nicht gleichmäßig verteilt ausgebracht, die Anfeuchtung war unzureichend. Der Hersteller hat aufgrund der mitgeteilten Untersuchungsergebnisse diesen Typ im Streustoffverteiler zwar grundlegend überarbeitet; ein Nachweis der verbesserten Qualität ist jedoch nicht bekannt. Die Nutzer baugleicher Typen, wie bei den Untersuchungen verwendet, sollten die Anfeuchtungsqualität bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten überprüfen und die Fahrgeschwindigkeit entsprechend den Erkenntnissen anpassen.

Eine wesentliche Erkenntnis der Untersuchungen ist auch die erhebliche Änderung der Streudichte und des Flugverhaltens der Salzkörner aufgrund unterschiedlicher Tausalzqualitäten infolge der Korngrößenzusammensetzung und vor allem des aufgetretenen Feuchtegehaltes. Den Streumaschinennutzern wird unabhängig vom Streumaschinentyp die Justierung der Steuerung auf die genutzte Salzqualität als unbedingt erforderlich geraten. Die Einstellungen sollten bei sich ändernden Salzqualitäten in jedem Fall überprüft werden.

8.2 Einstellung der Streustoffdichten

Reduzierungen der Anfeuchtung können in der Praxis nur zu Einsparungen an Tausalz- bzw. Lösungsmengen führen, wenn in der Praxis tatsächlich weniger Mengen ausgetragen werden. Dies lässt sich bei den zurzeit üblichen Einstellungen der Streudichte nur ungenügend realisieren.

Dazu folgendes Beispiel:

Die Streudichte wird in der Regel mit einer Auflösung von 5 g/m² verstellt (5, 10, 15... 40 g/m²). Eine feinere Auflösung führt in der Praxis zu einem deutlich höheren Schaltungsaufwand bei der Verstellung der Streudichte. Die Einführung der Feuchtsalztechnik hat das Einstellverhalten in der Regel nicht geändert. Statt 10 g/m² Trockensalz werden 10 g/m² Feuchtsalz ausgetragen. Unterschiedliche Austragemengen werden für beide Verfahren nicht empfohlen. Im Feuchtsalz FS30 sind rund 24 Masse-% weniger tauwirksame Substanz enthalten, die beim Einsatz der Feuchtsalztechnik im Vergleich zum Trockenstreuen direkt gespart werden.

Eine Verringerung des Feuchteanteils erhöht bei einer Einstellung nach der Streudichte (= Gesamtaustragsmenge) aus Trockenstoff und Lösung wieder die tauwirksame Substanz. Da eine Einsparung erreicht werden soll, muss eine Änderung der bisherigen Einstellpraxis erfolgen.

Dieses Problem kann sinnvoll dadurch umgangen werden, dass die verringerte Anfeuchtung nur eine Absenkung der Lösungsmenge bedeutet. Der Anteil an Trockenstoff bleibt für eine eingestellte Streudichte konstant (siehe Beispiel in Tabelle 1). Dabei verringert sich die tatsächlich ausgetragene Gesamtstreudichte. Sie verhält sich zu einem Grundwert relativ.

Der Grundwert kann die Trockenstoffmasse ohne Anfeuchtung sein. Tausalze ohne Anfeuchtung werden heute kaum noch ausgebracht. Daher erscheint es sinnvoll, die auszubringende Trockenstoffmasse auf die Trockenstoffmasse beim FS30-Streuen zu beziehen. Das entsprechende Berechnungsbeispiel ist bereits im Abschnitt 1 beschrieben.

Der Vorteil des Bezugs auf FS30 liegt in der gängigen Behandlung durch die Streumaschinenbediener. Sie müssen ihre Überlegungen zu den einzustellenden Streudichten nicht ändern. Ähnlich war die Umstellung von Trockenstoffstreuungen auf die Feuchtsalzstreuung nach dem FS30-Verfahren. Die Einsparung der Tausalze ergab sich in der Regel bei gleichen ausgebrachten Streudichten, wobei bei dem FS30-Verfahren das Wasser in den Lösungen für die Anfeuchtung den Trockenstoff ersetzte.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Tauleistungsmessungen im Labor widersprechen der häufig geäußerten Annahme, dass Feuchtsalz aufgrund der Anfeuchtung deutlich schneller reagiert als trockenes Natriumchlorid. Auf Eisplatten aufgetragenes trockenes Natriumchlorid beginnt praktisch sofort mit einer Tauwirkung. Die bessere Wirkung des Feuchtsalzes im Vergleich zu trocken ausgebrachtem Tausalz in der Praxis entsteht nur durch wesentlich geringere Verwehverluste während und nach dem Ausbringen.

Ausgehend von dieser Erkenntnis entstand die Überlegung, inwieweit durch eine Verringerung des

Lösungsanteils bei der Anfeuchtung des Trockenanteils (Anfeuchtungsgrad) im gleichen Umfang eine Verwehung verhindert werden kann. Eine Verringerung der Lösungsanteile soll Kosten für die Lösungen senken, die heute erforderliche, im Vergleich zum Trockensalz lange Ladezeit senken und gegebenenfalls die mögliche Lademenge von tauwirksamen Trockenstoffen für eine längere Streustrecke erhöhen.

Zunächst fanden Tauleistungsmessungen im Labor mit Natriumchlorid und unterschiedlichen Anfeuchtungsgraden statt, anhand deren Ergebnissen sich keine Senkung der Tauleistung infolge der Reduzierung der Lösungsmenge bei gleich bleibendem Trockenstoffanteil ableiten ließ. Die Messergebnisse führten allerdings zu teilweise unterschiedlichen Aussagen, die vorrangig auf die Genauigkeit des Messverfahrens zurückgeführt werden.

Durchgeführte Praxisversuche zeigten, dass eine reduzierte Anfeuchtung nicht zu höheren Verwehverlusten führen muss. Die Streubilder wurden dabei visuell beim Ausbringen durch eine Hinterherfahrt beurteilt.

Ein geänderter Anfeuchtungsgrad führt nach den durchgeführten Beobachtungen zu einem geänderten Flugverhalten der Tausalze vom Streuteller. Dieses führte wiederum zu ungleichmäßigeren Verteilungen der Tausalze auf der Fahrbahn. Eine Korrektur dieses geänderten Wurfverhaltens war an den eingesetzten Streuertypen nicht möglich.

Anhand der Versuche waren auch sehr deutliche Unterschiede zwischen den eingesetzten Streumaschinentypen erkennbar. Während ein Maschinentyp eine Absenkung des Anfeuchtungsgrades unter 30 ohne wesentlich höhere Verwehverluste zulässt, hatte ein anderer Maschinentyp Schwierigkeiten, bei dem Anfeuchtungsgrad 30 eine vollständige Anfeuchtung zu erreichen. Eine verringerte Lösungsmenge ohne Erhöhung der Verwehverluste setzt nach den Beurteilungen eine optimale Anfeuchtungstechnik voraus, die bei einem eingesetzten Typ nach einer Korrektur des Wurfverhaltens auch erreichbar scheint. Diese Korrektur war aber an der eingesetzten Streumaschine nicht möglich.

Ein weiteres wesentliches Ergebnis der Versuche war der Einfluss der Tausalze auf die Streubilder. Bei der Streudichte konnten bei gleichen Einstellungen Differenzen über 25 % infolge unterschiedlicher Salzqualitäten (Korngrößen, Feuchtigkeitsgehalt) erkannt werden. Ebenso ergab sich ein sehr unter-

schiedliches Wurfverhalten bei den unterschiedlichen Tausalzqualitäten. Diese Erkenntnisse zeigen den sehr hohen Einstellbedarf für die Streumaschinen in Bezug zu den eingesetzten Tausalzen.

Da die genutzten Streumaschinen sich bei einem verringerten Anfeuchtungsgrad nicht so einstellen ließen, dass ein optimales Streubild erreicht wird, wurden die Untersuchungen eingestellt. Zwischenzeitlich erkannte Mängel an weiteren Streumaschinen aus dem laufenden Betrieb verschiedener Straßenbauverwaltungen mit dem FS30-Verfahren weisen auf einen erhöhten Prüf- und Justierbedarf hin. Diese Probleme müssen zunächst geklärt werden, bevor an einer weiteren Optimierung der Tausalzausbringung gearbeitet wird. Technische Weiterentwicklungen der Streumaschinen für eine verringerte Anfeuchtung im Sinne des ursprünglich geplanten Projektzieles laufen ebenfalls. Die müssen dann gegebenenfalls in ihrer Wirkung geprüft werden.

Literatur

- [1] Der Elsner, Handbuch für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2004, Otto Elsner Verlagsgesellschaft, Dieburg
- [2] BADEL, H., GÖTZFRIED, F.: Wirksamkeit verschiedener Tausalze, Straßenverkehrstechnik, 10/2003, S. 527-533
- [3] BADEL, H., MORITZ, K., HERPERTZ, S., HÄUSLER, G.: Entwicklung eines vereinfachten Prüfverfahrens zur Ermittlung der Wirksamkeit von Tausalzen, Abschlussbericht zum Projekt 87612 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach/Inzell 03/1999
- [4] BADEL, H., POHLE, G., WENDL, A., HÄUSLER, G.: Beurteilungsgröße der Tauleistung und Bestimmung der Wiederholbarkeit für Inzeller Tauleistungsmesswerte, Abschlussbericht zum Projekt 94651 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Inzell 02/1998
- [5] Bundesanstalt für Straßenwesen: Beschreibung des Inzeller Eisplattenverfahrens, unveröffentlicht, Inzell 1999
- [6] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Kommentar zu den Technischen Lieferbedingungen für Streustoffe, Entwurf Stand 29.01.2004, unveröffentlicht
- [7] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt für die Überprüfung von Streugeräten für den Straßenwinterdienst, Ausgabe 1989, Ergänzung 1993
- [8] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt für den Unterhaltungs- und Betriebsdienst an Straßen, Teil: Winterdienst, Ausgabe 1997
- [9] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 1: Grundlagen, Ausgabe 1986
- [10] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Lieferbedingungen und Richtlinien für Geräte des Straßenunterhaltungs- und -betriebsdienstes, TLG, Teil B3, Streugeräte, Ausgabe 1991
- [11] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Lieferbedingungen für Streustoffe des Straßenwinterdienstes (TL-Streu), Ausgabe 2003
- [12] GARTISER, S., REUTHER, R., GENSCHE, C.-O.: Machbarkeitsstudie zur Formulierung von Anforderungen für ein neues Umweltzeichen für Enteisungsmittel für Straßen und Wege, in Anlehnung an DIN EN ISO 14024, Forschungsbericht des Umweltbundesamtes, Texte 09/2003
- [13] HANKE, H.: Strategien zur Erhöhung der Wirksamkeit des Straßenwinterdienstes auf Autobahnen, Straße + Autobahn 01/2001, S. 7-11
- [14] HANKE, H.: Feuchtsalz-Anwendung in Straßenwinterdienst, Einsparungsmöglichkeiten und Anwendungsempfehlungen, Straße + Autobahn 05/1991, S. 250-258
- [15] HANKE, H., LEVIN, C.; MATTHEß, V., SENDROWSKI, R.: Einsatz und Wirtschaftlichkeit von Feuchtsalz in der Praxis, Technische Hochschule Darmstadt, Schlussbericht 09/1990
- [16] FLEISCH, J., SCHEURL, S., MORITZ, K., WENDL, A., HÄUSLER, G.: Entwicklung eines Prüfverfahrens für die Beurteilung des Streubildes beim Feuchtsalzstreuen (Fortschreibung TLG-B3), Abschlussbericht zum Projekt

94653 der Bundesanstalt für Straßenwesen,
Inzell 12/1999

- [17] POHLE, G., BREITENSTEIN, J.: Entwicklung eines Standardverfahrens zur Ermittlung der Wirksamkeit von Taustoffen, Abschlussbericht zum Projekt 87614 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Inzell 01/1993
- [18] STEINHAUSER, L.: Erfahrungen mit Feuchtsalz im Winterdienst – Ein Beitrag zum Umweltschutz und zur Verkehrssicherheit, Straße + Autobahn, 04/1989, S. 139-141
- [19] ZULAUF, R.: Über das Haftvermögen des Haftsatzes auf Straßenoberflächen, Straße + Autobahn, 01/1969, S. 15-17

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2002

V 88: Tägliches Fernpendeln und sekundär induzierter Verkehr
Vogt, Lenz, Kalter, Dobeschinsky, Breuer € 17,50

V 89: Verkehrsqualität auf Busspuren bei Mitnutzung durch andere Verkehre
Baier, Kathmann, Schuckließ, Trapp, Baier, Schäfer € 13,50

V 90: Anprallversuche mit Motorrädern an passiven Schutzeinrichtungen
Bürkle, Berg € 16,50

V 91: Auswirkungen der Umnutzung von BAB-Standstreifen
Mattheis € 15,50

V 92: Nahverkehrsbevorrechtigung an Lichtsignalanlagen unter besonderer Berücksichtigung des nichtmotorisierten Verkehrs
Friedrich, Fischer € 14,00

V 93: Nothaltemöglichkeiten an stark belasteten Bundesfernstraßen
Brilon, Bäumer € 17,00

V 94: Freigabe von Seitenstreifen an Bundesautobahnen
Lemke, Moritz € 17,00

V 95: Führung des ÖPNV in kleinen Kreisverkehren
Topp, Lagemann, Derstroff, Klink, Lentze, Lübke, Ohlschmid, Pires-Pinto, Thömmes € 14,00

V 96: Mittellage-Haltestellen mit Fahrbahnanhebung
Angenendt, Bräuer, Klöckner, Cossé, Roeterink, Sprung, Wilken € 16,00

V 97: Linksparken in städtischen Straßen
Topp, Riel, Albert, Bugiel, Elgun, Roßmark, Stahl € 13,50

V 98: Sicherheitsaudit für Straßen (SAS) in Deutschland
Baier, Bark, Brühning, Krumm, Meewes, Nikolaus, Räder-Großmann, Rohloff, Schweinhuber € 15,00

V 99: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2000 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Laffont, Nierhoff, Schmidt € 21,00

2003

V 100: Verkehrsqualität unterschiedlicher Verkehrsteilnehmerarten an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage
Brilon, Miltner € 17,00

V 101: Straßenverkehrszählung 2000 – Ergebnisse
Lensing € 13,50

V 102: Vernetzung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen
Kniß € 12,50

V 103: Bemessung von Radverkehrsanlagen unter verkehrstechnischen Gesichtspunkten
Falkenberg, Blase, Bonfranchi, Cossé, Draeger, Kautzsch, Stapf, Zimmermann € 11,00

V 104: Standortentwicklung an Verkehrsknotenpunkten – Randbedingungen und Wirkungen
Beckmann, Wulfhorst, Eckers, Klönne, Wehmeier, Baier, Peter, Warnecke € 17,00

V 105: Sicherheitsaudits für Straßen international
Brühning, Löhe € 12,00

V 106: Eignung von Fahrzeug-Rückhaltesystemen gemäß den Anforderungen nach DIN EN 1317

Ellmers, Balzer-Hebborn, Fleisch, Friedrich, Keppler, Lukas, Schulte, Seliger € 15,50

V 107: Auswirkungen von Standstreifenumnutzungen auf den Straßenbetriebsdienst
Moritz, Wirtz € 12,50

V 108: Verkehrsqualität auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen
Baier, Kathmann, Baier, Schäfer € 14,00

V 109: Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf auf b2+1-Strecken mit allgemeinem Verkehr
Weber, Löhe € 13,00

2004

V 110: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2001 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Laffont, Nierhoff, Schmidt, Kathmann € 22,00

V 113: Car-Sharing in kleinen und mittleren Gemeinden
Schweig, Keuchel, Kleine-Wiskott, Hermes, van Acken € 15,00

V 114: Bestandsaufnahme und Möglichkeiten der Weiterentwicklung von Car-Sharing
Loose, Mohr, Nobis, Holm, Bake € 20,00

V 115: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2002 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Kathmann, Laffont, Nierhoff € 24,50

V 116: Standardisierung der Schnittstellen von Lichtsignalanlagen – Zentralrechner/Knotenpunktgerät und Zentralrechner/Ingenieurarbeitsplatz
Kroen, Klod, Sorgenfrei € 15,00

V 117: Standorte für Grünbrücken – Ermittlung konfliktreicher Streckenabschnitte gegenüber großräumigen Wanderungen jagdbarerer Säugetiere
Surkus, Tegethof € 13,50

V 118: Einsatz neuer Methoden zur Sicherung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer
Steinauer, Maier, Kemper, Baur, Meyer € 14,50

2005

V 111: Autobahnverzeichnis 2004
Kühnen € 21,50

V 119: Alternative Methoden zur Überwachung der Parkdauer sowie zur Zahlung der Parkgebühren
Boltze, Schäfer, Wohlfarth € 17,00

V 120: Fahrleistungserhebung 2002 – Inländerfahrleistung
Hautzinger, Stock, Mayer, Schmidt, Heidemann € 17,50

V 121: Fahrleistungserhebung 2002 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko
Hautzinger, Stock, Schmidt € 12,50

V 122: Untersuchungen zu Fremdstoffbelastungen im Straßenseitenraum
Beer, Herpetz, Moritz, Peters, Saltzmann-Koschke, Tegethof, Wirtz € 18,50

V 123: Straßenverkehrszählung 2000: Methodik
Lensing € 15,50

V 124: Verbesserung der Radverkehrsführung an Knoten
Angenendt, Blase, Klöckner, Bonfranchi-Simović, Bozkurt, Buchmann, Roeterink € 15,50

V 125: PM₁₀-Emissionen an Außererststraßen – mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM₁₀-Konzentrationen aus Messungen an der A1 Hamburg und Ausbreitungsberechnungen
Düring, Böisinger, Lohmeyer € 17,00

- V 126: Anwendung von Sicherheitsaudits an Stadtstraßen
Baier, Heidemann, Klemps, Schäfer, Schuckließ € 16,50
- V 127: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2003
Fitschen, Koßmann € 24,50
- V 128: Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen – Sicherheitsüberprüfung vorhandener Lichtsignalanlagen und Anpassung der Steuerung an die heutige Verkehrssituation
Boltze, Reusswig € 17,00
- V 129: Modell zur Glättewarnung im Straßenwinterdienst
Badelt, Breitenstein € 13,50
- V 130: Fortschreibung der Emissionsdatenmatrix des MLuS 02
Steven € 12,00
- V 131: Ausbaustandard und Überholverhalten auf 2+1-Strecken
Friedrich, Dammann, Irzik € 14,50
- V 132: Vernetzung dynamischer Verkehrsbeeinflussungssysteme
Boltze, Breser € 15,50

2006

- V 133: Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offener Straßenbeläge
Hübelt, Schmid € 17,50
- V 134: Qualifizierung von Auditoren für das Sicherheitsaudit für Innerortsstraßen
Gerlach, Kesting, Lippert € 15,50
- V 135: Optimierung des Winterdienstes auf hoch belasteten Autobahnen
Cypra, Roos, Zimmermann € 17,00
- V 136: Erhebung der individuellen Routenwahl zur Weiterentwicklung von Umlegungsmodellen
Wermuth, Sommer, Wulff € 15,00
- V 137: PM_x-Belastungen an BAB
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 138: Kontinuierliche Stickoxid (NO_x)- und Ozon (O₃)-Messwertaufnahme an zwei BAB mit unterschiedlichen Verkehrsparametern 2004
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,50
- V 139: Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelsprühanlagen
Wirtz, Moritz, Thesenvitz € 14,00
- V 140: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2004 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 15,50
- V 141: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2003
Lensing € 15,00
- V 142: Sicherheitsbewertung von Maßnahmen zur Trennung des Gegenverkehrs in Arbeitsstellen
Fischer, Brannolte € 17,50
- V 143: Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer Dauer an Bundesautobahnen
Roos, Hess, Norkauer, Zimmermann, Zackor, Otto € 17,50
- V 144: Umsetzung der Neuerungen der StVO in die straßenverkehrsrechtliche und straßenbauliche Praxis
Baier, Peter-Dosch, Schäfer, Schiffer € 17,50
- V 145: Aktuelle Praxis der Parkraumbewirtschaftung in Deutschland
Baier, Klemps, Peter-Dosch € 15,50
- V 146: Prüfung von Sensoren für Glättemeldeanlagen
Badelt, Breitenstein, Fleisch, Häusler, Scheurl, Wendl € 18,50
- V 147: Luftschadstoffe an BAB 2005
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 148: Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen – Grundlagenstudie –
Becher, Baier, Steinauer, Scheuchenpflug, Krüger € 16,50
- V 149: Analyse und Bewertung neuer Forschungserkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung
Boltze, Friedrich, Jentsch, Kittler, Lehnhoff, Reusswig € 18,50
- V 150: Energetische Verwertung von Grünabfällen aus dem Straßenbetriebsdienst
Rommeiß, Thrän, Schlägl, Daniel, Scholwin € 18,00

2007

- V 151: Städtischer Liefer- und Ladeverkehr – Analyse der kommunalen Praktiken zur Entwicklung eines Instrumentariums für die StVO
Böhl, Mause, Kloppe, Brückner € 16,50
- V 152: Schutzeinrichtungen am Fahrbahnrand kritischer Streckenabschnitte für Motorradfahrer
Gerlach, Oderwald € 15,50
- V 153: Standstreifenfreigabe – Sicherheitswirkung von Umnutzungsmaßnahmen
Lemke € 13,50
- V 154: Autobahnverzeichnis 2006
Kühnen € 22,00
- V 155: Umsetzung der Europäischen Umgebungslärmrichtlinie in Deutsches Recht
Bartolomaeus € 12,50
- V 156: Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen
Badelt, Seliger, Moritz, Scheurl, Häusler € 13,00

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.