



# Forschungsbericht

## Optimierung der Feuchtsalzstreuung



**TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften**

Dipl. -Ing. Dr. techn. Markus Hoffmann

Univ. Prof. Dipl. -Ing. Dr. techn. Ronald Blab

Dipl. -Ing. Peter Nutz

## **IMPRESSUM**

Medieninhaber: Länder, BMVIT & ASFINAG

Koordination AG: Dipl. -Ing. Josef Neuhold & Dipl. -Ing. Rudolf Schacherl

Konzept & Projektleitung: Dipl. -Ing. Dr. techn. Markus Hoffmann

Verfasser: TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften  
A-1040 Wien, Gußhausstraße 28

Der vorliegende Bericht entstand im Zuge eines Forschungsvorhabens zum Straßenwinterdienst in Auftrag und Abstimmung mit den Ländern, BMVIT & ASFINAG zur Optimierung der Feuchtsalzstreuung. Trotz sorgfältiger wissenschaftlicher Untersuchung kann es aufgrund der Komplexität der Thematik sowie der Vielzahl an Einflussfaktoren zu Abweichungen der Verhältnisse in der Praxis kommen, die mit den Ergebnissen sowie daraus abgeleiteten generellen Empfehlungen nicht erfassbar sind. Daher wird jedwede Haftung für unmittelbare, mittelbare oder sonstige Schäden, unabhängig von deren Ursachen, die aus der Benutzung der Berichtsinhalte erwachsen, soweit rechtlich zulässig, ausgeschlossen. Der Inhalt dieses Berichtes ist urheberrechtlich geschützt. Die Informationen sind nur für die persönliche Verwendung bestimmt. Jede weitergehende Nutzung insbesondere die Speicherung in Datenbanken, Vervielfältigung und jede Form von gewerblicher Nutzung sowie die Weitergabe an Dritte - auch in Teilen oder in überarbeiteter Form - ohne Zustimmung des Medieninhabers - ist untersagt.

# Vorwort zum Forschungsbericht

von Hofrat Dipl. -Ing. Rudolf Schacherl (Projektleitung)

Die technische Entwicklung im Winterdienst macht eine wissenschaftliche Untersuchung zur Empfehlung beim Feuchtsalzeinsatz notwendig. Mit Unterstützung des BMVIT und der ASFINAG gaben die 9 Bundesländer ein Forschungsprojekt in Auftrag, welches zum Ziel hat, so wenig Salz wie möglich und nur so viel wie nötig zur Eisbekämpfung auf unseren Autobahnen und Straßen einzusetzen.

Das vorliegende Werk stellt eine fundierte Untersuchung der Wirkungsweise von Streusalz dar und bietet auch für die Praxis einen Leitfaden im täglichen Winterdienst. Das Ziel ist eine weitgehende Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit der Straßenverwaltungen bei der Kernaufgabe Winterdienst sicherzustellen.



**Hofrat Dipl. -Ing. Rudolf Schacherl**

Ausschussleiter Winterdienst  
Amt der Oö. Landesregierung  
Abteilung Straßenerhaltung und -betrieb

Linz, Dezember 2011

# Vorwort zum Forschungsbericht

von Hofrat Dipl. -Ing. Josef Neuhold (Projektleitung)

Mit diesem österreichweiten Winterdienst-Forschungsprojekt zur „Optimierung der Feuchtsalzstreuung“ wurde ein sowohl national als auch international beachtenswertes und richtungweisendes Forschungsprojekt durchgeführt. Über Initiative von Niederösterreich wurde im Jahre 2009 dieses Forschungsprojekt, an dem sich alle neun Bundesländer, die ASFINAG und das BMVIT beteiligten, ins Leben gerufen und in weiterer Folge von der Technischen Universität Wien durchgeführt.



Beginnend mit der Aufarbeitung vorliegender wissenschaftlicher Untersuchungen zur Salzstreuung wurden darauf aufbauend eigene Feld- und Labordurchforschungen durchgeführt. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse in Zusammenhang mit dem Einsatz von Streusalz im Winterdienst sind nun für die praktische Anwendung in einem „Leitfaden für das Winterdienstpersonal“ zusammengefasst. Weiters sind in übersichtlich gestalteten Tabellen sowohl „Streugrundsätze für Standardsituationen“ als auch „Streumengenermittlungen in Abhängigkeit von Niederschlag, Fahrbahntemperatur und Verkehr“ dargestellt.

Insgesamt soll mit diesem Forschungsprojekt erreicht werden, dass das Streumittel Salz im Winterdienst möglichst effizient eingesetzt wird. Zum einen wird dessen optimale Wirksamkeit bei unterschiedlichen Wetter- und Verkehrssituationen aufgezeigt und zum anderen soll die Salzstreuung unter höchstmöglicher Schonung der Umwelt erfolgen.

Mit diesen Erkenntnissen soll den ständig wachsenden Anforderungen an den Straßenwinterdienst auch in Zukunft bestmöglich begegnet und eine hohe Verkehrssicherheit auch bei winterlichen Fahrverhältnissen erreicht werden.

**Hofrat Dipl. -Ing. Josef Neuhold**

Ausschussleiter-Stv. Winterdienst

Amt der NÖ Landesregierung

Abt. Straßenbetrieb

Leiter des Fachbereiches Winterdienst und Verkehrsmanagement

St. Pölten, Dezember 2011

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>19</b>
1.1 Ausgangslage	19
1.2 Zielsetzungen	20
1.3 Methodische Herangehensweise	21
<b>2. Grundlagen Winterdienst und Salzstreuung</b>	<b>22</b>
2.1 Streumittel im Winterdienst	22
2.1.1 Abstumpfende Streumittel	22
2.1.2 Auftauende Streumittel	23
2.2 Wirkung auftauender Streumittel	28
2.2.1 Auftauende Wirkung	28
2.2.2 Niederschlagsverteilung und Auftrocknung	29
2.3 Räum- und Streutechniken	30
2.3.1 Räumtechniken und ihre Anwendungsbereiche	30
2.3.2 Feuchtsalzstreuung	32
2.4 Anforderungen und Vorschriften	33
2.5 Laborversuche und Feldversuche zur Streumittelbewertung	34
2.5.1 Prüfbedarf und Normen	34
2.5.2 Bestehende Laborversuche	35
2.5.3 Bestehende Feldversuche zur Restsalzmessung	37
2.5.4 Beurteilung der Labor- und Feldversuche	38
2.6 Monitoringsysteme und Modelle Winterdienst	39
2.6.1 MDSS in den USA	39
2.6.2 Europäische Forschung	40
2.6.3 Deutschland	40
2.6.4 Beurteilung bestehender Modelle	40
2.7 Skizze Streumodell TU Wien	41
<b>3. Winterdienstpraxis in Österreich</b>	<b>43</b>
3.1 Personal- und Geräteausstattung	43
3.2 Winterdienst der Länder in Zahlen	44
3.3 Wetterszenarien im Winterdienst	46
3.4 Häufigkeit und Intensität von Schneefallereignissen	48
3.5 Schneefallmenge VS Salzverbrauch auf Landesstraßen	50
<b>4. Laborversuche Tauwirkung</b>	<b>53</b>
4.1 Prüfbedarf	53
4.1.1 Gefrierpunkt – Solenkonzentration – Verläufe	53
4.1.2 Tauwirksamkeit	53
4.1.3 Tauwirkung	53
4.2 Sieblinie	54
4.3 Gefrierpunkt und eutektisches Diagramm	55
4.3.1 Zielsetzung	55
4.3.2 Geräte, Prüfgüter und Prüfprogramm	55
4.3.3 Vorgehensweise	55
4.3.4 Ergebnis der Gefrierversuche	56
4.4 Tauwirksamkeitsversuche mit festen Taumitteln	58

4.4.1	Zielsetzung	58
4.4.2	Geräte, Prüfgüter und Prüfprogramm	58
4.4.3	Vorgehensweise	59
4.4.4	Ergebnisse aus den Laborversuchen Tauwirksamkeit mit festen Taumitteln	60
4.5	Tauwirkung nach Korngröße	64
4.6	Tauwirksamkeitsversuche mit flüssigen Taumitteln	65
4.6.1	Zielsetzungen	65
4.6.2	Geräte, Prüfgüter und Prüfprogramm	65
4.6.3	Vorgehensweise	66
4.6.4	Ergebnisse der Laborversuche zur Tauwirksamkeit von flüssigen Taumitteln	66
4.7	Zusammenfassung Laborversuche	68
4.7.1	Beurteilung der entwickelten Versuchsmethodik	68
4.7.2	Gegenüberstellung Versuchsmethodik „alt – neu“	68
4.7.3	Erkenntnisse aus den Laborversuchen	69
4.7.4	Ausblick und weitere Schritte	70
<b>5.</b>	<b>Feldmessungen</b>	<b>71</b>
5.1	Griffigkeit und Fahrdynamik	71
5.1.1	Griffigkeit	71
5.1.2	Bedeutung der Griffigkeit für den Winterdienst	72
5.2	Prüfgeräte Griffigkeit und Filmdicke	74
5.2.1	GripTester	74
5.2.2	Vaisala Kameras	75
5.3	Vorversuche - Griffigkeitsmessungen Parkplatz	75
5.4	Hauptversuche - Griffigkeitsmessungen Straße	77
5.4.1	Zusammenhang Griffigkeit - Streumittel	78
5.4.2	Auswirkungen des Niederschlags auf die Griffigkeit	79
5.5	Temperaturmessungen	85
5.6	Restsalzmessungen Landesstraßen	87
5.6.1	Messgerät und Festlegung der Teststrecken	87
5.6.2	Streuverluste unmittelbar nach der Ausbringung	89
5.6.3	Streuverluste und weitere Austragung durch den Verkehr	90
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung für Praxisanwender</b>	<b>91</b>
6.1	Wirkmechanismen, Tauwirkung und Streuzyklus	91
6.2	Grenzen der Tauwirkung und Sinnhaftigkeit hoher Streumengen	92
6.3	Ergebnisorientierte Begrenzung der Streumengen	93
6.4	Optimierung der Streufahrten	94
6.5	Streuempfehlungen Winterdienstpersonal	96
6.6	Ermittlung der erforderlichen Streumengen	98
6.7	Tauwirksamkeit von Streusalz nach Schneefall, Temperatur und Verkehr	100
6.8	Dokumentation Winterdienst	102
<b>7.</b>	<b>Verkehrssicherheit und Fahrempfehlungen</b>	<b>103</b>
7.1	Rechtliche Grundlagen und fahrdynamische Prinzipien	103
7.2	Fahrempfehlungen Straßenbenutzer	104
<b>8.</b>	<b>Empfehlungen für weitere Untersuchungen</b>	<b>107</b>
8.1	Optimierung der Streuereinstellungen	107

8.2	Weiterentwicklung und Validierung des entwickelten Streumodells	107
8.3	Ausblick Simulationstool Winterdienst	108
<b>9.</b>	<b>Anhang</b>	<b>109</b>
9.1	Kurzfassung für das Winterdienstpersonal	109
9.2	Abbildungsverzeichnis	111
9.3	Quellen und Literaturhinweise	114
9.4	Kontakte und Adressen	116

## Kurzzusammenfassung

Dem Winterdienst als Aufgabe des Straßenbetriebes kommt sowohl aufgrund seiner Bedeutung für die Menschen und den Wirtschaftsraum Österreich, als auch in Hinblick auf den hohen erforderlichen Ressourceneinsatz für den Straßenbetreiber eine besondere Bedeutung zu. So verursacht der Winterdienst in Österreich rund 20% der Betriebskosten auf Autobahnen und Schnellstraßen bzw. 25 – 30% auf Landesstraßen B+L. Die Effizienz des Winterdienstes bestimmt maßgeblich die Verfügbarkeit des Straßennetzes und wird daher von den Straßennutzern entsprechend stark wahrgenommen.

Ziel des Forschungsprojektes, welches im Auftrag der Bundesländer, ASFINAG und BMVIT am Institut für Verkehrswissenschaften der TU Wien durchgeführt wurde, war die Beantwortung der Frage nach Streumenge, Streuzeitpunkt und Streumittel für einen optimierten Winterdienst. Basierend auf umfassenden Untersuchungen wurde ein Modell entwickelt, mit dem die erforderliche Streumenge und der Streuzeitpunkt in Abhängigkeit von Niederschlag, Verkehr und Fahrbahntemperatur über mehrere Streuzyklen hinweg ermittelt werden kann.

Zusätzlich lässt sich mit diesem Streumodell auch die Änderung der vorhandenen Fahrbahngriffigkeit abschätzen. Die Umsetzung ausgewählter Ergebnisse der Untersuchungen in die Praxis erfolgte in Form einer kompakten Zusammenfassung in einem Streuleitfaden mit Streuanweisungen. Dazu wurden typische Fahrbahnzustände identifiziert und praktische Winterdienstempfehlungen für alle wesentlichen Wetterszenarien sowie praxisnahe Streutabellen entwickelt. Der Streuleitfaden und die Streuempfehlungen wurden ab dem Winter 2010/11 testweise auf Österreichs Straßennetz eingesetzt und stehen ab dem Winter 2011/2012 zur Verfügung.

**STICHWÖRTER:** Winterdienst, Streumengen, effektiver Taumittleinsatz, Fahrempfehlungen

## Abstract

Winter maintenance as a part of road maintenance defines the accessibility during the winter period and is therefore of high importance for the people and the economy in Austria. Due to the high costs and necessary resources for 120 to 150 winter maintenance days per year it also plays an important role for road authorities. Winter maintenance contributes to approximately 20% of operating costs for regional roads and 25% to 30% on highways in Austria, respectively. Furthermore, road authorities are held responsible by public opinion to provide high level of standard and accessibility at all times.

In order to improve the winter maintenance techniques, the federal states, the Austrian highway operating company ASFINAG and the federal ministry of Transport (BMVIT) funded a research project at the Institute of Transportation (Vienna University of Technology). The goal was to investigate the question of the necessary salt application rate and timing in order to optimize winter maintenance and improve the road safety. The developed mathematical model allows a determination of the necessary application rate and timing of de-icing agents as a function of snow fall, traffic and road surface temperature and texture over several treatment cycles.

Based on extensive field research the resulting skid resistance and speed limits for safe driving can be estimated with the model as well. For the implementation of the findings, a compact summary and a winter maintenance guide were developed. Based on typical winter weather and road conditions, practical winter maintenance recommendations and application rates are given. The winter maintenance guide was tested in winter 2010/11 on selected roads in Austria and will be available starting with the winter period 2011/2012.

**KEYWORDS:** Winter maintenance, application rate, salting, safe roads

# Zusammenfassung

## STANDARDISIERUNG WINTERDIENST

Die Personaleinteilung und die Vorgabe eines Rahmens für die auszubringenden Streumengen erfolgt durch den Straßen- bzw. Autobahnmeister. Die Letztverantwortung in der Durchführung des Winterdienstes bzw. insbesondere der als erforderlich angesehenen Streumengen liegt jedoch bei dem Fahrer des Streufahrzeuges, da nur er den aktuellen Zustand während der Fahrt unmittelbar sieht und die Streumenge jederzeit basierend auf seiner Erfahrung anpassen kann.

Diese subjektive erfahrungsbasierte Winterdienstpraxis führt jedoch zu fallweise sehr uneinheitlichen Streumengen in vergleichbaren Situationen, bei denen jeder Winterdienstfahrer basierend auf seiner Erfahrung glaubt, die richtige Dosierung der Streumenge bis hin zu einer Maximalmenge von 40 g/m<sup>2</sup> Taumittel je Streudurchgang eingestellt zu haben. In der Wahrnehmung der Fahrer kann beides richtig sein, wenn z.B. 10 g/m<sup>2</sup> Streumenge ausreichen, wird auch mit 20, 30, oder 40 g/m<sup>2</sup> das gleiche Ergebnis erzielt. Zudem besteht die Tendenz eher mehr zu streuen, um auf der sicheren Seite zu sein und allfällige rechtliche Probleme zu vermeiden. Daraus ergeben sich aus Sicherheitsbedenken über die notwendige Menge tendenziell erhöhte Streumengen.

Durch die Verknüpfung der täglichen Streumengen mit den täglichen Schneefallmengen werden diese uneinheitlichen Streudosierungen deutlich sichtbar. So kommt es selbst in der Präventivstreuung ohne Schneefall zu einer Bandbreite von Streumengen zwischen 0 bis 40 g/m<sup>2</sup>, wobei in diesen Fällen 10 g/m<sup>2</sup> zur Vermeidung von Reifglätte in jedem Fall ausreichend sind. Bereits bei Schneefallereignissen von 5 cm/Tag in einem Zeitraum von 10 h (0,5 cm Schnee/h) und -2°C Fahrbahntemperatur wäre gemäß dem an der TU Wien entwickelten Streumodell eine Streuumschichtdicke von 1h unter Ausbringung der Maximalstreumenge von 40 g/m<sup>2</sup> erforderlich, um die Fahrbahn schwarz zu halten. Die gesamte Streumenge für dieses Szenario würde dann bei 400 g/m<sup>2</sup> in 10 Stunden liegen, was weder aus Sicht der Ressourcen möglich, noch ökologisch oder ökonomisch sinnvoll sein kann.

Das Ziel eines optimierten Winterdienstes muss es daher sein, die ausgebrachten Streumengen bei vergleichbaren Situationen auf das notwendige Ausmaß zu beschränken und zu vereinheitlichen. Dazu ist eine Zusammenfassung des Wissensstandes in Form von Leitfaden und Streueempfehlungen sowie Schulung der Winterdienstverantwortlichen erforderlich. Nur dadurch kann der Vielfalt an Strategien im Winterdienst zur optimalen Herangehensweise in der Bekämpfung von Schnee- und Eisglätte entgegengewirkt werden.

Für den Fahrer muss bei den Schulungen vor allem die zentrale Frage „Wann muss gestreut werden – wie viel und was?“ geklärt werden, damit der Fahrer auch während einer Einsatzfahrt schnell die richtige Entscheidung treffen kann. Können bestehende Unsicherheiten durch Schulungen nicht ausgeräumt werden, wird die Maximalstreumenge tendenziell nach dem Motto „Viel streuen hilft viel“ ungeachtet der physikalischen Grenzen des Streumittel Einsatzes sowie ökologischer & ökonomischer Bedenken ausgebracht.

## GRENZEN: BEGRENZTE TAUWIRKUNG DER STREUMITTEL

Die Wirkungsweise auftauender Streumitteln besteht in der Absenkung des Gefrierpunktes der Lösung von Taumittel und Niederschlag auf der Fahrbahn unter die Umgebungs- bzw. Fahrbahntemperatur. Für das überwiegend verwendete Taumittel Natriumchlorid (NaCl) liegt die maximal mögliche Gefrierpunktabenkung bei -22,6°C mit einer Solekonzentration von 23,4 %. Eine weitere Absenkung des Gefrierpunktes unter diesen eutektischen Punkt ist mit NaCl nicht möglich. Die praktischen Versuche für verschiedene Solekonzentrationen von NaCl aber auch Kalziumchlorid (CaCl<sub>2</sub>) im Klimaschrank zeigen, dass es im Gegensatz zu anderen Darstellungen auch bei Übersättigung der Sole zu keinem Anstieg des Gefrierpunktes kommt.

Für die Winterdienstpraxis bedeutet dies, dass die ausgebrachte Salzmenge bei Trockensalz bzw. mit Soleanteil in der Feuchtsalzstreuung so lange Schnee oder Eis taut, bis sich eine Solekonzentration einstellt, deren Gefrierpunkt der Fahrbahntemperatur entspricht. Übersteigt die zwischen zwei Streu- und Räumvorgängen gefallene jene mit der ausgebrachten Salzmenge taubare Schneemenge, kann die Fahrbahn selbst bei optimaler Räumung, das heißt kaum vorhandener Restschnee, nicht

über den gesamten Streuintervall schnee- bzw. eisfrei gehalten werden. Vielmehr kommt es nach dem Tauvorgang wieder zu einem sukzessiven Gefriervorgang, da die Sole durch den Verkehr und weitere Schneefälle soweit verdünnt wird, dass der Gefrierpunkt über dem der Fahrbahntemperatur liegt.

Einer der wichtigsten Punkte bei den Schulungen des Winterdienstpersonals ist es daher, auf die physikalischen Grenzen der Salzstreuung hinzuweisen, da die Fahrbahn bereits bei Schneefällen mittlerer Stärke mit der maximal einstellbaren Streumenge selbst in kurzen Streuumlaufzeiten von 90 bis 180 min aus rein physikalischen Gründen nicht mehr schwarz gehalten werden kann, vgl. dazu die vorgeschriebenen Umlaufzeiten an Straßen A+S < 3h, B+L < 5h lt. RVS 12.04.12. In solchen Fällen kann der Versuch, die Schneefälle mit hohen Streumengen bis 40 g/m<sup>2</sup> noch in den Griff zu bekommen, sogar kontraproduktiv sein, da eine reine Schneefahrbahn griffiger als ein wieder gefrierender Schneematsch ist. Zudem führt eine erkennbare Schneefahrbahn in der Regel zu einer „angepassten“ Fahrweise. Daher wird in Fällen, wo ein Wiedergefrieren im Streuzyklus nicht verhinderbar ist, die Strategie „Viel Streuen hilft viel“ nur zu hohen Kosten für den Straßenbetreiber ohne bessere Ergebnisse führen.

Die theoretisch in einer Streufahrt taubare Schneemenge in Zentimeter kann auf Basis der ausgebrachten Streumenge und Fahrbahntemperatur aus dafür entwickelten Diagrammen abgelesen werden. Ablesbar ist daraus der aktuelle Gefrierpunkt der Sole, deren Konzentration sich aus der ausgebrachten Streumenge und der Niederschlagsmenge ergibt. So können Schneefallmengen von mehr als einem Zentimeter in der Umlaufzeit bei einer Fahrbahntemperatur unter -3,0°C durch NaCl selbst mit der Maximalstreumenge von 40 g/m<sup>2</sup> aus physikalischen Gründen nicht mehr getaut werden.

Tatsächlich ist die so angegebene taubare Schneemenge eine theoretische Obergrenze, da Streuverluste durch Verwehung beim Streuvorgang sowie Austragungsverluste durch den Verkehr nicht berücksichtigt sind. Auf Basis von Restsalzmessungen kann die auf der Fahrbahn verbleibende Salzmenge bis 10 min. nach dem Streuvorgang mit ca. 30 - 50 % der am Gerät eingestellten Streumenge beziffert werden. Dies bedeutet, dass sich die tatsächlich direkt taubare Schneemenge praktisch halbiert. Bis zur nächsten Streufahrt reduziert sich die taubare Schneemenge durch Austragung der gestreuten Salzmenge unter Verkehr noch weiter. Daher kann die Fahrbahn bei Schneefällen nach dem Streuvorgang gemäß o.a. Szenario nicht über das gesamte Streuintervall schnee- bzw. eisfrei gehalten werden.

## **PRÄVENTIV- UND FOLGESTREUUNG: WIRKMECHANISMUS UND GEZIELTER EINSATZ**

Aus der begrenzten Tauwirkung der Taumittel sowie den ermittelten Zusammenhängen auf der Straße bzw. im Labor kann der Wirkmechanismus der Präventivstreuung abgeleitet werden. Unter einer präventiven Streuung versteht man das Ausbringen von Streumitteln unmittelbar vor Eintreten eines Niederschlagsereignisses. Dies dient einerseits dem Zweck eine potentielle Straßenglätte (z.B. Reifbildung) hintanzuhalten und andererseits zur Erleichterung der späteren Räumung. Daher ist vor jedem Niederschlagsereignis eine Präventivstreuung dringend zu empfehlen.

Bei Reifbildung fällt der Wasserdampf in der Luft an der kalten Fahrbahnoberfläche in Form von Eis aus. Üblicherweise findet die Reifbildung in den frühen Morgenstunden zwischen 02:00 und 04:00 Uhr statt, wobei die anfallende Reifmenge 100 g/m<sup>2</sup> üblicherweise nicht überschreitet. Mit dem präventiven Streuen von 10 g/m<sup>2</sup> möglichst zeitnahe zum Beginn der Reifbildung kann eine Straßenglätte in der Regel vermieden werden. Eine Präventivstreuung am Vorabend ist hingegen aufgrund der auftretenden Austragungsverluste durch den Verkehr nicht zielführend.

Übersteigt die nach der Räumung verbleibende sowie zusätzlich im Streuintervall fallende Schneemenge die praktisch taubare Schneemenge, kommt es zur Bildung von Schneematsch, der in der Folge wieder friert. Dieser gefrierende Schneematsch hat eine geringere Griffigkeit als eine reine Schneefahrbahn und ist zudem für den Straßennutzer schlechter erkennbar. Kann eine schnee- bzw. eisfreie Fahrbahn nicht im Streuintervall aufrechterhalten werden, so ist eine Folgestreumenge von 10 g/m<sup>2</sup> in der Regel ausreichend, um einen Trennfilm zwischen Fahrbahn und Neuschnee zu bilden. Dieser Trennfilm ist nach jedem Räumvorgang zu erneuern und verhindert üblicherweise ein Anfrieren des Neuschnees, ohne dass dadurch große Mengen an Schneematsch entstehen.

## **STREUMODELL: GRUNDLAGE ZUR OPTIMIERUNG DER STREUSTRATEGIE**

Basierend auf den gegenständlichen Untersuchungen wurde ein Modell formuliert, mit dem die erforderliche Streumenge und der Streuzeitpunkt in Abhängigkeit von Niederschlag, Verkehr, Fahrbahntemperatur und Deckenart ermittelbar sind. Zusätzlich sollte mit diesem Modell auch die Änderung der vorhandenen Fahrbahngriffigkeit abschätzbar werden.

Der aktuelle Stand des entwickelten Streumodells beschreibt basierend auf Niederschlagsmenge und Verkehrsmenge die Restsalzabnahme auf der Fahrbahn unter Berücksichtigung mehrerer Einflussgrößen. Liegt die Fahrbahntemperatur unter dem Gefrierpunkt der auf der Fahrbahn vorhandenen Sole (Niederschlag + Tausalz), so besteht Frostgefahr. Eine tatsächliche Glättegefahr besteht erst bei Frostgefahr und nicht ausreichender Texturreserve. Die Texturreserve ist abhängig von der Makrotextur des Straßenbelags und beschreibt, ab welcher gefrorenen Niederschlagsmenge der Reifen den unmittelbaren Kontakt mit der Fahrbahn verliert und erst dadurch die Griffigkeit stark abfällt.

Zur Kalibrierung und Modellvalidierung wurde die Restsalzmenge durch Widerstandsmessungen (SOBO 20) an vorgegebenen Messpunkten in Abhängigkeit von Streumenge, Verkehr, Textur und Geschwindigkeit über die Zeit ermittelt. Die sich aus dem Niederschlag, Verkehr und Lufttemperatur ergebende Wasserfilmdicke wurde mit Vaisala – Kameras (System DSC 111, DST 111) festgestellt. Parallel dazu wurden die effektive Griffigkeit und ihre Entwicklung bei verschiedenen Winterdienstsituationen mit bekannter Witterung und Niederschlagsmengen auf der gesamten Teststrecke untersucht (Grip-Tester MK II). Die Kombination aus Sandfleckverfahren, Texturmessung und RoadSTAR – Daten zur Bestimmung der Texturreserve soll eine flächendeckende Anwendbarkeit des Modells auf beliebige Straßenbeläge ermöglichen.

## **STREUMENGEN: GRUNDSÄTZE UND MENGENERMITTLUNG**

Aus bestehenden gesetzlichen Grundlagen und Normen, Befragungen sowie den bisherigen Untersuchungen und Ergebnissen des Streumodells können folgende Streugrundsätze abgeleitet werden:

- Feuchtsalzstreuung weist geringere Streuverluste und ein besseres Streubild als Trockensalzstreuung auf und ist bevorzugt anzuwenden [BADELDT 2007].
- Auf Autobahnen, Schnellstraßen und deren Netzschlüsse ist ein Betreuungsintervall (Umlaufzeit) von max. 3h im Zeitraum 0 - 24 Uhr einzuhalten (Kategorie A).
- An hochrangigen Landesstraßen mit einem JDTV > 5.000 KFZ/24h ist ein Betreuungsintervall von max. 5h im Zeitraum 4 - 22 Uhr einzuhalten (Kategorie B).
- An Landesstraßen mit einem JDTV von 1.000 - 5.000 KFZ/24h ist ein Betreuungsintervall von max. 5h im Zeitraum 5 - 20 Uhr einzuhalten (Kategorie C).
- An untergeordneten Landesstraßen mit einem JDTV < 1.000 KFZ/24h ist ein Betreuungszeitraum von 8 – 20 Uhr einzuhalten (Kategorie D).
- Die taubare Schneemenge ist aus physikalischen Gründen begrenzt, weshalb bei starken Schneefällen und tiefen Temperaturen eine schnee- bzw. eisfreie Fahrbahn auch in sehr kurzen Streuintervallen (<60 min) nicht aufrechterhalten werden kann.
- Werden die Streuintervalle dennoch weiter verkürzt, steigen die Kosten ohne wesentliche Verbesserung des Straßenzustandes an.
- Die Streufahrten sind zeitlich so zu legen, dass die Strecke schon vor Beginn eines Niederschlagsereignisses ausreichend gestreut wurde (ca. 5 - 10 g/m<sup>2</sup> präventives Streuen max. 1 - 2 h vor einem Niederschlag).
- Festgefahrener Schnee bzw. Eis auf der Fahrbahn kann durch Ausbringen von Streusalz nicht ausreichend schnell entfernt werden. Die Beseitigung muss daher grundsätzlich zuerst mechanisch vor dem Streuen erfolgen.

Basierend auf dem entwickelten vorläufigen Streumodell (Stand 2010) wird die erforderliche Streumenge in Abhängigkeit von Niederschlagsmenge bzw. Schneehöhe, Fahrbahntemperatur und Verkehr im Streuintervall in Gramm je Quadratmeter tabellarisch angegeben. Im farbigen Bereich der Tabellen

bis zu einer Streumenge von max. 40 g/m<sup>2</sup> kann die Fahrbahn im Streuintervall schnee- bzw. eisfrei gehalten werden. In den grau eingefärbten Bereichen ist nur mehr eine Präventivstreuung mit 10 g/m<sup>2</sup> sowie Aufrechterhaltung einer Trennschicht gemäß der vorher beschriebenen Streustrategie zielführend.

Die Berechnungen zum Streumodell wurden auf der sicheren Seite angesetzt und berücksichtigen jeweils die obere Niederschlagsmenge je Niederschlagsklasse. Zudem wird die Erwärmung der Rollspur durch den KFZ – Verkehr von ca. 0,001°C je KFZ/h vernachlässigt, welche die Tauwirkung gerade in Temperaturbereichen zwischen 0°C und -2°C an stark befahrenen Straßen noch positiv beeinflusst. Unter Berücksichtigung der Reserven und/oder einer gestaffelten Streufahrt könnte der durch Salzstreuung beherrschbare Bereich (schwarze Fahrbahn) noch ausgeweitet werden. Dies ist jedoch gegenüber den deutlich höheren Streukosten und der resultierenden Umweltbelastungen abzuwägen.

## **VERKEHRSSICHERHEIT: FAHR- & STREUEMPFEHLUNGEN**

Ergänzend zu den Streugrundsätzen und Streumengenermittlung auf Basis des entwickelten Streumodells wurden typische Fahrbahnsituationen und Wetterentwicklungen aufgrund ihrer Bedeutung für Winterdienstfahrer und Straßennutzer identifiziert. Diese Fahrbahnsituationen wurden in einer Schaufel anhand typischer Fotos illustriert und zusammen mit Winterdienst- und Fahrempfehlungen übersichtlich zusammengestellt.

Die Streuempfehlungen auf Basis typischer Fahrbahnsituationen sollen und können nicht die Fachkenntnis und Eigenverantwortung des Streupersonals sowie die Anpassung der Streumengen an örtliche bzw. besondere Erfordernisse (z.B. auf Brücken, Drainsphalt etc.) ersetzen. Sie können jedoch zu einer einheitlichen Einschätzung der Situation sowie der angepeilten Standardisierung des Winterdienstes für die jeweiligen Verhältnisse verhelfen.

Ausgehend von den Mindestkurvenradien und Sichtweiten der Planungsrichtlinien in Österreich (z.B. RVS 03.03.23) ist eine Fahrt auf Sicht sowohl bei trockener, als auch bei nasser Fahrbahn möglich. Bei Schneefahrbahn und Eisfahrbahn ist hingegen in jedem Fall eine Reduktion der Geschwindigkeit erforderlich. Da eine Schneefahrbahn meist mit Schneefällen bzw. eine Eisfahrbahn mit Regen und schlechten Sichtverhältnissen einhergeht, sind die sich ergebenden langen Bremswege besonders problematisch, da ohne starke Geschwindigkeitsreduktion der Anhalteweg zur Vermeidung von Kollisionen in der Regel nicht ausreicht.

Passend zu den beobachtbaren Fahrbahnzuständen erlaubt die Tabelle eine gute Einschätzung der Situation und definiert damit eine angepasste Fahrweise der Straßennutzer gemäß §20 der Straßenverkehrsordnung (STVO) von 1964 i.d.g.f. auf Basis der Projektierungsparameter der Straßen sowie den gemessenen Straßengriffigkeit in der jeweiligen Situation. Der Fahrer kann die Fahrbahnverhältnisse sowie die erforderliche Reduktion der Geschwindigkeit anhand der Referenzbilder abschätzen. Darüber hinaus sind die jeweils vorhandenen Sichtweiten und lokale Verhältnisse eigenverantwortlich zu beachten bzw. je nach Einzelfall zu berücksichtigen.

## **SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK**

Das Ziel des Winterdienstes ist die Sicherstellung bzw. Verbesserung der Benutzbarkeit der Straßen unter winterlichen Verhältnissen. Durch die Salzstreuung erfolgt eine Herabsetzung des Gefrierpunktes unter die Fahrbahntemperatur, wodurch Eisbildung bis zu einer bestimmten Niederschlagsmenge verhindert wird. Damit dies möglich ist, muss der anfallende Schnee laufend geräumt und das durch Streu- und Austragungsverluste verlorene Salz auf der Fahrbahn ersetzt werden. Mit dem am Institut für Verkehrswissenschaften der TU Wien entwickelten Streumodell sollen diese Vorgänge sowie alle wesentlichen Einflussfaktoren im Streuintervall in Zukunft abgebildet werden.

Der auf einem vereinfachten Streumodell und den aktuellen Untersuchungen basierende Streuleitfaden und die Streuempfehlungen werden ab dem Winter 2010/11 testweise auf Österreichs Straßennetz eingesetzt und laufend weiterentwickelt. Sie ersetzen als Ergänzung zu bestehenden Standards aber nicht eine sorgfältige, eigenverantwortliche Anpassung der Streustrategie durch die Winterdienstfahrer bzw. angepasste Fahrweise der Straßennutzer an die jeweilige Situation.

Weitere Versuche zur Verifizierung und Verbesserung des Streumodells wurden in der Wintersaison 2010/2011 auf dem Bundes- und Landesstraßennetz in Österreich sowie dem Labor des Instituts für Verkehrswissenschaften durchgeführt. Das Ziel dieser gemeinsamen Anstrengungen der Projektpartner besteht in einer weiteren Verbesserung des praktischen Winterdienstes sowie der mittelfristigen Umsetzung des Streumodells als vollautomatisiertes System zur Erstellung flächendeckender Winterdienstprognosen. Der aktuelle Stand der Ergebnisse im Mai 2011 ist in der vorliegenden Arbeit zusammengefasst. Für detaillierte Untersuchungen zu alternativen Streumitteln und Griffigkeitsmessungen sowie der Wirtschaftlichkeit von Streuszenarien an hochrangigen Straßen wird auf die Ergebnisse der parallel laufenden Untersuchungen des Instituts für die ASFINAG verwiesen.

## Summary

### STANDARDIZATION: STANDARD PROCEDURE IN WINTER MAINTENANCE

The allocation of winter maintenance personal and the specification of limits in salt application rate are in the responsibility of the road authorities. However, the ultimate responsibility for the implementation of winter maintenance, particularly for salt application rates, still lies within each individual maintenance vehicle driver. Due to their visible assessment of the current road condition they are able to adjust the salt application rate based on their subjective experience. This experience-based winter maintenance practice leads to completely inconsistent application rates in comparable situations. Every driver is convinced to know the right application rate from e.g. 10 g/m<sup>2</sup> up to a maximum amount of 40 g/m<sup>2</sup> per application interval. If 10 g/m<sup>2</sup> application rate is sufficient to achieve a lower freezing point compared to the pavement temperature, any higher application rate will also prevent freezing. Due to public and legal pressure, drivers tend to apply significantly higher total amounts of salt compared to the actual needs.

The objective of an optimized winter maintenance lies therefore in limiting the application rate in similar situations to the necessary extent and to harmonise the different maintenance strategies. To achieve this goal, high quality winter maintenance recommendations and extensive training courses of the winter maintenance personal are required. Only then the different individual opinions on how to find the optimal approach in fighting snow and ice on the road can be replaced by a more optimized uniform strategy. In order to implement such an optimized uniform strategy the essential question „When is ploughing and salting necessary and how can the optimal application rate be determined?“ must be answered. Furthermore, the instructions must provide drivers with the means to make quick decisions during a treatment routine. If uncertainties cannot be dispelled through training courses and winter maintenance guidelines, large amounts of salt based on the principle “a lot of salt helps a lot” are applied. This costly overuse of de-icing agents regardless of the physical limits of winter maintenance will result in an overuse of resources and unnecessary damage of the environment.

### LIMITS: LIMITED DE-ICING CAPABILITY OF SODIUM CHLORIDE

The physical impact of salting is to lower the freezing point temperature of the solution of de-icing agents and precipitation on the road preferably below road surface temperature. The mainly used de-icing agent is sodium chloride (NaCl), with a maximum freezing point of -22.3 °C at a brine concentration of 23.4%. A further lowering of the freezing point temperature below this eutectic point of NaCl is not possible with sodium chloride. Laboratory tests with different salt concentrations of NaCl and CaCl<sub>2</sub> in a climate chamber show that, in contrast to other representations with super saturation of the brine, the freezing point does not increase.

For winter maintenance practice, the amount of salt applied in dry or pre-wetted application thaws snow and ice until a brine concentration is reached where the freezing point of the brine matches the road temperature. If the amount of snow during a treatment cycle exceeds that limit, the roads cannot be kept free of snow or ice during the entire treatment cycle resulting in a refreezing or gradually covering of the road with snow. One of the key points in the training courses of the winter maintenance personnel is therefore to show the physical limits of de-icing agents. According to the regulations in Austria (RVS 12.04.12 from August 2010), the statutory treatment cycle on highways has to be shorter than 180 minutes and on regional roads shorter than 300 minutes. However, even with medium to strong snowfall and the maximal application rate in significantly shorter intervals of 90 to 180 minutes, the road cannot be kept free from snow or ice purely due to physical reasons.

In such cases, the attempt to handle the precipitation with high application rates up to 40 g/m<sup>2</sup> can be even counterproductive, as a snow-covered road has a slightly better skid resistance than a road covered in refreezing snow slush. In addition, a distinctly and visibly snow-covered road leads to an „adapted“ driving behaviour. Therefore, the frequently practised strategy in such cases „a lot of salt helps a lot“ is incorrect and costs considerably more. The amount of snow in centimetre that can be thawed theoretically with one treatment is shown is given, based on salt application rate and road temperature. Each point on the lines corresponds to the freezing point of brine with the concentration resulting from the application rate and the amount of precipitation. According to the calculations snow quantities

of more than one centimetre in the relevant treatment interval with the maximum application rate of 40 g/m<sup>2</sup> cannot be thawed by sodium chloride with a road temperature lower than minus 3°C purely due to physical reasons.

If salt losses out of drift and discharge losses due to traffic are taken into account, the available amount of salt for thawing is significantly lower. Based on previous measurement data from [HAUSMANN 2009; HOFFMANN et. al. 2010a], the remaining amount of salt immediately after the application process can be roughly estimated with about 50% of the initial application rate. For the given scenario above the practical available amount of de-icing agents immediately after salting can at best thaw around 0,5 cm. Dependent on the actual traffic between treatment cycles, this remaining amount of salt is scattered even further. Therefore, the road cannot be held free of snow or ice during the entire treatment interval for the afore mentioned scenario.

## **DEVELOPED MODEL: BASE FOR AN OPTIMIZED WINTER MAINTENANCE**

The goal of the study was to answer the question of the necessary salt application rate and timing in order to optimize winter maintenance and to improve the road safety. Based on extensive research, a mathematical model was developed that allows the determination of the application rate and timing of de-icing agents as a function of snow fall, traffic and road surface texture. Furthermore, the resulting skid resistance and speed limits for safe driving can be estimated based on the filling rate of the texture reserve depending on whether weather freezing occurs or not.

The preliminary model describes the residual salt loss and the water quantity on the road based on several factors and the resulting time-dependent brine concentration. If the road surface temperature drops below the freezing point of the brine on the road, there is danger of frost. Furthermore, slickness results only, if the brine on the road freezes and the texture reserve is insufficient. The reserve in texture depends on the macro texture of the pavement and describes the amount of frozen precipitation needed to fill the texture to interrupt direct contact of the tire with the road resulting in reduced skid resistance.

The residual amount of salt is determined by resistance measurements (SOBO 20) at predetermined measurement points and is a function of application rate, traffic, road surface texture and speed. The thickness of the water film resulting from the precipitation, traffic and air temperature was measured by Vaisala - Cameras (DSC 111, DST 111). In simultaneously running measurements, the effective skid resistance and its development in various winter maintenance situations with known weather conditions and precipitation over the entire test section were examined (Grip Tester MK II). The combination of sand patch method, texture measurement by laser and RoadSTAR - data to determine the texture reserve guarantee a widespread applicability of the model on any possible road surface.

## **PREVENTIVE TREATMENT: MECHANISM AND APPLICATION STRATEGY**

From the limited thawing capability of de-icing agents as well as the identified correlations in the model, the mechanism of preventive treatment can be derived. A preventive treatment is an application of de-icing agents prior to the occurrence of a precipitation event. This serves the purpose of avoiding potentially slippery roads (e.g. hoarfrost) and eases snowploughing in the next treatment. Therefore, a preventive treatment has to be performed prior to each precipitation event. In case of hoarfrost, water vapour in the air settles on the cold road surface in form of ice. Usually hoarfrost appears in the early morning between 02:00 to 04:00 am, usually not exceeding 100 g/m<sup>2</sup>. With a preventive treatment and a salt application rate of 10 g/m<sup>2</sup> timed close to the beginning of hoarfrost, a slippery road surface can be largely avoided. However, a preventive treatment in the eve the day before is not effective due to the usually occurring discharge and scattering losses.

If the thaw capability of the spread salt is exceeded due to the amount of snow between two treatments cycles and the remaining snow after the first snowploughing, the development of snow slush cannot be avoided. This snow slush freezes after further dilatation of the brine on the road due to ongoing precipitation. The result is a lower skid resistance compared to a snow-covered road. In addition, it is easier for the road users to adapt their driving to an observable snow covered road than on freezing and poorly visible snow slush. In such cases a preventive application of 10 g/m<sup>2</sup> is usually sufficient to form a release coating. This release coating is to be renewed after each treatment and prevents the

adherence of snow or ice on the road surface, without creating large amounts of snow slush. For anticipated amounts of snowfall, temperatures and road traffic loads where the road can be kept free of snow and ice, the necessary application rate is established in practical tables.

## **APPLICATION RATES: PRINCIPLES AND QUANTITY DETERMINATION**

From the existing legal framework and standards, the surveys of the winter maintenance authorities and the previous studies and results of the developed model following treatment principles can be derived:

- On highways, express roads and their junctions the maximum treatment interval (cycle time) is 3 hours in the period between 0h to 24h (category A).
- At high-level country roads with AADT > 5000 vehicles per day the maximum treatment interval is 5 hours in the period between 4h to 22h (category B).
- At high-level country roads with AADT > 1000 to 500 vehicles per 24 hours at the maximum treatment interval is 5 hours in the period 5h to 20h (category C).
- Pre-wetted salt has less discharge and a better spread pattern as dry salting, and is preferably applied up to a brine amount of 30% (BADELTA 2007).
- The amount of snow that can be thawed is limited for physical reasons. Therefore snow or ice-free roads cannot be maintained with heavy snow falls (> 1cm/h) & deep temperatures (<-5°C).
- Reducing the treatment intervals still further increases the costs without significantly improving the road condition.
- The application rate of de-icing agents should not exceed the necessary amount. Larger application rates lead to disproportionate high costs without improvement of road conditions.
- The salting has to be timed as close as possible previous to any precipitation event (about 5 - 10 g/m<sup>2</sup> preventive application < 1h previous to precipitation).
- Hard-packed snow or ice on the roads cannot be removed quickly enough by the application of salt. A mechanical removal must therefore always take place previous to salting.

Based on the preliminary model, the required application rate as a function of precipitation or snow depth, temperature and traffic volume in the treatment interval can be found in grams per square meter. In the coloured region up to a maximum application rate of 40 g/m<sup>2</sup>, the road can be kept free of snow and ice during the whole treatment interval. In the grey-coloured areas a preventive treatment with 10 g/m<sup>2</sup> is sufficient to form a release coating according to the previous presented strategy. The given application rates from the model are calculated on the conservative side, considering the upper limit of precipitation. In addition, the heating of the wheel tracks due to traffic volume of about 0,001 °C per car and hour is neglected. This has a considerably positive effect on thawing, especially in temperature ranges between 0° and -2° Celsius on heavily loaded roads. Taking into account the reserves and/or a cascaded treatment, the controllable area with snow and ice-free roads may be expanded substantially. However, this has to be compared against the substantially higher salt costs and environmental impacts and local uncertainties and is therefore usually only an option under special circumstances or on highways.

## **ROAD SAFETY: DRIVING AND TREATMENT RECOMMENDATION**

In addition to the treatment principles, application rates for typical scenarios based on the developed model are presented. These scenarios consist of the road condition and weather development descriptions according to their importance for winter maintenance vehicle drivers and road users. These scenarios are illustrated with pictures of typical road conditions along with an overview of winter maintenance strategies and driving recommendations. The treatment recommendations based on typical road situations should not replace the expertise and responsibility of the winter maintenance staff including the adaptation of the application rate on special local requirements (e.g. on bridges, drain asphalt, etc.). However, they can help to harmonize the appraisal of the situation in order to achieve better winter maintenance results.

With the minimum curve radius and necessary range of sight from the planning guidelines in Austria (eg. RVS 03.03.23) as well as the required minimum skid resistance, safe driving in both dry and wet conditions is possible. With snow or ice on the road, careful driving and a reduction of the speed compared to the actual speed limits is required. Since a snow-covered road is usually accompanied by snowfall and poor visibility conditions, the resulting braking distances are particularly problematic. Due to these conditions the necessary braking distances cannot be met without a severe reduction in speed compared to the speed limits. Based on the noticeable road conditions, a good assessment of the situation becomes feasible. With the preliminary model, an adapted driving behaviour for safe driving in accordance with § 20 of the road traffic regulations (STVO) from 1964 can be defined. The driver can assess the road conditions according to the reference images and should therefore be able to reduce the speed accordingly.

## **CONCLUSIONS AND OUTLOOK**

The planning guidelines in Austria for highways and regional roads prevent accidents during dry or wet conditions due to a lack in skid resistance given the compliance of speed limits. With snow or ice on the road, careful driving and a reduction of the speed compared to the actual speed limits is required. Since these conditions usually come with snowfall and poor visibility, the necessary braking distances to avoid collisions are usually insufficient without severe reductions in speed.

The goal of winter maintenance is to improve the accessibility of regions and the safety of the roads during the long winter periods in Austria. The physical impact of salting is to lower the freezing point temperature of the solution of de-icing agents and precipitation on the road below road surface temperature. To make this possible, the accumulating snow has to be cleared constantly and the salt losses due to spreading losses and scattering have to be replaced. With the developed model these processes considering all important influence factors can be simulated. Based on this simulation the optimal timing and necessary application rate of de-icing agents of each treatment cycle can be predicted together with the resulting costs.

Further experiments to verify and improve the model will be continued during the winter 2010/2011 on highways and regional roads in Austria as well as the laboratory of the Institute of Transportation. With the joint efforts of all project partners, we will be able to implement further improvements, both to the model and the winter maintenance practise. In the medium term our goal is the implementation of the model as a fully automated prognosis - system in order to create winter maintenance forecasts for all main roads in Austria.

The developed winter maintenance guide is based on the findings of the preliminary model and is already used in the winter of 2010/11 on highways and regional roads in Austria. This guide may define the winter maintenance standards in Austria for the coming winter seasons and is still evolving. However, it cannot replace a careful, responsible adaptation of the strategies and application rates by the winter maintenance personnel. Above all stands a responsible and adapted driving style in order to achieve safer roads for all road users.

# 1. Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Die ASFINAG, Länder und Gemeinden planen, finanzieren, bauen, erhalten und betreiben ein Netz von rund 2.175 km Autobahnen und Schnellstraßen, 35.000 km Landesstraßen bzw. 90.000 km Gemeindestraßen in Österreich. Der Straßenbetriebsdienst der Länder und Gemeinden sowie die beauftragten Unternehmen sorgen für die Erhaltung und den Betrieb und haben trotz begrenzter Ressourcen eine gute verkehrliche Erreichbarkeit zu allen Jahreszeiten aufrecht zu erhalten. Dem Winterdienst als Aufgabe des Straßenbetriebes kommt dabei sowohl aufgrund seiner Bedeutung für die Menschen und den Wirtschaftsraum Österreich, als auch des hohen erforderlichen Ressourceneinsatzes eine besondere Bedeutung zu.

Der Winterdienst umfasst gemäß RVS 12.04.12 (08/2010) alle Vorkehrungen und Arbeiten, die das Ziel haben, die Benutzbarkeit der Straßen unter Berücksichtigung der winterlichen Wittereinflüsse zu gewährleisten. Für das Maß der Sicherheit, Leichtigkeit und Flüssigkeit des Verkehrs ist neben den Anlageverhältnissen der Straßen (Linienführung, Querneigung, Kurvenradien etc.) der bauliche Zustand der Verkehrsflächen (z.B. Griffigkeit, Spurrinnen) maßgebend. Winterliche Wittereinflüsse führen zu einer Verminderung der Griffigkeit der Verkehrsfläche. Eine geringere Griffigkeit führt zu verringerten fahrdynamisch möglichen Kurvengeschwindigkeiten sowie längeren Anhaltewegen und in weiterer Folge zu Verkehrsbeeinträchtigungen und erhöhtem Unfallrisiko. Der Winterdienst erhöht durch Räumen und Streuen die vorhandene Griffigkeit und stellt somit eine hohe Fahrsicherheit für den Nutzer sicher, der im Schadensfall somit versucht sein könnte, den Straßenbetreiber rechtlich haftbar zu machen.

Wesentlichen Einfluss auf die Intensität der Winterdienstbetreuung haben die Straßenkategorie, das Verkehrsaufkommen und die örtlichen Wetterverhältnisse. Die Räumung des Schnees erfolgt nach dem Schneeräumplan unter Einsatz von Schneepflügen und Schneeräumgerät. Die Bekämpfung der Straßenglätte erfolgt unter Einsatz von abstumpfenden und/oder auftauenden Streumitteln gemäß Streuplan. Die Optimierung des Winterdienstes durch den Straßenbetreiber erfolgt an der Schnittstelle mit den Anforderungen von Nutzern, Umwelt und Gesellschaft. Dieser muss trotz knapper Budgets allen diesen Anforderungen gerecht werden (Abb. 01). Die sich aus der Praxis und dem gestellten Anforderungsniveau an den Winterdienst bzw. die Salzstreuung ergebende Frage lautet:

**„Wann muss geräumt und gestreut werden - wie viel und was?“**

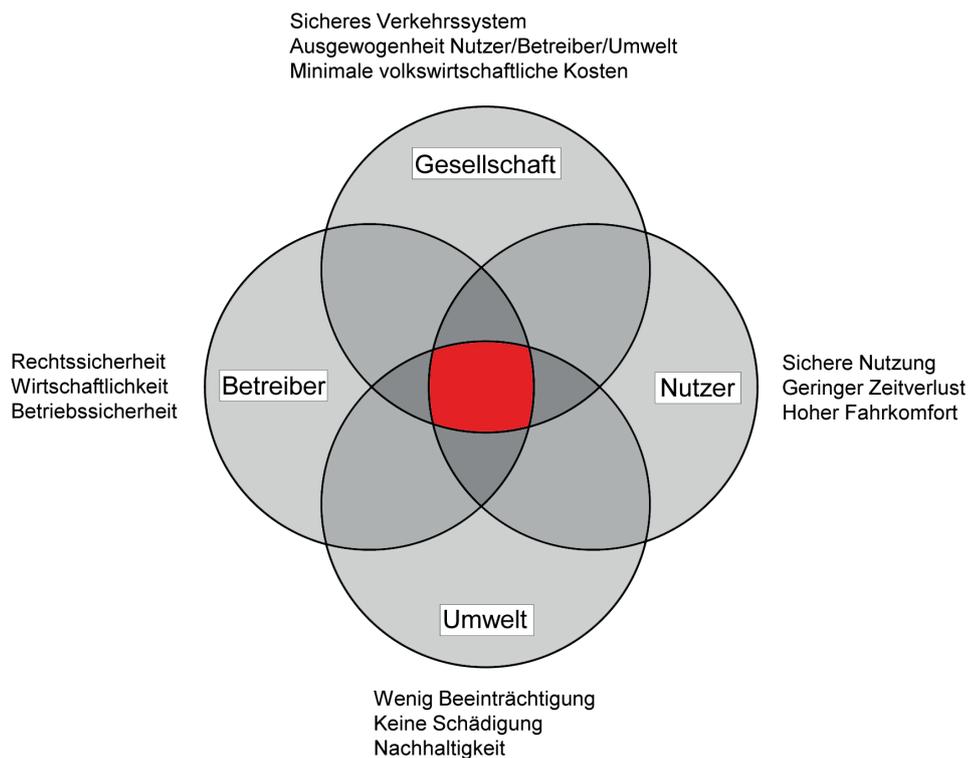


Abb. 01: Unterschiedliche Anforderungen von Nutzern, Umwelt, Gesellschaft und Straßenbetreiber an den Winterdienst, der im Überlappungsbereich aller vier Interessensgruppen durchgeführt werden soll

## 1.2 Zielsetzungen

Die Bekämpfung von Winterglätte erfolgt üblicherweise durch Schneeräumung sowie Ausbringung von abstumpfenden oder auftauenden Streumitteln. Das Forschungsvorhaben konzentriert sich auf die Ausbringung und Wirkung auftauender Streumittel, da sich diese vor allem an Straßen mit einer durchschnittlichen täglichen Verkehrsbelastung (DTV) > 1.000 KFZ-E durchgesetzt haben. Als auftauendes Streumittel wird in Österreich nahezu ausschließlich Natriumchlorid (NaCl) in Form einer Trockensalz- oder Feuchtsalzstreuung mit einer möglichen Streumenge je Streuvorgang von 5 bis 40 g/m<sup>2</sup> ausgebracht. Bei der abstumpfenden Streuung wird scharfkantiger Splitt der Korngröße 2 - 8 mm mit einer Streumenge von 100 - 150 g/m<sup>2</sup> ausgebracht.

Bei der Feuchtsalzstreuung wird das trockene Streusalz unmittelbar vor dem Austreten aus dem Streufahrzeug mit einer Solelösung befeuchtet. Durch dieses Verfahren soll das Salz gezielter aufbringbar sein, da Verwehverluste eingeschränkt werden können und es besser auf der Fahrbahn haften soll. Weiters soll so mit geringeren Salzmengen eine bessere Wirkung auch bei tiefen Temperaturen gegenüber einer Trockensalzstreuung erzielbar sein. Auf Basis der praktischen Winterdienstanforderungen, ersten Recherchen sowie Vorbesprechungen mit dem RVS - Winterdienstausschuss haben sich folgende Forschungsfragen ergeben:

### Winterdienst generell:

- Was ist der Stand von Technik und Wissenschaft im Bereich Winterdienst?  
*Mögliches Ergebnis = Literaturrecherche und Befragung*
- Welche Anforderungen an den Winterdienst bestehen aus Sicht von Normen & Vorschriften?  
*Mögliches Ergebnis = Gesetzliche und technische Anforderungen im Überblick*

### Optimierung der Feuchtsalzstreuung:

- Was ist der Stand der Forschung in Bezug auf die Ausbringung auftauender Streumittel?  
*Mögliches Ergebnis = Gesamtübersicht und Verifikation der Ergebnisse*
- Was ist der optimale Anfeuchtungsgrad in der Feuchtsalzstreuung in Abhängigkeit von Temperatur und Witterung? *Mögliches Ergebnis = ideale Salzlösungsverhältnisse*
- Wie lange wirkt die Feuchtsalzstreuung und welche Auswirkungen hat dies auf die Straßengriffigkeit? *Mögliches Ergebnis = Optimierte Streuintervalle*
- Wie sieht der Mechanismus der Feuchteverteilung und Abtrocknung der Fahrbahn bis hin zur Austragung und Rekristallisation der verbleibenden Salzmengen aus?  
*Mögliches Ergebnis = Grundlagenforschung zur Flüssigkeitsverfrachtung & Restsalzmengen*
- Welche Streumengen sind in typischen Winterdienstsituationen erforderlich bzw. sinnvoll?  
*Mögliches Ergebnis = Streustrategien und Streumengenempfehlungen*
- Was sind optimale technische Lösungen zur Ausbringung auftauender Streumittel?  
*Mögliches Ergebnis = Anforderungsprofil für Kaufentscheidung/Nachrüstung Streugeräte*
- Kann eine reine Solestreuung die Anforderungen des Winterdienstes in Österreich erfüllen und dabei betriebswirtschaftlich überzeugen?  
*Mögliches Ergebnis = Konkrete Empfehlung zur Solestreuung*

### Umsetzung der Erkenntnisse:

- Wie kann sichergestellt werden, dass die Erkenntnisse auch in der Praxis umgesetzt werden?  
*Mögliches Ergebnis 1 = Streuleitfaden und Streutabellen*  
*Mögliches Ergebnis 2 = Schulung des Winterdienstpersonals*

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die o.a. Fragestellungen soweit möglich im Rahmen des Projekts zu beantworten sowie die Methode der Feuchtsalzstreuung weiter zu entwickeln bzw. zu optimieren. Dazu sollen für verschiedene Fälle von Straßenglätte und unterschiedliche Temperaturbereiche und Verkehrsbelastungen die idealen Soleanteile und Sättigungen sowie erforderlichen Streumengen ermittelt werden.

## 1.3 Methodische Herangehensweise

### Literaturrecherche:

Zu Beginn des Projektes wird auf Basis von Gesprächen im Ausschuss Winterdienst das Forschungsfeld eingegrenzt bzw. die Richtung definiert, in die geforscht werden soll. Die grundsätzlich zu klärenden Fragen konzentrierten sich in erster Linie auf die möglichen Einsparung bei auftauenden Streumitteln und einer kritischen wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit der bisherigen Winterdienstpraxis bzw. den bestehenden Streumengenempfehlungen. Durch eine Literaturrecherche sollen mögliche Einflussparameter auf die Liegezeit des Salzes auf der Fahrbahn herausgearbeitet werden, um diese zu einem späteren Zeitpunkt genau untersuchen zu können. Zusätzlich sollen die aktuellen Streutechnologien, vor allem in Hinblick auf Streugutmischungen, Berechnung des Taumittelanteils und den resultierenden Kosten untersucht werden.

### Evaluierung Winterdienst:

Durch Gespräche und Zusammenarbeit mit einzelnen Straßenmeistern soll die aktuell angewandte Praxis studiert werden und anhand eines Fragebogens eine Bestandsaufnahme des Winterdienstes in Österreich durchgeführt werden. Die aktuelle Streupraxis sowie die ausgebrachten Streumengen sollen eine Grundlage zur Abschätzung des vorhandenen Optimierungspotentials durch die Einführung neuer Techniken bzw. Strategien bilden. Weiters soll geklärt werden, wo Winterdienstverantwortliche eine zusätzliche Unterstützung benötigen und wie sichergestellt werden kann, dass die Ergebnisse des Forschungsprojektes auch in die Praxis umgesetzt werden können.

### Laborversuche:

Auf Basis bereits erprobter Ansätze sollen Laborverfahren zur Prüfung und Bewertung der Tauwirksamkeit von verschiedenen Varianten von Taumitteln wie NaCl, CaCl<sub>2</sub> oder Safecote sowohl in fester als auch flüssiger Form (Sole) entwickelt werden. Bei den Versuchen soll gezielt der am häufigsten eingesetzte Taustoff Natriumchlorid (NaCl) getestet werden und gegebenenfalls auch die Wirkung unterschiedlicher Produkte nach ihrer Herkunft (z.B. Siedesalz und Steinsalz) verglichen werden. Die Versuche zur Tauwirksamkeit sollen vor allem den Unterschied einzelner Taumittel in Bezug auf ihre Anfangstaugeschwindigkeit und weitere Tauwirksamkeitsentwicklung klären. Im Wesentlichen geht es dabei um eine Untersuchung der Menge an Eis, die durch eine definierte Menge an Taumittel bei einer festgelegten Temperatur zeitabhängig getaut werden kann. In einer weiteren Versuchsreihe soll der eutektische Punkt der Taumittel untersucht werden. Dies ist von großer Wichtigkeit, da Taumittel bei einer dem eutektischen Punkt entsprechenden Konzentration die größte Absenkung des Gefrierpunktes der Lösung aufweisen. Über diese Konzentration hinaus ist eine weitere Absenkung des Gefrierpunktes nicht mehr möglich und soll gemäß einschlägiger Publikationen [DURTH, 2004] sogar wieder ansteigen. Insgesamt sollen diese Versuche Hinweise zur Grenztemperatur liefern, ab der ein Taumittel nicht mehr wirksam ausgebracht werden kann.

### Feldmessungen:

Die Fahrbahngriffigkeit ist ein zentrales Kriterium der Verkehrssicherheit und wird bei winterlichen Verhältnissen infolge Reif, Schnee oder Eis negativ beeinflusst. Ziel der Feldversuche ist es, die Einflüsse von Deckschichttype bzw. Textur, Witterung, Verkehr und Winterdienst auf die Griffigkeit näher zu untersuchen. Dazu wird die Griffigkeit der Straße mit dem System „GripTester“ über die gesamte Länge der Teststrecken kontinuierlich gemessen und zusammen mit Fahrbahntemperatur und Stärke des Zwischenmediums (Wasser, Schnee, Eis) aufgezeichnet. Anhand von Versuchen auf einem Parkplatz soll zudem geklärt werden, wie sich die Griffigkeit nach einem Räum- bzw. Streuvorgang entwickelt. In einem nächsten Schritt werden Versuche auf der Straße unter laufendem Verkehr durchgeführt, um die Einflüsse unter realen Bedingungen zu messen. Die Messungen auf der Fahrbahn für verschiedene Winter- und Verkehrsszenarien sollen letztlich die Entwicklung eines Modells erlauben, mit dem die Auswirkungen des Winterdienstes auf die Griffigkeit der Fahrbahn simuliert werden können.

## 2. Grundlagen Winterdienst und Salzstreuung

### 2.1 Streumittel im Winterdienst

#### 2.1.1 Abstumpfende Streumittel

Diese Bezeichnung umfasst alle zur Verbesserung der Griffbarkeit aufgestreuten Splitte (gebrochenes Gestein). Das Wirkungsprinzip besteht darin, die Schnee- bzw. Eisschicht zwischen Fahrbahn und Reifen mit Splitt zu durchsetzen, um eine Kraftübertragung durch Verkanten des Kornes zwischen Straße und Reifen zu ermöglichen (Abb. 02). Dafür sind Splitte der Korngruppen KK 1/4 oder KK 4/8 oder Gemische aus diesen Korngruppen einzusetzen. In Sonderfällen darf auch KK 8/16 gestreut werden. Anforderungen an Streusplitt finden sich in den „Richtlinien Streusplitt“ des Güteschutzverbandes der Österreichischen Kies-, Splitt- und Schotterwerke [GSV, 2007] und RVS 12.04.16 (Oktober 2011).

Der Vorteil der Splittstreuung liegt in der unmittelbaren Wirksamkeit nach der Streuung und der Erhöhung der Griffbarkeit auch auf bereits festgefahrenen Schneedecken, da sich der Splitt beim Überfahren der Schneedecke durch die Kraftfahrzeuge in den Schnee bzw. in das Eis eindrückt. Auftauende Streumittel brauchen dagegen eine gewisse Zeit (5 min bis 60 min), um ihre Wirkung im lockeren Schnee zu entfalten und sind bei einer festgefahrenen Schneedecke bzw. Eisplatten nur in großen Mengen und nach deutlich längerer Zeit wirksam. Für Straßen mit einem DTV von mehr als etwa 1.000 KFZ/24h sind abstumpfende Streumittel nicht zu empfehlen, da sich nach 400 KFZ - Überfahrten durch die Verteilungswirkung des Verkehrs gemäß Abb. 03 kein Splitt mehr in den Rollspuren befindet [WEHNER, 1960, HOFFMANN et. al., 1984]. Das bedeutet, dass sich Streumengen bzw. Streuintervalle in Bereichen befinden, die schwer logistisch durchführbar und nicht mehr wirtschaftlich sind.

Die durch den Abrieb und Aufwirbelung des Streusplitts entstehende Staub- bzw. gesundheitliche Belastung kann gemäß Untersuchungen [KIRCHMAIER et. al., 2009] durch die Verwendung geeigneter Streumittel (RVS 12.04.16 Merkblatt Streumittel 10/2011) begrenzt werden. Zudem ist der Beitrag der Splittstreuung zur Feinstaubbelastung zwar lokal gegeben, aber über eine Winterperiode [OETTL et. al., 2005] mit 2% sehr gering. Im Gegensatz zu Streusalz, das durch Regen und Schmelzwasser ausgewaschen wird, verbleibt der ausgebrachte Splitt in den Randbereichen der Fahrbahn und muss vom Straßenbetreiber wieder eingekehrt werden. Streusplitt kann jedoch z.B. bei starken Schneefällen auf Steigungsstrecken gezielt eingesetzt werden, um den Verkehrsfluss aufrecht zu erhalten.

Während die Kosten des Streusplitts auch im Verhältnis zum Salz mit 10 - 30 €/t (Stand 2010) noch vergleichsweise günstig sind, ist die Entsorgung des verbleibenden eingekehrten Materials mit 80 - 100 t/€ (Stand 2010) derzeit vergleichsweise teuer. Die Eignung der Splitte für den Winterdienst sowie die Unterschiede in toxikologischer Hinsicht samt dem resultierenden Emissionspotential wurden bereits in einer anderen Arbeit an der TU Wien [KIRCHMEIER et. al., 2009] untersucht und bewertet. Da von den Bundesländern und der ASFINAG vor allem auf stärker befahrenen Straßen in erster Linie Streusalz verwendet wird, liegt der Schwerpunkt der Forschungen in der Optimierung der Salzstreuung.



Abb. 02: Herstellung einer Verbindung zwischen Reifen und Fahrbahn durch eine Eisschicht mittels Streusplitt [NUTZ, 2010]

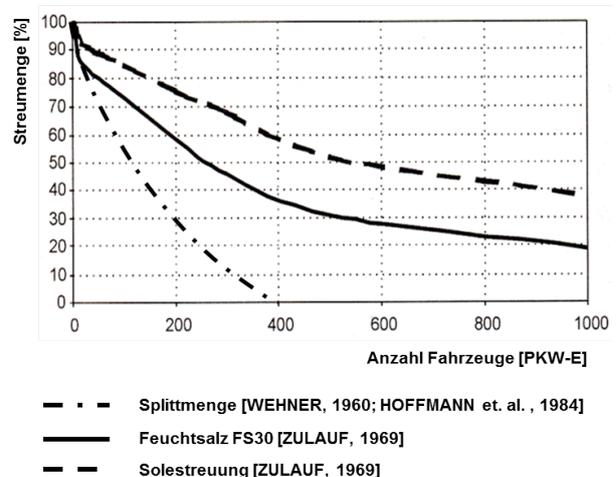


Abb. 03: Austragung von Splitt und Salz aus der Radspur in nicht befahrene Bereiche der Fahrbahn bzw. die Umgebung

## 2.1.2 Auftauende Streumittel

Die Bezeichnung „auftauende Streumittel“ umfasst alle Streumittel, die durch einen chemischen Vorgang den Gefrierpunkt von Wasseraggregaten unter die Fahrbahntemperatur absenken können und so eine Fahrbahnglätte verhindern. Im Allgemeinen sind dies Salze, die auf die Fahrbahn aufgebracht werden und mit Regen, Schnee, Reif- bzw. Tau eine Lösung bilden. Das Ziel der Salzstreuung besteht nun darin, eine Eisbildung durch die herbeigeführte Gefrierpunktniedrigung zuverlässig zu verhindern, indem der Gefrierpunkt der Lösung bzw. Sole unter jene der Fahrbahntemperatur abgesenkt wird. Die je nach Temperatur notwendige Konzentration der Lösung wird in Kapitel 4.3 behandelt.

Um den Tauvorgang und die stattfindenden thermischen Vorgänge abzubilden, wurde ein Streuvorgang mit NaCl in einem Schneefeld mit der Thermokamera dokumentiert (Abb. 04). Dazu wurde auf eine abgegrenzte Fläche von etwa 2 x 2 m Neuschnee mit einer Schneehöhe von etwa 7 cm per Hand Trockensalz (NaCl) ausgestreut. Die Tauwirkung setzt unmittelbar nach dem Streuen mit der Herabsetzung der Temperatur ein. Bei diesem endothermen Vorgang wird Energie benötigt, die aus der „Wärme“ des Schnees bezogen wird, wodurch die Oberflächentemperatur der Schneedecke abfällt. Im o.a. Beispiel hat der Schnee ursprünglich eine Temperatur von  $-12^{\circ}\text{C}$ , die nach der Salzstreuung unmittelbar auf etwa  $-20^{\circ}\text{C}$  sinkt. Im zweiten Bild ist noch eine unregelmäßige Temperaturverteilung zu erkennen, die durch die Ausbringung des Salzes per Hand entsteht. Bereits zwei Minuten später ist der Tauvorgang gemäß dem dritten Bild so weit fortgeschritten, dass sich ein gleichmäßigeres Temperaturbild mit einer konstanten Temperatur von  $-22,6^{\circ}\text{C}$  ergibt.

Diese Temperatur entspricht dem eutektische Punkt von Natriumchlorid, ab dem keine weitere Abkühlung bzw. Herabsetzung des Gefrierpunktes mehr möglich ist. In Bild drei ist also an der Oberfläche eine gesättigte Sole mit einer Temperatur von etwa  $-22^{\circ}\text{C}$  sichtbar, die nicht weiter abkühlt. Die genauen Temperaturwerte können an den Diagrammen unterhalb der Bilder in Abb. 04 abgelesen werden, wobei sich der dort dargestellte Temperaturverlauf auf den eingezeichneten vertikalen Schnitt in den Bildern bezieht. Bei der nun folgenden weiteren Verdünnung der Sole durch den getauten Schnee steigt die Temperatur wieder an, wobei die Temperatur im vierten Bild immer noch deutlich unter der ursprünglichen Schneetemperatur liegt. Im weiteren Verlauf des Tauvorgangs steigt die Temperatur an, wobei sich der Tauvorgang und Temperaturanstieg mit der Abnahme der Temperaturdifferenz zwischen Lösung und Schneedecke weiter verlangsamt, bis sich ein Gleichgewicht zwischen Schneetemperatur und zugehöriger Solekonzentration einstellt. Eine direkte Umlegung der gemessenen Temperaturabsenkung auf die Fahrbahntemperatur ist nicht zulässig, da nur die Temperatur der obersten Schichte gemessen wurde und die Fahrbahn allein schon aufgrund der Masse eine größere Wärmespeicherkapazität besitzt.

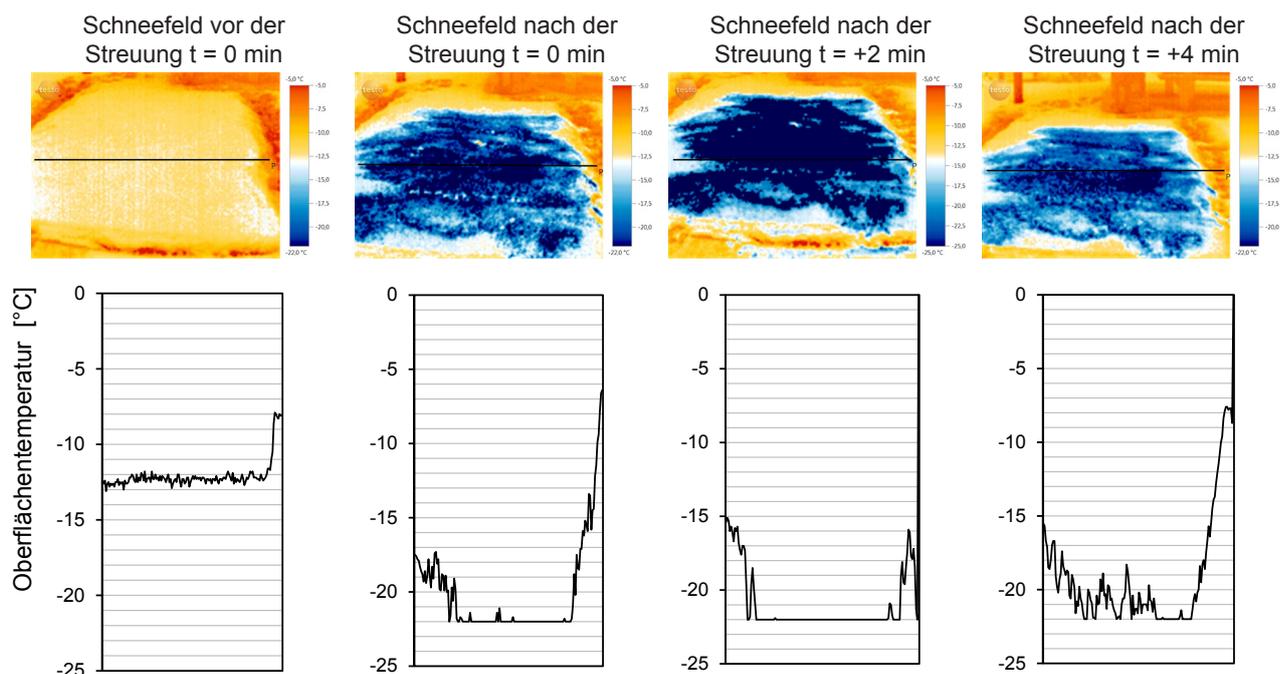


Abb. 04: Wärmebildaufnahmen und zugehörige Temperaturprofile des Tauvorgangs einer Schneedecke nach manueller NaCl - Aufbringung über einen Zeitraum von vier Minuten.

### 2.1.2.1 Natriumchlorid (NaCl)

Natriumchlorid (auch Kochsalz oder Speisesalz) mit der chemischen Formel NaCl, ist Hauptbestandteil und dominantes Streumittel in Österreich bzw. ganz Europa. Natriumchlorid wird hauptsächlich über Verdunstung von Meerwasser, aus dem Bergbau oder bei chemischen Prozessen als Nebenprodukt gewonnen. Die weltweite jährliche Salzproduktion 2006 lag bei 255,6 Mio. Tonnen [Wikipedia, 2010]. Der wichtigste Lieferant für Salz ist in Österreich die Salinen Austria AG, die jährlich etwa 1,1 Mio. Tonnen Salz bei einer maximalen Tageskapazität von 3.350 Tonnen/Tag produziert. Die Salinen Austria AG gewinnt NaCl bergmännisch im Salzkammergut und bereitet es am Standort Ebensee auf. Zur Salzgewinnung im Bergbau wird Wasser in einen Stollen gepumpt, die Lösung von Steinsalz im Wasser abgewartet und diese Sole dann abgepumpt. In der Saline wird das Salz durch Verdunstung und Zentrifugieren aus der Sole gewonnen und gereinigt.

Natriumchlorid hat eine Dichte von 2,17 g/cm<sup>3</sup> bei 20°C und eine Löslichkeit in Wasser von 359 g/l bei 20°C. Eine Salzlösung leitet durch die freien Ionen elektrischen Strom, während weder reines H<sub>2</sub>O noch reines NaCl elektrisch leitfähig sind. Eine Sole mit einem Salzgehalt von 23,4 Gew-% bildet ein eutektisches Gemisch, das bei -22,6°C ohne Entmischung gefriert. Wie wichtig und vielseitig Natriumchlorid ist, lässt sich an dem sehr breit gefächerten Einsatzgebiet darstellen. Die folgende Liste gibt die Produktpalette der Salinen Austria AG wieder, wobei sich diese Produkte in den Punkten Reinheit, Korngröße, Gebindegröße sowie Zusätze und den resultierenden Preisen unterscheiden.

- Speisesalz
- Auftausalz
- Gewerbesalz
- Industriesalz
- Pharmasalz
- Viehsalz

Welche Mengen NaCl je nach Einsatzgebiet verbraucht werden, lässt sich aus Tabelle 01 ablesen. Der Anteil an Speisesalz ist mit 3% vergleichsweise gering. Dominant ist hingegen der Anteil an industriellem Salzverbrauch vor allem in Deutschland mit 80% gegenüber dem Einsatz für die Salzstreuung mit 12%. In Österreich liegt der durchschnittliche Salzverbrauch für den Winterdienst der letzten Jahre bei 345.000 Tonnen pro Jahr, wobei keine vergleichbaren Zahlen über den Einsatz in anderen Sektoren zur Verfügung stehen.

Tabelle 01: Anteil einzelner Verwendungsbereiche von Natriumchlorid an der Gesamtproduktion [Wikipedia, Stand Mai 2010]

	<b>Industriesalz</b>	<b>Auftausalz</b>	<b>Gewerbesalz</b>	<b>Speisesalz</b>	<b>Sonstige</b>
<b>Österreich</b>	11%	48%	10%	17%	15%
<b>Deutschland</b>	80%	12%	5%	3%	0%
<b>USA</b>	39%	37%	12%	3%	9%

In Tabelle 02 ist der Salzverbrauch nach Wintersaison und Bundesland aufgelistet. Neben großen Unterschieden im Salzverbrauch der Bundesländer, die aus Unterschieden in der Netzlänge und Struktur resultieren, fallen auch die starken saisonalen Schwankungen des Salzverbrauches auf, die von der Anzahl an Winterdiensttagen und Schneefallmenge abhängen. Bezogen auf die Streumenge pro m<sup>2</sup> Straßenfläche und Winterdiensttag fallen die Differenzen deutlich geringer aus. Es zeigt sich insgesamt, dass sich der Verbrauch in Gesamtösterreich durchaus um den Faktor 3 je nach Winter ändern kann. So wurden im milden Winter 2006/07 nur 174.000 Tonnen Streusalz verbraucht, im strengen Winter 2008/09 stieg der Verbrauch auf 455.000 Tonnen. Der Preis für Natriumchlorid für den Winterdienst liegt üblicherweise bei etwa 80 - 90 €/t. Im Vergleich dazu kosten 500 g jodiertes Speisesalz im Einzelhandel ca. 0,39 €, was einem Preis von 624 €/t (ohne USt.) oder knapp dem 7-fachen entspricht.

Wie Erfahrungen z.B. aus dem Winter 2010/2011 zeigen, kann es aufgrund anhaltender Schneefälle zu einer europaweiten Knappheit von NaCl mit kaum überwindbaren Lieferengpässen und extremen Preissteigerungen auf 200 - 240 €/t kommen, denen nur durch ein gut organisiertes Salzmanagement und entsprechende Bevorratung sowie entsprechend effiziente Ausbringung entgegen gewirkt werden kann. Ob ein solcher Engpass und daraus resultierende Probleme im Winterdienst haftungsrelevant sind, ist je nach Ausmaß des Winterereignisses und getroffener Vorsorge im Einzelfall zu beantworten.

Tabelle 02: Jährlicher Salzverbrauch in 1.000 Tonnen für den Winterdienst in Österreich. Quelle: FSV-Ausschuss Winterdienst 2011

	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	Mittel
<b>Burgenland</b>	9,9	12,6	2,3	6,4	10,1	13,6	10,4	<b>9,3</b>
<b>Kärnten</b>	19,0	26,4	12,8	14,1	29,5	29,1	18,0	<b>21,3</b>
<b>Niederösterreich</b>	108,4	146,9	30,8	54,4	88,7	100,0	61,1	<b>84,3</b>
<b>Oberösterreich</b>	54,9	50,5	13,7	21,7	54,9	66,3	49,9	<b>44,6</b>
<b>Salzburg</b>	25,3	28,5	11,6	19,2	25,6	20,1	15,8	<b>20,9</b>
<b>Steiermark</b>	41,9	48,6	21,8	32,9	47,7	46,9	34,2	<b>39,1</b>
<b>Tirol</b>	34,7	40,2	18,0	28,1	37,1	26,3	23,6	<b>29,7</b>
<b>Vorarlberg</b>	8,4	7,3	3,4	5,5	8,5	9,7	7,0	<b>7,1</b>
<b>Wien</b>	12,1	16,3	2,7	15,0	21,6	19,9	16,6	<b>14,9</b>
<b>Summe Österreich</b>	<b>315</b>	<b>377</b>	<b>117</b>	<b>197</b>	<b>324</b>	<b>332</b>	<b>237</b>	<b>271</b>

### 2.1.2.2 Kristallbildung und eutektisches Diagramm von NaCl

Unabhängig davon, ob das aufgebrauchte Natriumchlorid Siedesalz, Steinsalz oder Meersalz ist, bilden sich nach der Auftrocknung der Niederschlagswässer Kristalle aus dem Restsalz, die bei entsprechender Schichtstärke einen negativen Einfluss auf die Fahrbahngriffigkeit haben. Gemäß mineralogischer Untersuchungen bilden sich zwei Arten von Kristallen in Abhängigkeit von der Temperatur, die jedoch ohne mineralogische Untersuchung nicht zu unterscheiden sind und in Bezug auf den Straßenverkehr die gleichen Auswirkung haben.

Bei Luftfeuchtigkeiten unter 100% an der Fahrbahnoberfläche sowie Plusgraden verdunstet das Wasser auf der Straße, das Streusalz bleibt als Halit (NaCl-Kristall) zurück. Diese Kristalle bleiben auch bei erneuter Abkühlung stabil, können aber mit Niederschlag eine Sole bilden. Durch das Zusammenklumpen einzelner Kristalle beim Auftrocknen entsteht jedoch besonders in den Vertiefungen der Textur und großen Streumengen eine feste Ansammlung an Halit, die durch den Verkehr nicht gelöst werden kann. Dadurch bleibt die spezifische Oberfläche gering und der Lösungsvorgang bei erneutem Niederschlag geht nur langsam vor sich. Während dieser Zeit bildet sich jedoch an der Oberfläche ein Film aus gelöstem Salz und Schmutz aus und die Fahrbahn wird durch die gefüllte Textur glatter.

Bleibt die Temperatur unter 0°C und die Luftfeuchtigkeit unter 100% kann es zur Bildung von Hydrohalit (NaCl·2H<sub>2</sub>O) kommen, das bei tiefen Temperaturen aus der Sole ausfällt. Ab Temperaturen von -15°C beginnen sich signifikante Mengen an Hydrohalit zu bilden. Bei Temperaturen unter -23°C steigt das Kristallwachstum sprunghaft an. Diese Art der Kristallbildung ist aus Sicht des Winterdienstes sehr ungünstig, da Hydrohalit keine Tauwirkung aufweist und die Kristalle zudem Ansatz-

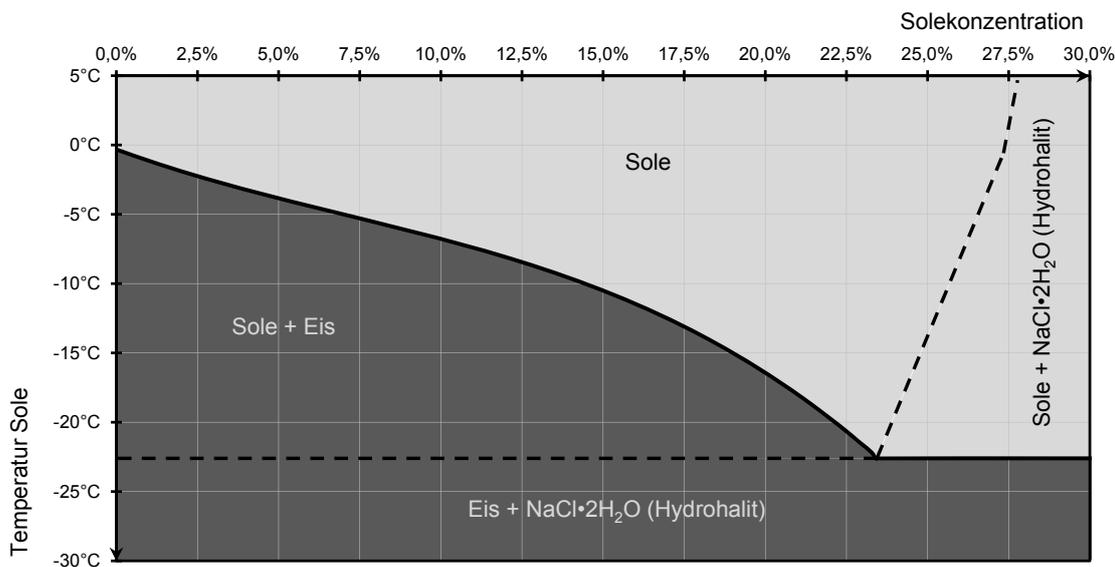


Abb. 05: Eutektisches Diagramm einer Natriumchloridsole in Abhängigkeit von Konzentration und Temperatur wobei der Aggregatzustand im hellen Bereich flüssig, im dunklen fest ist [nach LIGHT, 2007]

punkte für die Eisbildung darstellen und diese Eis/Hydrohalitkonglomerate rasch zu einer schmierigen Masse auf der Fahrbahn werden können. Hydrohalit ist zudem ein stabiles Mineral, das erst bei einer Erwärmung auf über 0°C wieder in Halit und Wasser zerfällt, wodurch eine erneute Solebildung möglich wird.

Die Temperaturbereiche für eine Kristallbildung von NaCl-Sole sind in Abb. 05 dargestellt und zeigen ein typisches eutektisches Diagramm. Im hellen Bereich „Sole“ ist die Sättigung der Sole ausreichend hoch, so dass es zu keiner Bildung von Eis oder Hydrohalit kommt. Im dunklen Bereich „Sole + Eis“ friert die Sole nach entsprechender Zeit vollständig durch und bildet Eis, während es im Bereich „Eis + NaCl·2H<sub>2</sub>O“ so lange zur Bildung von Hydrohalit kommt, bis die Sole zu Eis gefroren ist. Im hellen Bereich „Sole + NaCl·2H<sub>2</sub>O“ ist die Sole flüssig, es kommt jedoch zur Bildung von Hydrohalit bis eine Solekonzentration erreicht ist, die im Bereich „Sole“ liegt. Für den Winterdienst ist die durchgezogene Linie interessant, da diese den Gefrierpunkt der NaCl-Lösung beschreibt, während die strichlierten Linien die mineralogischen Abläufe markieren.

#### 2.1.2.3 Kalziumchlorid CaCl<sub>2</sub>

Kalziumchlorid (auch Calciumchlorid) mit der chemischen Formel CaCl<sub>2</sub> hat eine Dichte von 2,16 g/cm<sup>3</sup> bei 20°C und eine Löslichkeit in Wasser von 740 g/l bei 20°C. CaCl<sub>2</sub> kommt zwar in der Natur als Solelösung vor, wird aber für die industrielle Verwendung hauptsächlich aus Salzsäure (HCl) und Calciumcarbonat (CaCO<sub>3</sub>) hergestellt bzw. als Nebenprodukt bei der Sodaherstellung gewonnen. Die Kristallbildung ist unregelmäßiger als bei NaCl, was zu einer flockigen Form in trockenem Zustand führt.

Kalziumchlorid ist stark hygroskopisch, d. h. es zieht Wasser an (Feuchtigkeit aus der Luft!), was es zu einem guten Trocknungsmittel in der Industrie und Lebensmittelverarbeitung macht. Für den Winterdienst führt diese Eigenschaft aber zu dem Problem, dass eine mit CaCl<sub>2</sub> gestreute Fahrbahn auch dann feucht aussieht, wenn kein Niederschlag fällt bzw. sich kein Reif bildet. Der Fahrer streut, da die Fahrbahn feucht ist und er ein Frieren des Wasserfilms befürchtet, obwohl die Feuchtigkeit erst durch das Salz auf die Fahrbahn gelangt ist und in der Regel keine Gefahr besteht.

Wie NaCl hat auch CaCl<sub>2</sub> einen eutektischen Punkt unter dem eine weitere Herabsetzung des Gefrierpunktes nicht möglich ist und der weit unter dem von NaCl liegt. Deswegen wird CaCl<sub>2</sub> vor allem bei sehr tiefen Temperaturen angewendet. In solchen Fällen wird CaCl<sub>2</sub> jedoch meist nur in der Sole bei der Feuchtsalzstreuung FS30 (70% Trockensalz, 30% Sole verwendet), wodurch diese „aggressiver“ sein soll. Als Wesentlicher wird jedoch allgemein der Umstand angesehen, dass die Sole im Tank des Streufahrzeuges nicht während der Streufahrt friert. Dies wird durch die Verwendung von CaCl<sub>2</sub> bei der Soleherstellung zuverlässig für bis zu -45°C bei Sättigung der Sole verhindert. In der Praxis erfolgt eine Anwendung von CaCl<sub>2</sub> in der Feuchtsalzstreuung vielfach bereits ab Temperaturen von weniger als -6°C, was die Streukosten bei einem Preis von ca. 250 - 310 €/t deutlich erhöht.

#### 2.1.2.4 Magnesiumchlorid MgCl<sub>2</sub>

Magnesiumchlorid mit der chemischen Formel MgCl<sub>2</sub> hat eine Dichte von 2,32 g/cm<sup>3</sup> bei 20°C und eine Löslichkeit in Wasser von 542 g/l bei 20°C. Magnesiumchlorid kommt in der Natur mineralisch gebunden und im Meerwasser vor. Wie Kalziumchlorid ist es stark hygroskopisch mit den gleichen oben beschriebenen Nachteilen. Der eutektische Punkt einer gesättigten MgCl<sub>2</sub>-Sole liegt bei -33°C. Es wird aus Magnesiumoxid (MgO), Chlor (Cl<sub>2</sub>) und Koks (C) gewonnen und dient als Grundlage zur Gewinnung elementaren Magnesiums sowie als Lebensmittelzusatzstoff. Weiters ist eine Verwendung in einer Vielzahl an industriellen Produkten wie z.B. in Legierungen und Brennstoffen. Der Preis für eine Tonne Magnesiumchlorid liegt mit ca. 180 - 220 €/t ebenfalls deutlich über dem von NaCl.

#### 2.1.2.5 Kalziummagnesiumacetat Ca<sub>x</sub>Mg<sub>y</sub>(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2(x+y)</sub>

Kalziummagnesiumacetat (CMA) ist eine aus gebranntem Dolomit und Essigsäure hergestellte Substanz, die in wässriger Lösung (25% CMA-Sole) klebrig ist und eine leichte Tauwirkung besitzt. Diese Eigenschaften werden dazu verwendet, auf innerstädtischen Straßen entstehenden Feinstaub zu binden und so die Luftgüte zu verbessern. Die Tauwirkung ist allerdings nicht groß genug, um bei Temperaturen von unter -6°C ohne zusätzliche Streumittel auszukommen, wodurch die gewünschte Doppelwirkung als „Taufmittel und Feinstoffkleber“ nicht immer erreicht werden kann.

Da CMA nur als Flüssigkeit ausgebracht wird, kann es nicht mit den herkömmlichen Streumaschinen gestreut werden. Es sind reine Solestreuwägen zu verwenden, die so adaptiert sind, dass die Klebrigkeit von CMA keine Probleme verursacht. CMA wird nicht nur als Taumittel, sondern auch als reines Bindemittel für Feinstaub in den Sommermonaten verwendet. Durch den unangenehmen Geruch von CMA kann es trotz der geringen in freier Natur ausgebrachten Mengen unter Umständen zu Geruchsbelästigungen kommen. Versuche und praktische Erfahrungen zeigen, dass CMA bei Einhaltung der vom Hersteller angegebenen maximalen Streumengen keine negative Auswirkung auf die Griffbarkeit hat [www.raw-bindemittel.de/fileadmin/pdf/ICE-DUST-AWAY-Fakten-v1.pdf, 2010]. Die erlaubte Höchststreuemenge liegt bei 10 g/m<sup>2</sup> und die Geschwindigkeit ist auf der Teststrecke mit 30 km/h zu begrenzen. Zusätzlich muss die Teststrecke noch als solche durch entsprechende Beschilderung ausgewiesen werden. Die Europäische Kommission begann 1992 mit der Einführung eines Programmes zur Finanzierung umweltrelevanter Projekte, unter anderen auch dem EU Life+ Projekt CMA.

Nach mehrmaliger Weiterführung wurde 2007 das Programm Life+ gestartet. Seit 1992 wurden mehr als 3000 Projekte mit einem Gesamtbudget von etwa 2 Mrd. € mitfinanziert. Das EU-Programm Life+ gliedert sich in drei Gruppen: LIFE+ Nature and Biodiversity, LIFE+ Environment Policy and Governance, LIFE+ Information and Communication. Ziel der Life+-Programme ist es, die Umwelt nachhaltig zu schützen und somit die Lebensqualität für EU Bürger zu verbessern. Das Projekt CMA+ läuft von 2009 bis 2012 mit einem Gesamtbudget von etwa 2,7 Mio. € wovon etwa 50% über Fördermittel des EU Life+ Programmes finanziert werden. Die teilnehmenden Städte in Österreich sind Klagenfurt, Lienz und Bruneck (Südtirol). Der Preis für CMA liegt bei etwa 1.200 - 1.800 €/t und ist damit um ein Vielfaches teurer als alle anderen Streumittel am Markt.

#### 2.1.2.6 Kaliumkarbonat K<sub>2</sub>CO<sub>2</sub>

Kaliumkarbonat hat eine Dichte von 2,428 g/cm<sup>3</sup> bei 20°C und eine Löslichkeit in Wasser von 1.120 g/l bei 20°C. Kaliumkarbonat wird in einer Vielzahl von Produktionsprozessen benötigt, spielt im Winterdienst aber eine eher untergeordnete Rolle. Der Vorteil von Kaliumkarbonat liegt darin, dass weder Chlor noch Natrium enthalten ist, da diese oft ortspolizeilich verboten sind. Der Nachteil liegt im zuletzt stark gestiegenen Preis, da es auch als Grundstoff für Düngemittel verwendet wird und der Markt hier starken Schwankungen unterliegt. Der Preis für Kaliumkarbonat liegt bei etwa 320 - 540 €/t.

#### 2.1.2.7 Safecote und andere Zuckerderivate

Abfallprodukte aus der Zuckerproduktion haben ebenfalls eine Tauwirkung. Die Ausbringung auf der Straße erfolgt ähnlich wie bei CaCl<sub>2</sub> in der Sole bei der Feuchtsalzstreuung. Als wesentliche Vorteile werden u.a. auf der Homepage eines Anbieters (www.safecote.com) die Gefrierpunktabenkung, der geringere notwendige Salzverbrauch sowie eine Verringerung von Korrosion (Inhibitorwirkung) genannt. Als Nachteil kann der ebenfalls deutlich höhere Preis gegenüber NaCl mit ca. 300 - 350 €/t sowie der Patentschutz (keine Alternativenanbieter) gesehen werden.

#### 2.1.2.8 Sonstige Streumittel und Übersicht

Weitere potentielle Streumittel mit tauenden Eigenschaften aber ohne praktische Bedeutung sind:

- Harnstoff CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>
- Ammoniumsulfat (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- Natriumacetat Na(CH<sub>3</sub>COO)
- Kaliumformiat K(HCOO)

Tabelle 03: Gegenüberstellung chemischer Eigenschaften und Kosten der häufigsten Tausalze

	<b>Natriumchlorid</b>	<b>Kalziumchlorid</b>	<b>Magnesiumchlorid</b>	<b>CMA (25% Lösung)</b>	<b>Kaliumkarbonat</b>
<b>Chemische Formel</b>	NaCl	CaCl <sub>2</sub>	MgCl <sub>2</sub>	Ca <sub>x</sub> Mg <sub>y</sub> (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2(x+y)</sub>	K <sub>2</sub> CO <sub>2</sub>
<b>Kosten €/t (Stand 2010)</b>	80 - 90	250 - 310	180 - 220	1200 - 1800	320 - 540
<b>Hygroskopizität</b>	gering	stark	stark	stark	mittel
<b>Löslichkeit in Wasser [g/l]</b>	359	740	542	k.A.	1.120
<b>eutektischer Punkt [°C]</b>	-21,3	-55	-33	-19	-36,5
<b>eutektische Konzentration</b>	22,4	30,2	21,4	k.A.	39,5
<b>spez. Gewicht [g/cm<sup>3</sup>]</b>	2,17	2,16	2,32	1,12	2,43

## 2.2 Wirkung auftauender Streumittel

### 2.2.1 Auftauende Wirkung

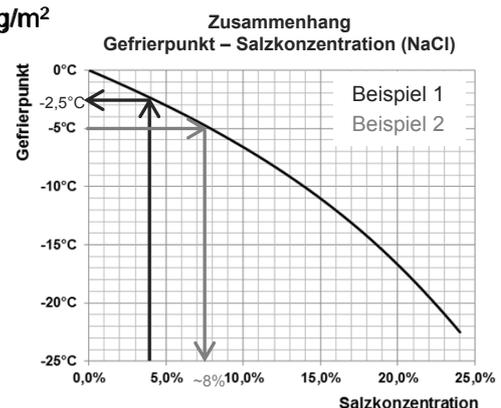
Wasser gefriert bei Temperaturen geringer als 0°C zu Eis. Der Gefrierpunkt von Solen als Mischung auftauender Streumitteln und Wasser liegt niedriger und weist bei einer für das jeweilige Salz bestimmten Konzentration einen Tiefstwert auf (Eutektikum). Bei höheren Konzentrationen kommt es zu keiner weiteren Herabsetzung des Gefrierpunktes unterhalb der eutektischen Temperatur, es besteht allerdings eine Reserve für weitere Niederschläge, die zu einer Verdünnung und damit Konzentrationsabsenkung führen. Um eine Eisbildung der Sole zuverlässig zu verhindern, muss ihre Gefriertemperatur unter der Temperatur der Straßenoberfläche liegen. Der Gefrierpunkt nach Solekonzentration für das üblicherweise in der Praxis eingesetzte Streumittel Natriumchlorid ist in Abb. 06 (links) dargestellt und wird in Abschnitt 4.3 noch genauer erläutert. In dieser Abbildung sind zudem zwei Beispiele enthalten, welche die (theoretischen) Möglichkeiten und Grenzen auftauender Streumittel zeigen.

Beispiel 1 zeigt, wie viel Niederschlag mit der maximal möglichen Streumenge von 40 g/m<sup>2</sup> NaCl und einer Fahrbahntemperatur von -2,5°C getaut werden kann. Um eine bekannte Niederschlagsmenge zu tauen, ist mindestens jene Salzmenge erforderlich, durch die eine Absenkung der Gefriertemperatur unter die Fahrbahntemperatur erfolgt. Die Taugeschwindigkeit ist dabei umso größer, je größer dieser Temperaturunterschied ausfällt. Bei 1 cm Schnee (entspricht 1 mm Regen bzw. 1.000 g/m<sup>2</sup> Wasser) und der üblichen maximalen Streumenge von 40 g/m<sup>2</sup> kann der Gefrierpunkt nur auf -2,5°C abgesenkt werden. Liegt die Fahrbahntemperatur darunter oder fällt mehr Schnee, besteht Glättegefahr.

Beispiel 2 zeigt die notwendige Streumenge bei gegebener Temperatur und Niederschlagsmenge. Ausgehend von der Fahrbahntemperatur kann aus dem eutektischen Diagramm auch die Mindestsolekonzentration zur Verhinderung eines Gefrierens abgelesen werden und für eine gegebene Streumenge die beherrschbare Niederschlagsmenge bestimmt werden. Ausgehend von einer Fahrbahntemperatur von -5°C ergibt sich eine Mindestsolekonzentration von 8%. Bei üblichen Streumengen von z.B. 12 g/m<sup>2</sup> sind nur Schneefälle bis 1,5 mm (150 g/m<sup>2</sup> Wasser) beherrschbar.

Anhand der Beispiele zeigt sich die stark begrenzte Tauwirkung von Streusalz (NaCl), was zu einem Umdenken bezüglich der Maximalstreumengen führen muss, da größere Schneefallmengen bei entsprechenden Temperaturen im Streuintervall regelmäßig vorkommen. Ist ein solches Schneefallereignis selbst bei Ausbringung der Maximalstreumenge im Streuintervall nicht mehr beherrschbar, so führt die Ausbringung großer Streumengen nur zur Bildung von mehr Schneematsch. Dieser Schneematsch wird in der Folge wieder gefrieren und bietet eine geringe Griffigkeit und Sichtbarkeit als eine Schneedecke.

Bsp. 1: Gefrierpunkt 1 cm Schnee & max. Salzmenge (NaCl) 40 g/m<sup>2</sup>



Bsp. 2: Taubare Schneemenge bei -5°C und 12 g/m<sup>2</sup>



„Ziel der Salzstreuung ist die Herabsetzung des Gefrierpunktes unter die Fahrbahntemperatur“

Abb. 06: Zusammenhang zwischen Gefrierpunkt und Konzentration erläutert anhand von zwei Beispielen (Für die Berechnung vgl. Abschnitt „4.3 Gefrierpunkt und eutektisches Diagramm“ auf Seite 55)

## 2.2.2 Niederschlagsverteilung und Auftrocknung

Die Verteilung der Feuchtigkeit auf der Fahrbahn ist für den Winterdienst von großer Bedeutung, weil der Gefrierpunkt der Sole, die durch Salz und Feuchtigkeit auf der Fahrbahn entsteht, wesentlich von der Solekonzentration abhängt (vgl. Kap. 4.1.1 auf Seite 53). In der Regel wird Wasser durch Niederschlag gleichmäßig auf der Fahrbahn verteilt und fließt aufgrund der Längs- und Querneigung zum Großteil wieder ab, während der verbleibende Rest verdunstet. Durch den Einfluss des Verkehrs entstehen noch andere Verteilungsmechanismen, die sich jedoch auf die Rollspuren beschränken. Die Mechanismen der Verteilung des Wassers auf der Fahrbahn durch den Verkehr und der Querneigung sind in Abb. 07 mit Nummern markiert und werden kurz erläutert.

1. Ablauf durch Quer- und Längsneigung oder Räumung: In Österreich ist in der Straßenprojektierung eine Mindestquerneigung von 2,5% vorgesehen, um ein Abfließen des Niederschlagswassers von der Fahrbahn zu gewährleisten. Wenn, wie hier im Bild, der Niederschlag in Form von Schnee fällt, ist dieser Effekt nicht vorhanden und der gesamte Niederschlag muss mechanisch durch Räumfahrt von der Fahrbahn befördert werden.
2. Verspritzen durch Verkehr: Durch das Gewicht des Fahrzeuges in Zusammenwirken mit der Aufstandsfläche und der Profilausbildung der Fahrzeugreifen wird das Wasser auf beide Seiten des Reifens verdrängt und, bei ausreichender Dicke des Wasserfilmes auch verspritzt. In Abb. 07 sind die Verspritzungen von der Rollspur zum Fahrbahnrand hin mit 2a gekennzeichnet, während die Verspritzungen 2b und 2c das Wasser zwar aus der Rollspur, aber nicht von der Fahrbahn verdrängen.
3. Längsverteilung durch Verkehr: Wasser, das sich zuerst im Bereich der Aufstandsfläche im Profil des Reifens befunden hat, wird durch die Rotation nach hinten geschleudert, wobei ein Teil des Wassers wieder in der Rollspur landet. Durch diesen Effekt wird allerdings auch für eine gleichmäßige Verteilung von Wasser und damit auch der Taumittel in der Rollspur gesorgt, die von den Streugeräten so nicht erreicht wird.

Die Verdrängung des Niederschlags durch Verkehr und Verdunstung können z.B. anhand der nachstehenden Formeln berücksichtigt werden [HAUSMANN 2009].

$$FD = (NS + Reif) * e^{-KFZ * (0,005 + 0,001 * WS)}$$

Formel 01: Verdrängung des Niederschlags durch Verkehr und Verdunstung

FD	Filmdicke in Radspur [mm]
NS	Niederschlag in [mm/h]
Reif	Reifbildung in [mm/h]
KFZ	Verkehrsbelastung in der berechneten Stunde [KFZ/h]
WS	Windgeschwindigkeit in [m/s]



Abb. 07: Mechanismen der Verteilung und des Abtransportes von Wasser & Salz von der Fahrbahn durch die Querneigung der Fahrbahn und den Einfluss des Verkehrs

## 2.3 Räum- und Streutechniken

### 2.3.1 Räumtechniken und ihre Anwendungsbereiche

#### 2.3.1.1 Schneepflug

Die häufigste Art der Schneeräumung ist das Pflügen, wo durch die kinetische Energie des Fahrzeuges der Schnee entlang des Pfluges von der Fahrbahn gelöst und durch die Wölbung bzw. Schrägstellung an einer oder beiden Seiten des Fahrzeugs vorbei verfrachtet wird. Die Pflugscharbreite reicht von ca. 1 m für die Gehsteigräumung bis zu über 4 m, die durch zusätzliche Klapppflüge an der Fahrzeugseite auf bis zu 6 m Räumbreite erweitert werden können. Für die Schneeräumung von Flughäfen oder anderen großen Flächen sind Geräte verfügbar, die noch höhere Räumbreiten aufweisen. Die Räumgeschwindigkeit liegt zwischen 10 km/h und 70 km/h, wobei Schneeräumung auf Straßen je nach Schneehöhe und Anlageverhältnissen meist in einem Bereich von 20 km/h bis 50 km/h erfolgt.

#### 2.3.1.2 Schneefräse & Schneeschleuder

Bei sehr hohen Schneelagen oder wenn der Schnee nicht direkt an den Fahrbahnrand geschoben werden kann, weil dort etwa Betonleitwände oder Lärmschutzwände stehen, kann durch den Einsatz von Schneefräsen oder Schneeschleudern der Schnee entfernt werden. Beim Fräsen oder Schleudern wird der Schnee durch rotierende Maschinenelemente mit wesentlich höherer Energie bewegt und kann mehrere Meter hoch und bis zu 40 m weit gefördert werden. Der wesentliche Unterschied zwischen Fräsen und Schleudern besteht in der Drehrichtung der Maschinenelemente. Während beim Fräsen eine Walze mit einer Rotationsachse gleich den Fahrzeugachsen bewegt wird, ist die Rotationsachse bei der Schleuder in Längsrichtung des Fahrzeuges gerichtet. Durch die Walzenanordnung kann gegenüber der kreisrunden Schleuderfront über die gesamte Walzenbreite ein gleichmäßiger Schneetransport erfolgen, der Walzendurchmesser beschränkt jedoch die maximale Räumhöhe.

Durch Schneefräsen oder Schneeschleudern können wesentlich höhere Schneelagen als bei einem Schneepflug auf einmal entfernt werden, die Räumgeschwindigkeit und Räumbreite ist jedoch in der Regel geringer. Die durch Schneepflüge entstehenden Randwälle als Ansammlung von geräumtem Schnee am Fahrbahnrand können dadurch ebenfalls effektiv entfernt werden. Der abgetragene Schnee wird dabei kontrolliert durch einen Auswurfkamin in die Umgebung transportiert oder direkt auf einen LKW verladen. Ein LKW-Transport der geräumten Schneemengen erfordert jedoch zusätzliche Personal- und Materialressourcen und wird daher nur in Fällen vorgenommen, wenn etwa durch Brücken oder sehr hohe Lärmschutzwände keine Möglichkeit besteht, den Schnee anderweitig zu entfernen. Die in Abb. 08 angegebene Wurfweiten und -höhen gelten für den freien Auswurf. Der Auswurf des Schnees über eine Lärmschutzwand kann durch spezielle Auswurfkamine sichergestellt werden.

Kennzahlen der Räumart	Systemskizze	Draufsicht	Gerätebild
<b>Schneepflug</b> Räumgeschwindigkeit: 10 – 70 km/h Räumleistung: -  Maximal Schneehöhe: (Keilpflug) max. 0,8m Wurfweite: bis 1m			
<b>Schneefräse</b> Räumgeschwindigkeit: 1 - 12 km/h Räumleistung: bis 2.500 t/h  Maximal Schneehöhe: ~ 1,4m Wurfweite: bis 20m Wurfhöhe: bis 12m			
<b>Schneeschleuder</b> Räumgeschwindigkeit: 1 - 12 km/h Räumleistung: bis 1.600 t/h  Maximal Schneehöhe: bis 3,5m Wurfweite: über 40m Wurfhöhe: bis 18m			

Abb. 08: Eckdaten und Illustration der wesentlichen Arten der Schneeräumung (Pflügen, Schleudern, Fräsen)

### 2.3.1.3 Anordnung und Ablauf von Räum- und Streufahrten

Bei Straßen mit einem Fahrstreifen je Fahrtrichtung (typische Landes- und Gemeindestraßen) wird bei der Schneeräumung nur auf jeweils einem Fahrstreifen in Fahrtrichtung und der gegenüberliegende Fahrstreifen der Gegenfahrbahn bei der Rückfahrt geräumt. Bei zweistreifigen Straßen kann der Schnee rechts und links der Fahrbahn abgeladen werden, wenn keine Behinderungen (Kunstabauten, Lärmschutzwände) vorhanden sind. Durch den Zeitversatz zwischen zwei Räumvorgängen kann sich je eine neue Schneedecke in Abhängigkeit von Streumenge, Schneefall, Verkehr und Temperatur bilden. Ein Überholvorgang des Streu- und Räumfahrzeuges ist je nach den Verhältnissen möglich (Abb. 09).

Auf Straßen mit zwei oder mehr Richtungsfahrstreifen kann eine gestaffelte Räumfahrt stattfinden, bei der zwei (oder mehr) Schneepflüge direkt nebeneinander fahren und so die Fahrbahn über die gesamte Breite von innen nach außen auf einmal räumen. Bei der gestaffelten Räumfahrt ist ein Überholen kaum noch möglich, wodurch es je nach Verkehrsbelastung rasch zu einer Kolonnenbildung kommt. Eine Möglichkeit zum Überholen kann fallweise geboten werden, wenn die Räumfahrzeuge den Längsabstand vergrößern und so eine Überholmöglichkeit bieten.

Die Möglichkeit der gestaffelten Fahrt gibt den Straßenbetreibern die Möglichkeit den Verkehr mit kontrollierter Geschwindigkeit durch starke Schneefälle zu führen und gleichzeitig den Schnee so effizient wie möglich von der Straße zu entfernen. Stehen nicht genug Räumfahrzeuge für eine gestaffelte Räumung zu Verfügung, kann die Räumung auch durch zwei Einzelfahrten eines Räumfahrzeuges erfolgen. Bei einer vollständigen Räumung erfolgt der Räumvorgang immer beginnend mit den Innenfahrstreifen bis zu den Außenfahrstreifen. Bei Extremschneefallereignissen und nicht ausreichenden Ressourcen hat es sich auch bewährt, zunächst nur den rechten Fahrstreifen freizuhalten (Zugang Zu-/Abfahrten) und die inneren Fahrstreifen erst später zu räumen.

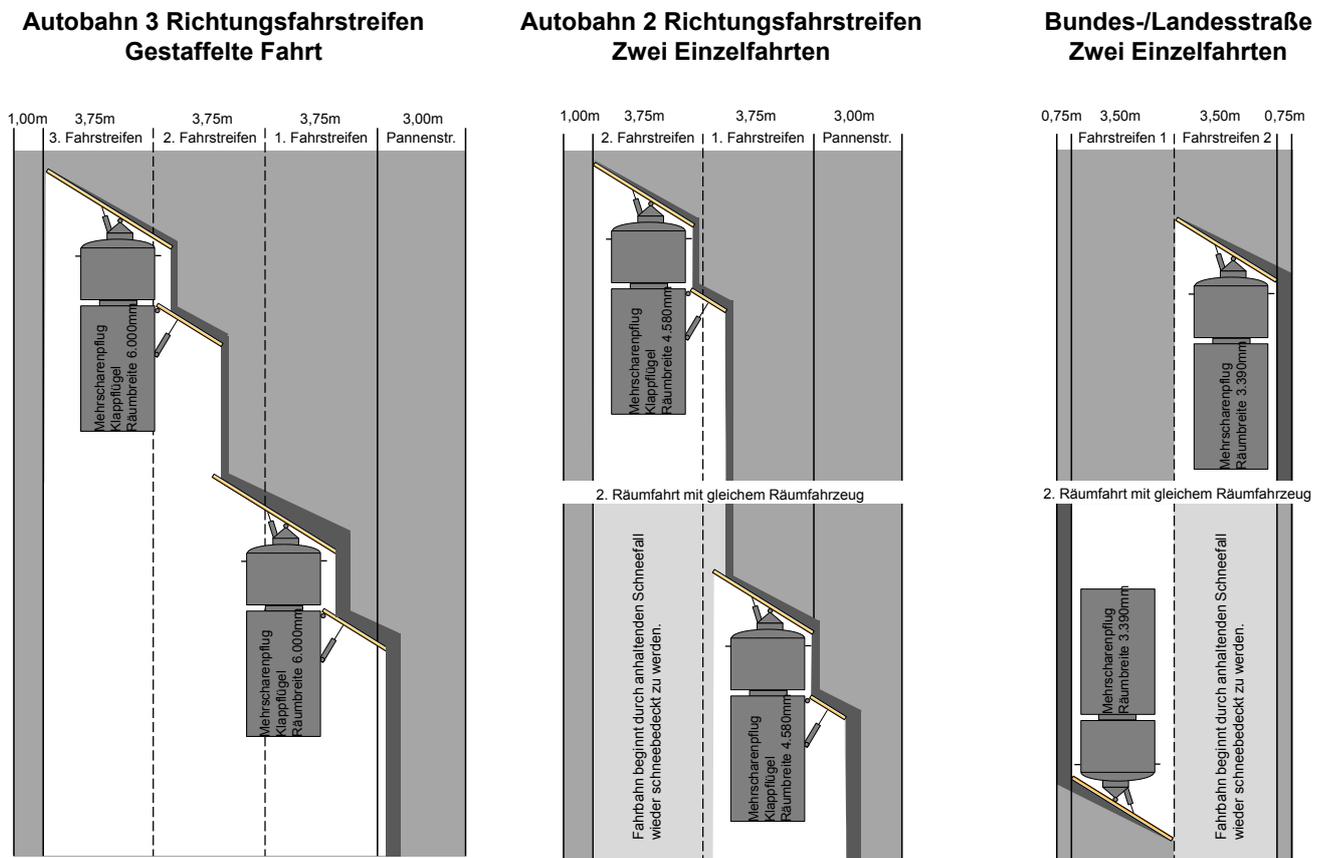


Abb. 09: Varianten von Räumfahrten auf Straßen mit einem oder mehreren Richtungsfahrstreifen und einem oder mehreren Räumgeräten (gestaffelt)

### 2.3.2 Feuchtsalzstreuung

Bei der Feuchtsalzstreuung wird trockenes, rieselfähiges Salz auf dem Streuteller der Streufahrzeuge mit einer Sole vermischt, wodurch eine bessere Ausbringung bzw. ein besseres Streubild ermöglicht werden soll. Durch die Feuchtigkeit der Sole kleben die einzelnen Salzkörner zusammen und bilden größere schlierenförmige Streifen, die durch den (Fahrt-)Wind weniger stark verweht werden und zusätzlich besser auf der Fahrbahn haften sollen als bei einer reinen Trockensalzstreuung. Der wesentliche für den Winterdienst relevante Vorteil besteht damit neben der gleichmäßigeren Ausbringung in der Verringerung der Streuverluste und Austragungsverluste durch den Verkehr. Praktisch bedeutet dies, dass mehr Salz zum Tauen von Schneefällen bzw. der Absenkung des Gefrierpunktes gegenüber einer Trockensalzstreuung zur Verfügung steht. Die Sole für die Befeuchtung des Trockensalzes ist in der Regel eine Salzlösung aus Wasser und Natriumchlorid mit einer Konzentration zwischen 10 - 23%. Statt Natriumchlorid in der Sole wird teilweise auch Kalziumchlorid oder Magnesiumchlorid eingesetzt, um den Gefrierpunkt der Sole zu verringern oder bessere Streueigenschaften zu erzielen. Das für die Sole günstigste und am häufigsten verwendete Natriumchlorid kann in Form von Siedesalz, Meersalz oder Verbrennungssalz (als industrielles Abfallprodukt) gewonnen werden und wird in unterschiedlichen Qualitäten (Korngröße) geliefert. Um bessere Streuergebnisse zu erreichen, werden manchmal Zusatzmittel (z.B. Safecote) beigemischt.

Die Natriumchloridsole wird in einem eigenen Tank am Streuwagen meist in einer Salzkonzentration von etwa 23% als gesättigte Sole mitgeführt. Um die Gefahr des Frierens bei sehr tiefen Temperaturen hintanzuhalten, kann auch eine gesättigte Calciumchloridsole oder eine reine Trockenstreuung von Natriumchlorid zum Einsatz kommen. Die Sole wird entweder als Fertigmischung in Tankwägen bzw. Großkanistern geliefert oder durch die Straßenmeisterei selbst hergestellt. Die Materialkosten der fertig gemischten und gelieferten Sole sind etwas höher, dafür fallen aber die Anschaffungskosten einer geeigneten Mischanlage sowie Personalkosten weg. Ob Feuchtsalzstreuung oder reine Solestreuung sinnvoller ist, kann je nach Wetterszenario und Einsatzbereich anhand einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung geklärt werden.

Die Vermischung von trockenem Salz und Sole erfolgt gemäß Abb. 10 unmittelbar vor dem Ausbringen des Taumittels am Streuteller, um eine schwierig zu behebbende Klumpenbildung im Gerät zu vermeiden. Außerdem ist die Lagerung von feuchtem Salz auch über kurze Zeit nicht sinnvoll, da es nicht mehr rieselfähig und damit für den Streudienst unbrauchbar wird. Der Streuteller muss vor jeder Streufahrt augenscheinlich auf Schäden bzw. Salzurückstände kontrolliert werden. Die Ausbringungsmenge und gleichmäßige Verteilung durch den Streuteller ist laufend augenscheinlich zu überprüfen und vor jedem Winter zu justieren. Die in der Ausbringung erkennbaren „Streufahnen“ sind bei den derzeit am Markt erhältlichen Streutellern nicht zu verhindern, die Längs- und Querverteilung erfolgt in weiterer Folge durch den Verkehr. Mischungsverhältnisse von 0% Sole (Trockenstreuung) bis 100% Sole (reine Solestreuung) sind denkbar, wobei sich ein Mischungsverhältnis von 70% Trockensalz und 30% Sole (FS30) in der Praxis bewährt hat. Gemäß [BADEL, 2007] führt eine geringere Anfeuchtung zu hohen Verlusten durch Verwehungen. Wird der Anteil der Sole deutlich über 30% erhöht, führt dies zur Klumpenbildung und einer Verschlechterung des Streubildes. Weiters wird die Menge an effektivem Tausalz bei gleicher Streumenge durch die Wasserzugabe reduziert, wodurch die taubare Schneemenge stark absinkt. Die Ausbringung von höheren Soleanteilen kann zudem nur über Spezialstreuer erfolgen (Abb. 11).



Abb. 10: Streuteller für die Feuchtsalzstreuung typischerweise mit FS0 - FS30 (Aebi-Schmidt)



Abb. 11: Kombiwet mit vergrößertem Soletank und Zusatzausstattung für Feuchtsalzstreuung und reine Solestreuung (Küpper-Weisser)

## 2.4 Anforderungen und Vorschriften

Das Anforderungsniveau im Winterdienst ist österreichweit einheitlich geregelt und abhängig von Wettersituation sowie Straßenkategorie. Die unterschiedlichen Anforderungsniveaus ergeben sich aus der Bedeutung einer Straße sowie dem jährlichen durchschnittlichen täglichen Verkehr (JDTV) einer Straße, welche u.a. in Tabelle 04 gemäß RVS 12.04.12 (2010) festgelegt ist. Die angegebenen Betreuungsintervalle und Anforderungen sind dabei als Mindeststandard zu sehen, der in jedem Fall einzuhalten ist. Weitere Details dazu sowie die Anforderungen an Gemeindestraßen, Gehwege und Radwege finden sich ebenfalls in dieser RVS.

Tabelle 04: Anforderungsniveau für den Winterdienst auf Bundes- und Landesstraßen mit den Winterdienstkategorien A bis D gemäß RVS 12.04.12 (Stand 08/2010)

<b>Winterdienstkategorie lt. RVS 12.04.12</b>				
	<b>Kat. A</b>	<b>Kat. B</b>	<b>Kat. C</b>	<b>Kat. D</b>
	Autobahnen, Schnellstraßen und deren Netzschlüsse	Landesstraßen mit überörtlicher Verkehrsbedeutung oder mit einer Verkehrsstärke von JDTV > 5.000 Kfz/24h	Landesstraßen mit einer Verkehrsstärke von 1.000 < JDTV < 5.000 Kfz/24h	Landesstraßen mit einer Verkehrsstärke von JDTV < 1.000 Kfz/24h
<b>Wettersituation, Straßenzustand</b>	Eine Kontrollfahrt pro Tag	Eine Kontrollfahrt pro Tag	Eine Kontrollfahrt pro Tag	Kontrollfahrt nach Bedarf
<i>1. Gefahr von Reifglätte oder Eisglätte</i>				
<i>2. Leichter Schneefall, Schnee- und Eisglätte, leichte Schneeverwehungen</i>	Befahrbarkeit der durchgehenden Fahrstreifen, Anschlussstellen und Zufahrten zu Rasthäusern. Streuung mit Auftaumitteln - SchwarZRäumung. Räumung mit Intervallen in denen Schneehöhen bis 10 cm auftreten können.	Befahrbarkeit; Streuung vorwiegend mit Auftaumitteln. Schneehöhen bis 10 cm können auftreten. Beeinträchtigungen zwischen 22 und 6 Uhr können nicht ausgeschlossen werden.	Befahrbarkeit; Streuung mit Auftaumitteln oder mit Splitt. Schneehöhen bis 10 cm können auftreten. Stärkere Beeinträchtigungen zwischen 20 und 7 Uhr und an Wochenenden bzw. Feiertagen können nicht ausgeschlossen werden.	Befahrbarkeit; Streuung mit Splitt oder Auftaumitteln. Stärkere Beeinträchtigungen können nicht ausgeschlossen werden.
<i>3. Starker Schneefall, Schneeverwehungen</i>	Befahrbarkeit mindestens eines Fahrstreifens je Fahrtrichtung sowie der Anschlussstellen und Zufahrten zu Rasthäusern von 0 bis 24 Uhr. Streuung mit Auftaumitteln - SchwarZRäumung ist anzustreben. Schneefahrbahnen können auftreten. Benützbarkeit der Parkplätze und Abstellstreifen ist nicht gewährleistet.	Befahrbarkeit mindestens eines Fahrstreifens je Fahrtrichtung. Streuung vorwiegend mit Auftaumitteln. Stärkere Beeinträchtigungen fallweise durch Schneehöhen über 10 cm möglich; Befahrbarkeit notfalls mit Schneeketten.	Befahrbarkeit mindestens eines Fahrstreifens je Fahrtrichtung. Streuung mit Auftaumitteln oder mit Splitt. Stärkere Beeinträchtigungen durch Schneehöhen über 10 cm möglich.	Befahrbarkeit mindestens eines Fahrstreifens mit Ausweichen, notfalls mit Schneeketten. Streuung mit Splitt oder Auftaumitteln. Räumung ab Schneehöhen von 10 cm (8 bis 20 Uhr).
		Falls Splittstreuung - erst nach Abschluss der Schneeräumung		
<i>4. Starke Schneeverwehungen, Lawinen, extremes Glatteis (z.B. Eisregen), Katastrophen</i>	Die Befahrbarkeit kann nicht gewährleistet werden. Bei außergewöhnlich großen Schneehöhen, starken Schneeverwehungen und Lawinen ist die Befahrbarkeit bis zur Beseitigung der Schneemassen nicht gewährleistet. Vorübergehende Straßensperren können auftreten. Dies gilt sinngemäß auch für extremes Glatteis, z.B. bei Eisregen, wenn das Eis mit den vorhandenen Mitteln nicht unmittelbar beseitigt werden kann. Informationen erfolgen durch die Medien und die Exekutive.			
<b>Winterdienstbetreuungszeitraum</b>	0 bis 24 Uhr, Räum- und Streuintervalle nach Erfordernis	4 bis 22 Uhr, Räum- und Streuintervalle nach Erfordernis	5 bis 20 Uhr, Räum- und Streuintervalle nach Erfordernis	8 bis 20 Uhr, Räum- und Streuintervalle nach Erfordernis
<b>Umlaufzeit eines Winterdienstes</b>	max. 3 Stunden	max. 5 Stunden	max. 5 Stunden	----
<b>Verkehrszeichen und Verkehrsleit-einrichtungen</b>	Funktionstüchtigkeit von Verkehrszeichen und Verkehrsleit-einrichtungen sowie das Freimachen von Sichtfeldern werden erst nach Abschluss der Nachräumarbeiten durchgeführt. Beeinträchtigungen können nicht ausgeschlossen werden.			
<b>Erläuterungen</b>	Umlaufzeit = Zeit zwischen 2 Winterdienstmaßnahmen, Befahrbarkeit = Benützung durch KFZ mit Winterausrüstung möglich, Starker Schneefall = Neuschnee in 3h > 10 cm			

## 2.5 Laborversuche und Feldversuche zur Streumittelbewertung

### 2.5.1 Prüfbedarf und Normen

Um die in Kap. 1.1 dargestellten Ziele des Winterdienstes mit auftauenden Streumitteln in Hinblick auf Verkehrssicherheit, Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit zu erreichen, müssen folgende Anforderungen und Kriterien gemäß RVS 12.04.12 und RVS 12.04.16 erfüllt werden.

- **Hohe Tauwirksamkeit:** Erfordert nicht nur eine hohe Tauwirksamkeit, sondern auch eine hohe Taugeschwindigkeit und eine lange Wirkungsdauer
- **Geringe Umweltbelastung:** Die ausgebrachten Streumittel sollen die Umwelt (Menschen, Fauna, Flora) so wenig wie möglich belasten
- **Geringe Umgebungsbelastung:** Die Schäden an Fahrzeugen, Bauwerken z.B. durch Korrosion sollen so gering wie möglich gehalten werden
- **Wirtschaftlicher Einsatz:** Die Kosten des Straßenerhalters (Beschaffungs-, Lager- und Ausbringungskosten) sowie der Nutzer und Dritter sollen in einem Verhältnis zum Nutzen bzw. der Wirkung der Taumittel stehen
- **Gewährleistung Griffigkeit:** Die auszubringenden Streumittel sollen die Griffigkeit nicht herabsetzen und so lang wie nötig auf der Fahrbahn bleiben.

Um die Anforderung zu standardisieren, wurden in der RVS 12.04.16 „Streumittel“ detaillierte Qualitätsanforderungen für die verwendeten Streumittel definiert. Auftauende Streumittel sind gemäß RVS vorwiegend Natriumchlorid (NaCl), Kalziumchlorid (CaCl<sub>2</sub>), Magnesiumchlorid (MgCl<sub>2</sub>) bzw. trockene oder feuchte Gemische aus diesen Streumitteln. Andere auftauende Streumittel dürfen nur dann angewendet werden, wenn sie den oben angeführten Grundsätzen entsprechen und praktisch erprobt sowie unbedenklich hinsichtlich Sicherheit, Gesundheit und Umwelt sind.

Durch die Festlegung diesbezüglicher Grenzwerten können den Lieferanten spezifische Produktanforderungen übermittelt werden und der Auftraggeber hat die Möglichkeit den im Zuge von Qualitätskontrollen festgestellten Abweichungen vom festgelegten Standard durch rechtliche Schritte zu begegnen. Desweiteren wird festgehalten, dass eine Herabsetzung der Griffigkeit durch überdosierte Anwendung von Streumitteln unbedingt zu vermeiden ist.

#### 2.5.1.1 Tauwirksamkeit

Die Tauwirksamkeit in einer vorgegebenen Zeit ist die wichtigste Eigenschaft eines auftauenden Streumittels, da sie genau zeigt, wie viel Eis geschmolzen werden kann. Durch eine höhere Tauwirksamkeit wird die gleiche Wirkung bei entsprechend weniger Salz erzielt, was sich positiv auf Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit auswirkt. Hier spielt auch die Bestimmung der Gefrierpunkte der Taumittel eine entscheidende Rolle. In der RVS 12.04.12 sind Temperaturen definiert, bis zu denen die praktische Tauwirksamkeit von auftauenden Streumitteln reicht. Für Natriumchlorid ist diese Anwendungsgrenze bei -10°C festgelegt, bei Magnesiumchlorid mit -15°C und bei Kalziumchlorid -20°C. Nähere Angaben zur erforderlichen Tauwirksamkeit und deren Überprüfung sind in der RVS nicht enthalten.

#### 2.5.1.2 Rieselfähigkeit

Bei zu geringer Rieselfähigkeit des Salzes bilden sich vor der Ausbringung oder infolge der Anfeuchtung bei der Feuchtsalzstreuung größere zusammengeklumpte Tausalzteile und führen zu einem ungleichmäßigen Streubild oder Verklebungen auf dem Streuteller. Kommt das Salz schon während der Lagerung mit Wasser in Kontakt, etwa durch hohe Luftfeuchtigkeit oder Wassereintritt in das Lager, so können Verstopfungen der Transportleitungen resultieren. Um die notwendige Rieselfähigkeit zu gewährleisten werden auftauenden Streumitteln Antibackmittel, wie etwa Ferrocyanide zugegeben. Die verwendeten Antibackmittel müssen in Österreich anerkannt sein. Außerdem sollen den Tausalzen keine hydrophobierenden Zusätze zugegeben werden, da diese den Tauvorgang verlangsamen.

Ein genormtes Verfahren für die Beurteilung der Rieselfähigkeit ist derzeit nicht bekannt bzw. in der RVS enthalten. Generell ist jedoch ein Salz als rieselfähig zu bezeichnen, wenn es aus einer waagrecht gehaltenen geöffneten Hand fast vollständig zwischen den Fingern herausfällt und die einzelnen Körner nicht zusammenklumpen.

### 2.5.1.3 Chemische Zusammensetzung

Herstellungsbedingt kommt es je nach Art der Tausalzgewinnung zu Verunreinigungen, die kaum vermeidbar sind. Um die gewünschte Tauwirkung zu erzielen wird in RVS 12.04.16 ein Mindestgehalt an reinem Auftausalz bezogen auf die angelieferte Trockenmenge festgelegt. Bei NaCl muss das reine Salz mindestens 97,5 M-% betragen, bei  $\text{CaCl}_2$  77 M-% und bei  $\text{MgCl}_2$  47 M-%. Von der verbleibenden Restmasse wird keine Tauwirkung erwartet. Der Salzgehalt wird nach ISO 6227 [ASI, 1982] bestimmt. Im Hinblick auf die Aggressivität von Sulfaten gegenüber Betonbauwerken (treibender Angriff) soll der Sulfatgehalt möglichst gering sein und ist in Österreich mit 10 g/kg begrenzt.

### 2.5.1.4 Korngröße (Sieblinie)

Die Korngröße spielt eine wichtige Rolle für Taugeschwindigkeit, Tauwirksamkeit und Streubild und somit für die Wirksamkeit des Taumittels. Kleine Körner lassen sich durch Fahrt- bzw. Seitenwind leichter verwehen. Das führt durch die höheren Verluste schon während der Streufahrt zu einer Verminderung der effektiven Tauwirksamkeit. Dem Problem der Verwehung kann durch eine Anfeuchtung in der Feuchtsalzstreuung entgegen gewirkt werden. Körnungen mit einem geringen Durchmesser haben eine größere spezifische Oberfläche und weisen daher eine höhere Anfangstaugeschwindigkeit auf. Zu geringe Korndurchmesser sind jedoch wegen der Gefahr der Schlambildung und wegen der hohen Verwehungsverluste nicht erwünscht.

Körner mit größerem Durchmesser hingegen werden aufgrund ihres größeren Gewichtes weniger stark verweht, springen aber beim Auftreffen auf der Fahrbahn weiter und führen dadurch zu einem etwas gleichmäßigeren Streubild (keine Streufahnen). Sie verteilen sich aber auch über die Grenzen der eingestellten Streubreite in die Umgebung. Kommen die großen Körner auf einer Eisfläche zum Liegen, können sie diese besser auftauen als kleinere Körner. Aus den bisherigen Erfahrungen bezüglich Tauwirksamkeit und Streubild wurden folgende Anforderungen an die Korngröße in der RVS definiert:

- Bei NaCl muss die Sieblinie zwischen 0,125 mm und 3,15 mm liegen, wobei Über- und Unterkorn nicht mehr als 5% erreichen darf. Weiter darf das Größtkorn 5 mm nicht überschreiten.
- Bei  $\text{CaCl}_2$  und  $\text{MgCl}_2$  darf das Größtkorn 8 mm nicht überschreiten, wobei dies von untergeordneter Bedeutung ist, da beide Salze praktisch nur zur Soleherstellung verwendet werden.

### 2.5.1.5 Schwermetallgehalt

Aus Sicht des Schutzes von Umwelt und Umgebung wird der zulässige Anteil an Schwermetallen in den Streusalzen begrenzt. In der RVS 12.04.16 werden für ausgewählte Schwermetalle Grenzwerte festgelegt die nicht überschritten werden dürfen.

### 2.5.1.6 Wassergehalt

Da ein zu hoher Wassergehalt auch bei Taumitteln mit geeigneten Antibackmitteln zu Verklumpung führen kann, wird der Feuchtigkeitsgehalt in der RVS 12.04.16 mit 0,5% beschränkt.

## 2.5.2 Bestehende Laborversuche

### 2.5.2.1 Inzeller Eisplattenversuch

Der Inzeller Eisplattenversuch gilt derzeit als das einzige aussagekräftige Verfahren zur Bestimmung der Tauwirksamkeit von Salzen in Europa. Er wurde von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) in Deutschland entwickelt [BADELDT et. al. 1998]. Bei diesem Verfahren werden 4 Gramm eines Taumittels auf einer 3,5 cm dicken Eisplatte verteilt. Es wird die Tauwirksamkeit in Gramm Eis pro Gramm Taustoff bei Temperaturen von  $-2^\circ\text{C}$  und  $-10^\circ\text{C}$  sowie Einwirkungszeiten von 10 und 60 Minuten bestimmt. Dazu wird in einer regulierbare Klimakammer mit Luftfeuchtigkeitskontrolle von 60 - 70 % die Prüffläche mit 28 x 18cm ( $0,05 \text{ m}^2$ ) 15 bis 24 Stunden auf Versuchstemperatur angeglichen. Es sind 6 Platten je Kombination aus Temperatur und Einwirkungszeit bzw. insgesamt 24 Platten für die Versuche erforderlich. Um die 6 Eisplatten zu erzeugen, werden insgesamt 3l Wasser 72 Stunden bei  $-6^\circ\text{C}$  gefroren. Als Ergebnis wird die Tauwirksamkeit als Differenz zwi-

schen Anfangs- und Endgewicht der Platte aus den Mittelwerten von jeweils 6 Messungen für jede Kombination aus Temperatur und Einwirkzeit berechnet. Die gemessene Tauwirksamkeit wird auf 1 g Taumittel bezogen und gibt die Tauwirksamkeit in der Einheit [g Eis/g Taustoff] an.

Das Hauptproblem des Inzeller Eisplattenversuchs ist die Notwendigkeit einer Klimakammer, wie etwa im BAST - Labor, um den hohen Einfluss äußerer Temperatureinwirkungen ausschließen zu können, wodurch er für kleinere Labors nicht durchführbar ist. Weiters sind die langen Wartezeiten und die hohe Anzahl an Platten, die für die Durchführung notwendig sind nur als Nachteil zu sehen. Das Problem der Versuchsanordnung besteht weiters darin, dass das Verfahren für Trockensalz geeignet ist und damit die derzeit vorherrschende Feuchtsalzstreuung in ihrer Wirkung nicht überprüfbar ist.

#### 2.5.2.2 *Tauwirksamkeitsversuche nach SHRP-H-332*

Weitere Tauwirksamkeitsversuche wurden in den USA im Rahmen von „The Strategic Highway Research Programm“ (SHRP) entwickelt. Es wurde ein Handbuch mit Methoden zur Bestimmung der Eigenschaften von Streusalzen „Handbook of Test Methods for Evaluating of Chemical Deicers“ kurz SHRP-H-332 erstellt. In diesem Handbuch sind Verfahren zur Bestimmung von Gefrierpunkten und weitere Eigenschaften von Salzlösungen zu finden. Zur Tauwirksamkeitsbestimmung werden die Eisschmelzleistung von festen Taumitteln gem. SHRP-H-205.1, die Eisschmelzleistung von flüssigen Taumitteln gem. SHRP-H-205.2, die Eispenetration von festen Taumitteln gem. SHRP-H-205.3 und die Eispenetration von flüssigen Taumitteln gem. SHRP-H-205.4 angegeben.

#### 2.5.2.3 *Eisschmelzleistung (SHRP-H-205.1 und SHRP-H-205.2)*

Das Ziel dieser Versuche ist es, die Menge an Eis zu bestimmen, die von einem Taustoff (flüssig oder fest) aufgetaut wird. Dazu wird eine 3,175 mm dicke Eisschicht in einem glatten Plexiglasbehälter gefroren. Die Probe muss in ein temperaturregulierbares Gerät gestellt und bei einer bestimmten Temperatur gefroren werden. Dann wird der Taustoff auf die Eisoberfläche gestreut und das geschmolzene Eis in definierten Zeitintervallen in einer Ecke der Schale gesammelt, mittels einer Spritze weggenommen, gemessen und anschließend auf die Eisplatte zurückgegeben. Die Versuchsdauer beträgt 60 Minuten, wobei mindestens 4 Zeitintervalle notwendig sind, um aussagekräftige Ergebnisse zu bekommen.

Das Versuchsergebnis ist das geschmolzene Eisvolumen für bestimmte Zeit, Temperatur und Taustoffmenge. Das Problem bei diesem Verfahren ist nicht nur die hohe Anzahl an geforderten Proben, sondern auch die Tatsachen, dass sich das Volumen der Probe durch mehrmaliges abgießen und wiederaufbringen der Sole auf den Probekörper ändern kann. Für exakte Ergebnisse ist zudem darauf zu achten, dass die Taustoffproben homogen sind, um einen sinnvollen Vergleich zu ermöglichen.

#### 2.5.2.4 *Eispenetration (SHRP-H-205.3 und SHRP-H-205.4)*

Das Ziel dieser Versuche ist es, die Zeit zu bestimmen, in der eine Eisschicht festgelegter Dicke, von einem Taustoff (flüssig oder fest) penetriert wird. Als Probekörper dient ein transparenter Kunststoffblock, in den 35mm tiefe Zylinder gebohrt werden, die mit Wasser gefüllt werden und zum Frieren in die Kältekammer gestellt werden. Ein Taustoff mit vorher bestimmtem Gewicht oder Korngröße wird dann auf der Eisoberfläche der Zylinder gestreut. Die Penetrationstiefen werden in definierten Zeitintervallen von 5 bis 15 Minuten über mindestens eine Stunde mit dem freien Auge beobachtet und dokumentiert.

Als Ergebnis dieses Versuches bekommt man die Penetrationstiefe in Zeitintervallen für die getesteten Temperaturen. Interessant ist auch die Zeit, welche für die vollständige Penetration einer bestimmten Eisplattendicke notwendig ist. Problematisch bei diesem Versuch ist die hohe Anzahl an notwendigen Proben für aussagekräftige Ergebnisse. Weiters ist ein Vergleich verschiedener Taumittel nur dann möglich, wenn sich ihre Gewichte um nicht mehr als 10% unterscheidet, weil die Penetrationstiefe und das Probengewicht nicht linear proportional sind. Im Prinzip sind die Penetrationshohlräume umso grösser, je näher sie an der Oberfläche sind. Deswegen liefern die Ergebnisse für die maximale Penetrationstiefe mit diesem Verfahren keine genügend genauen Aussagen über die Tauwirksamkeit verschiedener Taumittel, sondern eher über die Auswirkungen der Korngröße.

## 2.5.3 Bestehende Feldversuche zur Restsalzmessung

### 2.5.3.1 Mobile Methode zur Bestimmung des Chloridgehalts auf Fahrbahnen

An der Universität in Connecticut in den USA wurde ein Verfahren zur Bestimmung der Solekonzentration auf Fahrbahnen entwickelt [GARRICK et. al., 2002]. Die Idee bestand darin, den von den Wagenreifen verspritzten Schnee zu sammeln, den Schnee so schnell wie möglich zu schmelzen und mittels Leitfähigkeit die Solenkonzentration zu bestimmen. Zu diesem Zweck wurde eine spezielle Wagenausrüstung entwickelt und getestet. Temperatur- und Leitfähigkeitssensoren wurden hinter dem Wagenreifen montiert. Mit einem elektrischen Heizkörper wurde der Schnee in der Einsammelbüchse in wenigen Sekunden geschmolzen, um möglichst genaue Ergebnisse für die aktuelle Solenkonzentration ermitteln zu können. Die Wagenkabine wurde mit einer Steuereinheit für die Versuchsaufnahme, einer Temperaturkontrolle für das Heizsystem und einem Laptop für Darstellung und Sammlung von Messergebnissen ausgerüstet.

Der Versuch wurde an zwei unterschiedlichen Wintertagen auf einer für den Verkehr gesperrten Landstraße unter unterschiedlichen Umweltbedingungen durchgeführt. Das erste Mal wurde die gesamte Strecke mit einer konstanten Tausalzmenge gestreut. Beim zweiten Test wurde die Messstrecke in zwei Abschnitte aufgeteilt. Bei der Streumittelausbringung wurde im zweiten Abschnitt doppelt so viel Streusalz wie im ersten Abschnitt aufgebracht. Ziel der Messungen war es, diese unterschiedlichen Streumengen wirklichkeitsgetreu wiedergeben zu können.

Bei der Verteilungskurve der Leitfähigkeit im Zusammenhang mit der Zeit waren beim ersten Versuch drei spezifische Bereiche Zeitverzögerung, Anstieg und ein konstanter Bereich zu erkennen. Bei dem Versuch auf der Strecke mit unterschiedlicher Solenkonzentration wurden zwei konstante Bereiche und zwei Steigungen zu beobachten. Diese Ergebnisse werden wie folgt erklärt:

- Die Zeitverzögerung entsteht, weil das System erst dann Ergebnisse darstellt, wenn genug getauter Schnee gesammelt wurde
- Der Anstieg wird durch die plötzliche Zunahme an Salzkonzentration in der Einsammelbüchse hervorgerufen. Da die Büchse vertikal montiert ist, ist eine gewisse Menge an Schneematsch notwendig um die gesamte Messzone zu bedecken;
- Der nahezu konstante Bereich zeigt die eigentliche Leitfähigkeit auf der gemessenen Strecke aufgrund der ausgebrachten bzw. noch vorhandenen Salzmenge

Die Verzögerung und die Steigung sind am Anfang jeder Durchführung des Versuches zu erwarten, da die Einsammelbüchse vor jeder Messfahrt zu säubern ist, um genaue Werte zu erhalten. Ein weiterer Nachteil dieses Verfahrens besteht neben der Trägheit des Messverfahrens darin, dass der erhaltene Leitfähigkeitswert die Leitfähigkeit der gesamten eingesammelten Flüssigkeit auf der Messstrecke als gleitenden Mittelwert angibt und nicht einen Wert an einem bestimmten Punkt zu einem bestimmten Zeitpunkt. Darum wurde in Rahmen dieses Verfahrens ein analytisches Modell entwickelt, das aber die Anwendung des Versuches sehr kompliziert und umfangreich macht.



Abb. 12: Ausbringung einer bekannten Streumittelmenge und Messung der verbleibenden Restsalzmenge mit dem Saugspülgerät der BAST [HAUSMANN, 2010]

### 2.5.3.2 *Liegezeitbestimmung von Tausalz mittels Saug- Spülgeräte*

Die BAST hat ein Gerät entwickelt mit dem das Salz auf der Fahrbahn durch Aufsprühen und späteres Aufsaugen eines definierten Wasserfilms gelöst wird (Abb. 12). Der Salzgehalt kann in der Folge durch eine elektrische Widerstandsmessung bestimmt werden. Über die bekannte Messfläche (5 x 1 m) und die bekannte aufgesprühte Wassermenge kann die auf der Fahrbahn liegende Salzmenge in g/m<sup>2</sup> rückgerechnet werden. Erste Ergebnisse zeigen einen sehr raschen Rückgang der Salzmenge nach dem Aufbringen. Für die notwendige Anzahl an Messungen zur Erzielung einer entsprechenden Wiederholgenauigkeit ist das Gerät allerdings etwas unhandlich und der Aufwand vergleichsweise hoch.

### 2.5.4 **Beurteilung der Labor- und Feldversuche**

Der große Nachteil bei den bestehenden Laborversuchen gemäß SHRP besteht darin, dass die Probe durch das Abwiegen der Flüssigkeit in bestimmten Zeitintervallen gestört wird und so der Einfluss der Messungen auf die Tauwirksamkeit nicht entsprechend berücksichtigt wird. Der Nachteil bei den Versuchen der BAST liegt u.a. darin, dass eine teure Klimakammer benötigt wird, in der die Versuchsausrüstung aufgebaut werden können. Bei beiden Versuchsanordnungen ist zudem keine gleichmäßige Verteilung des Taumittels über den gesamten Probekörper gegeben, wodurch es je nach Durchführung zu starken Schwankungen der Ergebnisse kommen kann.

Die Versuche zur Eispenetration mögen zwar zeigen, wie sich die Taumittel ihren Weg in das Eis bahnen, die Eindringtiefe ist jedoch nur begrenzt objektiv messbar. Weiters ist die Eindringtiefe in erster Linie bei gleicherer Menge Taumittel von der Korngröße und weniger von der Art des Taumittels abhängig. Insgesamt mögen diese Versuche zwar Auskunft über Unterschiede der Taumittel geben, das Tauen einer bestehenden Eisplatte auf der Fahrbahn stellt jedoch einen eher seltenen Spezialfall dar, weshalb die Versuchsergebnisse kaum als praxisnah zu bezeichnen sind.

Die dargestellten Feldversuche sind noch in der Entwicklungsphase. In der mobilen Messmethode aus den USA fließt nur der Anteil des aufgewirbelten bzw. schon gelösten Salzes in die Messung ein, was eine durch Niederschlag oder Aufspritzen nasse Fahrbahn notwendig macht. Aufgrund der Tatsache, dass die Fahrbahn bei großer Texturtiefe mehr Salz aufnimmt, ist nicht auszuschließen, dass dieser Einfluss die Messungen wesentlich beeinflusst. Dieser Aspekt wurde bei den Messungen mit dem Saug- Spülgerät beachtet, wobei hier der Nachteil von langwierigen bzw. punktuellen Messungen gegeben ist.

Insgesamt kann daher auf Basis der Literaturrecherche ein hoher Bedarf nach schnell und einfach durchzuführenden Untersuchungen bzw. Messmethoden abgeleitet werden, welche in der Lage sind die Wirkungen der Taumittel zu untersuchen bzw. vergleichen zu können. Solche Verfahren hätten zudem den Vorteil, dass mit Ihnen eine genaue mathematische Beschreibung der Wirkung und Liegedauer in Kombination mit Fahrbahn-, Verkehrs- und Witterungsdaten möglich wäre.

## 2.6 Monitoringsysteme und Modelle Winterdienst

### 2.6.1 MDSS in den USA

Seit dem Jahr 2001 wird durch die Federal Highway Administration (FHWA) im Office of Transportation Operations (HOTO) wird an einer Anwendung zur Optimierung des Winterdienstes (Maintenance Decision Support System MDSS) am National Center for Atmospheric Research (NCAR) geforscht. Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines Programmes, das Wetterprognose, Durchführung von Winterdienstmaßnahmen und Erfassung der aktuellen Position einzelner Streufahrzeuge vereint und zudem von einem Arbeitsplatz aus bedienbar ist. Durch den modularen Aufbau der Software sollen mögliche künftige Schritte und Erkenntnisse laufend integriert werden.

Vor allem im Bereich der Wetter- und Fahrbahntemperaturprognose sind hier bereits sehr gute Ergebnisse erzielt worden. Zur Prognose der Fahrbahntemperatur sind in [NCAR, 2007] mehrere Modelle mit dem Ergebnis verglichen worden, wobei festgestellt wurde, dass die Software METRo (<https://gna.org/projects/metro/> Stand 31.03.2011) die besten Vorhersagen trifft. Die endgültig von der MDSS-Software prognostizierte Fahrbahntemperatur setzt sich aus den Werten mehrerer Prognosemodelle zusammen. Die verschiedenen Modelle weisen in Teilbereichen Schwächen auf, die durch diese Kombination weitgehend ausgeschaltet werden. In der derzeitigen Konfiguration ist die Software auch mehr auf eine Wettervorhersage getrimmt, als auf Empfehlungen zum Winterdienst. Die Abweichung der Prognose-temperatur zur Isttemperatur werden bei allen Modellen für einen Vorhersagebereich von 24 bis 48 Stunden zunehmend größer, bleiben aber in einem Bereich, der eine Winterdienstplanung möglich macht. Zudem können diese Abweichungen durch die laufende Einbeziehung aktueller Wetterprognosen minimiert werden.

Bei einem Feldversuch in Maine in der Wintersaison 2006/07 wurden jedoch noch Probleme mit verwirrenden Warnhinweise in der praktischen Umsetzung festgestellt, die bei der Mannschaft dazu führten, dass diese oft gar nicht mehr beachtet wurden. Auch die generelle Akzeptanz der Anwendung bei der Mannschaft stellt in manchen Fällen ein Problem dar, da diese oft langjährige Erfahrung haben und der Software nicht trauen, da auch viele der verwendeten Prognosen ohnehin schon in der Praxis verwendet wurden. Die von der Software vorgeschlagenen Winterdienstesätze werden in einem eigenen Modul behandelt. Das automatische Durchlaufen einer Berechnungsschleife führt in manchen Fällen zu einem Überfluss an Meldungen, dem nur durch einen geeigneten Filter oder Überarbeitung des Winterdienstmodells entgegenzuwirken wäre.

Auf Wunsch der Departments of Traffic ist ein weiteres Modul in Entwicklung, das eine Aussage über die aktuelle Befahrbarkeit eines Straßenabschnittes macht. Die Idee dahinter ist, bei starken Niederschlagsereignissen die verfügbaren Winterdienstfahrzeuge gezielt dort einsetzen zu können, wo der Bedarf am größten ist (also die Befahrbarkeit am schlechtesten). Dieser „Mobility Index“ wird als Wert zwischen 0 (nicht befahrbar) bis 1 (keine Behinderung) definiert. Da die Untersuchungen zu diesem Thema noch nicht vollständig abgeschlossen sind, wird ein Platzhalter verwendet, der den auf der Fahrbahn liegen gebliebenen Niederschlag berücksichtigt. Die Werte gehen von trockener Fahrbahn (1,0) über 4-6 Zoll Schnee auf der Fahrbahn (0,4) bis zu Eis auf der Fahrbahn (0,2).

Die letzten publizierten Versuche in der Praxis fanden in Denver und der näheren Umgebung in der Wintersaison 2007/08 statt, in der noch eine ältere Version der Software zum Einsatz kam. Die aktuelle Version 6.0 wurde im Herbst 2009 veröffentlicht und enthält Neuerungen im Bereich der Fahrzeugerfassung. Es besteht die Möglichkeit, die Streufahrzeuge so auszurüsten, dass ihre Position sowie Videobilder an eine Zentrale übertragen werden. Die Software stellt auf einer Karte die Gefährdungszonen und aktuelle Positionen der Fahrzeuge dar. Zudem wird auch ein Livebild einer an den Fahrzeugen montierten Kamera übertragen, was eine gezielte Kontrolle und Steuerung der Einsätze wesentlich erleichtert.

Unabhängig von den Modellen, die in der MDSS-Software verwendet werden, sind die im gegenständlichen Projekt am Institut für Verkehrswissenschaften, Fachbereich Straßenwesen Modellüberlegungen entstanden, die auf ähnliche Indikatoren zurückgreifen, um die Mechanismen des Winterdienstes abzubilden. Als entscheidender Parameter gegenüber dem System MDSS wird auch die Beschaffenheit der Fahrbahn bzw. die resultierende Griffigkeit als Parameter eingeführt und auf eine praxisnahe Darstellung und Umsetzbarkeit der Erkenntnisse Wert gelegt.

## 2.6.2 Europäische Forschung

In Europa gab es eine drei Jahre dauernde Untersuchung zum Thema Winterdienst bis 2002 im Rahmen des von CORDIS (<http://cordis.europa.eu/>) koordinierten Projektes „COST 344 - Improvements to Snow and Ice Control on European Roads and Bridges“. Dabei wurde die übliche Winterdienstpraxis der 18 teilnehmenden Länder erhoben und verglichen. Neben einer groben geografischen Zuordnung der Wettermodelle sowie einer tabellarischen Gegenüberstellung der verschiedenen Winterdienststrichtlinien erfolgte eine kurze Beschreibung der Winterdienstpraxis. Da es an Indikatoren für die Beurteilung der Qualität der Resultate fehlte und kaum ein Land über eine systematische Messung der Winterdiensteffizienz verfügt, konnte auch keine „best practise“ identifiziert werden. Zudem erfordern die unterschiedlichen Klimazonen innerhalb Europas unterschiedliche Herangehensweisen. Da einzelne Länder aber in Teilbereichen weiter fortgeschrittene Ansätze haben, könnte eine Steigerung der Gesamteffizienz der Winterdienste europaweit z.B. durch bessere Kooperation und Benchmarking erzielbar sein. In allen teilnehmenden Ländern erfolgt eine Einteilung des Betreuungslevels der Straßen in Kategorien in Abhängigkeit der Wichtigkeit für das Netz und der Verkehrsstärke der Straße. Es ist auch eine Tendenz zur Trockensalzstreuung in feuchteren Regionen (maritimes Klima) zu erkennen, während in trockenen Regionen (kontinentales Klima) die Feuchtsalzstreuung dominiert.

## 2.6.3 Deutschland

Über den richtigen Anfeuchtungsgrad von Feuchtsalz wurden von der BAST Untersuchungen zu Tauwirksamkeit und Streubild durchgeführt [BADEL, 2007]. Die Tauwirksamkeit wurde mit dem Inzeller Eisplattenversuch beurteilt, bei dem eine bestimmte Menge Taumittel eine definierte Zeit bei vorgegebener Temperatur auf einer Eisplatte wirkt und dann die getaute Eismenge gemessen wird. Die Ergebnisse zeigen ein uneinheitliches Bild, was auf die Messungenauigkeit des Verfahrens in Verbindung mit der geringen Anzahl an durchgeführten Messungen zurückzuführen ist. Nach längerer Einwirkungszeit (60 min) ist die Tauwirksamkeit jedoch nur noch abhängig von der Salzmenge, die effektiv aufgebracht wird, da reichlich Zeit für eine vollständige Lösung des gesamten Salzes vorhanden ist.

Zur Beurteilung der Auswirkung des Anfeuchtungsgrades auf das Streubild wurde auf visuelle Beobachtungen zurückgegriffen und Streufahrten mit verschiedenen Anfeuchtungsgraden während des Streuvorganges fotografiert, um anschließend die Verwehung mithilfe der nachbearbeiteten Bilder zu beurteilen. Hier zeigt sich ab einer Anfeuchtung von FS20 ein Abnehmen der Verluste durch Verwehung, bis bei FS30 keine sichtbaren Verluste mehr auftreten. Weiters wird darauf hingewiesen, dass eine FS30-Streuung, im Gegensatz zur reinen Trockensalzstreuung, einen erhöhten Wartungs- und Kalibrierungsbedarf an den Geräten bedeutet. Eine Untersuchung zum Thema „Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn“ ist im Rahmen der Schriftenreihe „Verkehrstechnik“ der BAST erschienen [HAUSMANN, 2009], bei der die Fahrbahntemperatur und die Restsalzmenge an fix installierten Feldern mit Bodensensoren gemessen wurden.

## 2.6.4 Beurteilung bestehender Modelle

Das am weitesten fortgeschrittene Modell zur Prognose und Optimierung des Winterdienstes gemäß Literaturrecherche ist das in den USA entwickelte System MDSS, das besonders hinsichtlich Wetter- und Fahrbahntemperaturprognose gute Ergebnisse liefert. Die in Deutschland angestellten Untersuchungen liefern gute Erkenntnisse über einzelne Einflussfaktoren, eine Verknüpfung derselben zu einem konsistenten Modell ist nach derzeitigem Stand der Recherche sowie Befragung der zuständigen Forschungsteamleiter nicht erfolgt.

Untersuchungen zum Thema Griffigkeit bei Schneefall finden sich vereinzelt, bei denen aber hauptsächlich der Vergleich verschiedener Winterreifen im Vordergrund steht. Da diese Versuche meist auf speziellen Fahrflächen mit verminderter Griffigkeit oder durchgängigen Schneefahrbahnen stattfinden, fehlt hier die Verknüpfung zu den in der Praxis zu erwarteten Zuständen wie etwa einer sich aufbauenden Schneedecke. Erst die Kombination aus den Parametern Schneefallmenge, Streumenge und Griffigkeit erlauben die Schaffung eines durchgängigen Modells, mit dem die für den Straßennutzer entscheidende Entwicklung der Griffigkeit abgebildet werden kann.

## 2.7 Skizze Streumodell TU Wien

Die in Abb. 13 dargestellte Skizze eines umfassenden Streumodells versteht sich als Arbeitshypothese im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes und ist modular aufgebaut, um die einzelnen Modellparameter möglichst unabhängig voneinander untersuchen bzw. berechnen zu können. Die vier grundlegenden Module sind:

- **Restsalzmengenprognose:** Ermittlung der Menge an Salz, die sich abhängig von Textur und Fahrgeschwindigkeit zu jedem beliebigen Zeitpunkt in Abhängigkeit vom Streuzeitpunkt und Verkehrsmenge auf der Fahrbahn befindet
- **Ermittlung der Wasserfilmdicke:** Berechnung der Menge an Feuchtigkeit, die sich durch Niederschlag, Reifbildung und Verdunstung gleichzeitig auf der Fahrbahn befindet und mit dem Salz eine Sole bildet
- **Fahrbahntemperaturprognose:** Prognose der Fahrbahntemperatur in und neben der Rollspur über den Streuintervall bzw. Ermittlung durch mobile Messung über das Streufahrzeug
- **Texturreserve:** Berücksichtigung des verzögerten Griffigkeitsabfalls durch Eis und Schnee in Abhängigkeit der Texturtiefe bzw. Füllung derselben

Die grafische Darstellung des Streumodells zeigt eine Übersicht der zu untersuchenden Zusammenhänge. Die Eingangswerte für die Berechnungen kommen entweder direkt aus Prognosen bestehender Modelle (Niederschlagsmenge, Temperaturen etc.) oder können aus historischen Daten (Verkehr) gewonnen werden. In den grauen Kästen sind Zwischenschritte dargestellt (Restsalzmenge, Wasserfilmdicke, Gefrierpunkt), die mit entsprechender Sensorik in Echtzeit kontrollierbar sind. Dies ist insofern wesentlich, als dadurch eine laufende Korrektur der Berechnung und Prognosen bzw. Kalibrierung des Modells möglich ist.

Die Berechnung der Solekonzentration und damit des Gefrierpunkts der Sole ist ausreichend gut abgesichert und kann als Fehlerquelle weitgehend unberücksichtigt bleiben. Kritischer ist die Bestimmung der Fahrbahntemperatur, die sich aus Nowcast-Wetterprognosen sowie ergänzenden Messungen durch eine Sensorik direkt am Fahrzeug ergeben kann. In Bezug auf die Genauigkeit ist der direkten Messung am Fahrzeug der Vorzug zu geben, da eine exakte Prognose der Fahrbahntemperatur aufgrund sich laufend ändernder Bedingungen vergleichsweise schwierig ist. Eine Verbesserung der Ergebnisse kann jedoch durch ein „Thermal - Mapping“ der Strecke erfolgen. Bei diesem Verfahren wird die gesamte Umgebung thermisch kartiert und über lokale Messstationen kalibriert.

Auf Fahrbahntextur und gefahrene Geschwindigkeit hat der Straßenbetreiber nach Bau- und Instandsetzung nur mehr begrenzt Einfluss, wobei diese Größen jedoch meist über einige Jahre unverändert bleiben und daher nur selten bzw. in großen Zeitabständen angepasst werden müssen. Die Prognosedaten für Niederschlag, Windgeschwindigkeit und Temperaturen können aus meteorologischen Modellrechnungen bezogen werden. Durch die Abhängigkeit von Wetterprognosen nimmt die Genauigkeit des dargestellten Modells gemäß den Wettermodellen mit zunehmendem Prognosehorizont ab. Für die Einsatzplanung reichen jedoch meist die Wochen- bzw. 3 Tagesprognosen, während für die Streumengenberechnung die wesentlich präziseren 3-h Prognosen auf Basis von Nowcasts sowie die ermittelten Fahrbahntemperaturen aus dem Streueinsatz verwendet werden sollten.

Der Straßenbetreiber bzw. die Winterdienstmannschaft kann die Ergebnisse durch die Wahl des verwendeten Streumittels (Modul Gefrierpunktabsenkung) beeinflussen. Begrenzt wird die Freiheit in der Streumittelwahl durch das Fehlen wirtschaftlicher Alternativen zu NaCl als Grundtaumittel. Damit beschränkt sich die einzig effektive Steuerungsebene des Straßenbetreibers auf das Modul Restsalzabnahme, wo der Fahrer des Streuwagens die auszubringende Taumittelmenge, den Soleanteil und den Streuintervall bestimmen kann. Werden diesen Tätigkeiten die auftretenden Kosten des Straßenbetreibers hinterlegt, können Kosten und Wirkung unterschiedlicher Streustrategien gegenübergestellt werden. Eine Gesamtoptimierung kann dann entweder unter Einbeziehung der Auswirkungen auf Nutzer und Dritte bzw. innerhalb der Randbedingungen der einschlägigen Vorschriften erfolgen.

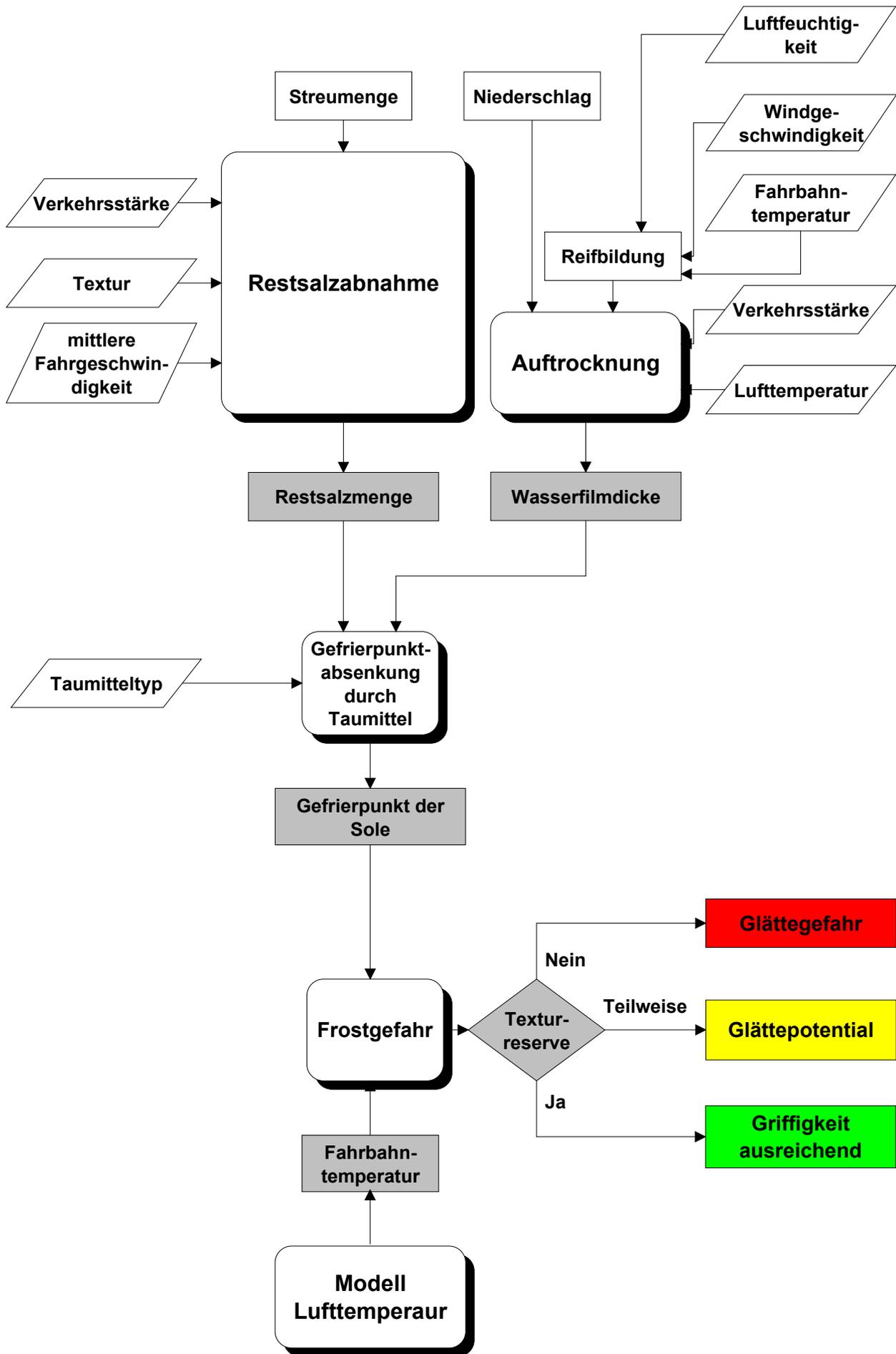


Abb. 13: Skizze des Streumodells der TU Wien als Basis für die Untersuchung der Wirkmechanismen im Rahmen der Forschungsprojekte „Feuchtsalzstreuung“ & „Safecote & Griffigkeit“ [NUTZ, 2010]

### 3. Winterdienstpraxis in Österreich

#### 3.1 Personal- und Geräteausstattung

Die in der RVS 12.04.12 geregelten unterschiedlichen Anforderungsniveaus an verschiedene Straßenkategorien spiegeln sich auch in den dafür notwendigen Personal- und Materialressourcen wider. Überlandstraßen und Stadtstraßen sind im Winterdienst differenziert zu betrachten, und erfordern daher unterschiedliche Anforderungsniveaus und Betreuungszeiträume. Diese unterschiedlichen Anforderungen zeigen sich besonders an der Ausstattung der jeweiligen Straßenbetreiber. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden alle Angaben in Abb. 14 auf Fahrstreifenkilometer bezogen, wodurch auch die Ausstattung der ASFINAG mit durchschnittlich 2,5 Fahrstreifen je Fahrtrichtung mit den Daten der Länder und Gemeinden (1 Fahrstreifen je Richtung) besser vergleichbar sind.

Die Gemeinden haben mit rund 150.000 Fahrstreifenkilometern das größte Netz zu betreuen, während Landesstraßen auf 67.000 und Autobahnen und Schnellstraßen auf etwa 10.000 Fahrstreifenkilometer kommen. Die Anzahl der Meistereien ist so gewählt, dass die zu betreuende Strecke im Schnitt 363 Fahrstreifenkilometer bei den Ländern bzw. 263 bei der ASFINAG beträgt. Für die Gemeinden ist keine Angabe der Gesamtzahl an Meistereien möglich, da diese oft in den Bauhöfen der Gemeinde integriert sind. Der mittlere Betreuungsbereich einer Gemeinde von 165 Fahrstreifenkilometern ist auf Basis einer Teilerhebung in Vorarlberg für das gesamte Bundesgebiet geschätzt worden.

Im kommunalen Netz der Gemeinden ist die Räumgeschwindigkeit aufgrund des hohen Anteils an Stadtstraßen geringer als auf Landesstraßen oder Autobahnen, die weitgehend ohne Hindernisse wie enge Gassen, Ampeln, Verkehrsbehinderung etc. geräumt und gestreut werden können. Zusätzlich zur konstanten Geschwindigkeit bei den Räumfahrten ist auch der jeweilige Straßenzustand zu beachten, da dieser sich wesentlich auf das erzielbare Räumbild und den daraus resultierenden Salzverbrauch auswirkt.

Das auf Autobahnen und Schnellstraßen im Vergleich zu Landesstraßen deutlich erhöhte Anforderungsprofil an den Winterdienst zeigt sich auch am größeren Personalbedarf. So sind bei der ASFINAG nur etwa 7 Fahrstreifenkilometer je Winterdienstmitarbeiter zu räumen, während sich dieser Wert auf Landesstraßen verdoppelt. Bezogen auf die Geräteausstattung vervierfacht sich der Wert beinahe von 22 Fahrstreifenkilometern (ASFINAG) auf 79 Fahrstreifenkilometer (Land) je Räum- & Streufahrzeug. Dieser Unterschied bei den jeweils benötigten Ressourcen zeigt die Bedeutung der in der RVS 12.04.12 getroffenen differenzierten Anforderungsniveaus nochmals deutlich. Demgemäß kann eine vergleichbare Betreuungsintensität und Qualität auf Landesstraßen nicht ohne massive Aufstockung von Personal, Gerät und Material erreicht werden.

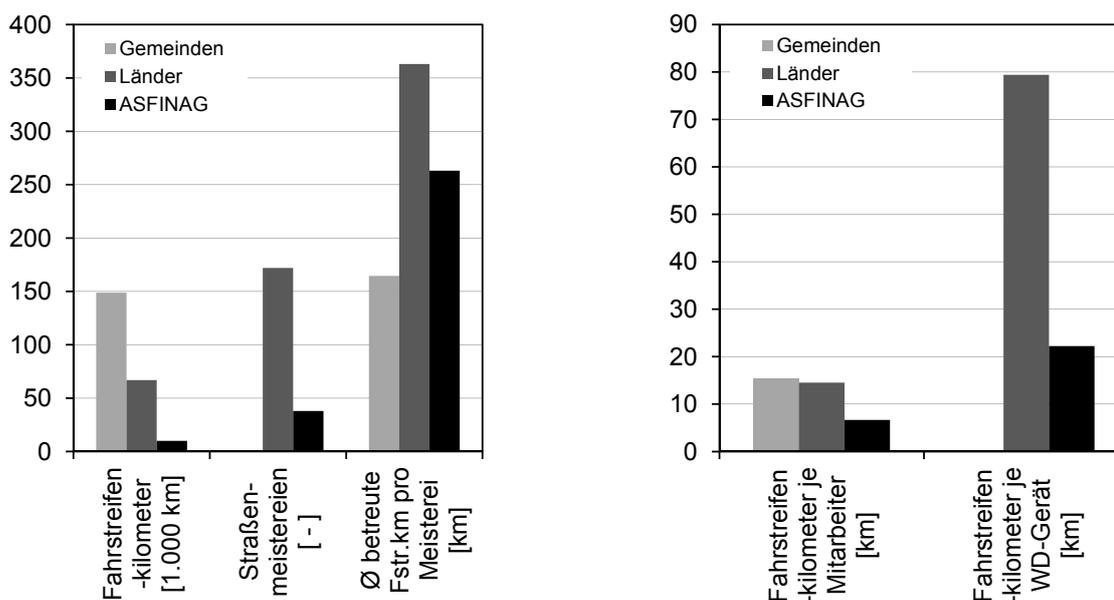


Abb. 14: Netzlängen, Anzahl der Straßenmeistereien und Betreuungsbereich einzelner Meistereien sowie Betreuungslänge je Personal und Gerät für den Winterdienst auf Straßen G, B+L sowie A+S in Österreich

## 3.2 Winterdienst der Länder in Zahlen

Die Länder betreuen das Netz der Landesstraßen B+L mit einer Länge von ca. 35.000 km, das von der ASFINAG betreute Autobahnen- und Schnellstraßennetz hat eine Länge von 2.175 km. Die bereinigten Gesamtausgaben der Länder zwischen 2002 und 2008 für ihr Straßennetz lagen im Schnitt bei rund 20.600 €/Frst.km\*a), der Betrieb alleine machte davon ca. 30 - 40% aus, wobei die tatsächlichen Aufwendungen von Bundesland zu Bundesland aufgrund der unterschiedlichen Gegebenheiten stark variieren (Preisstand 2010). Die Ausgaben der ASFINAG im selben Zeitraum lagen bei durchschnittlich 118.200 €/Frst.km\*a), was vor allem auf den hohen Anteil an Neubaukosten zurückzuführen ist. Für den Betrieb gab die ASFINAG in dieser Zeit ca. 14% oder 16.500 €/Frst.km\*a) aus [HOFFMANN M., 2011].

Der Winterdienst verursachte einen wesentlichen Teil der notwendigen Betriebsaufwendungen und umfasst Personal-, Gerät-, Material- und Fremdleistungskosten sowie Kosten für die Winterdienstbereitschaft. Die Streugutkosten als Teil der Materialkosten im Winterdienst der Winter 2004/05 bis 2009/10 lagen im Durchschnitt bei 450 €/Frst.km\*a), wobei der diesbezügliche Aufwand je nach Witterung und geografischer Lage des Bundeslandes stark unterschiedlich ausgefallen ist. Der Vergleich der Streugutkosten in Abb. 15 zeigt auch die aufgrund der hohen Anforderungen an die Verfügbarkeit der Straßen deutlich höheren Ausgaben der ASFINAG für Streusalz insgesamt.

Die in Abb. 16 dargestellte Anzahl der Winterdiensttage (Tage mit Räumen und/oder Streuen) zeigt ebenfalls eine gewisse Schwankungsbreite von Saison zu Saison sowie insbesondere von Bundesland zu Bundesland aufgrund der topographischen Gegebenheiten in Österreich. Die Schwankungsbreite der Winterdiensttage unterschiedlicher Winter ist allerdings deutlich geringer als jene der Kosten pro Winter. Die höhere Kontinuität der Winterdiensttage ist zum Teil durch die verwendete Definition als Tag mit einer Ausfahrt eines Winterdienstfahrzeugs in einer Region zu erklären. Der Mittelwert der Winterdiensttage auf Landesstraßen von 2004 bis 2010 lag bei 132 Tagen und ist damit um ca. 15% niedriger als bei Autobahnen und Schnellstraßen in Österreich.

Legt man den Salzverbrauch eines Winters auf Straßenfläche bei einer angenommenen Fahrstreifenbreite von 3,25 m und Winterdiensttage um, erhält man die durchschnittliche Streumenge je Tag. Die Streumenge gemäß Abb. 17 von 2004 bis 2010 in Österreich schwankt je nach Saison aufgrund der Wetterverhältnisse und lag bei durchschnittlich 11,9 g/m<sup>2</sup> je Winterdiensttag oder 5,04 t/(Frst.km\*a) auf Landesstraßen. Durch das Einbeziehen der größeren Fahrstreifenbreiten auf Autobahnen relativiert sich der höhere absolute Verbrauch der ASFINAG von durchschnittlich 7,6 t/(Frst.km\*a) auf einen spezifischen Verbrauch von 13,5 g/m<sup>2</sup> je Winterdiensttag (2006-2009). Zusätzlich ist auch das erhöhte Anforderungsniveau an den Winterdienst gemäß RVS 12.04.12 zu berücksichtigen.

Ausgehend von den Streumittelkosten auf Landesstraßen B+L in Österreich allein von ca. 30,0 Mio. €/Jahr können sich bereits geringfügige Optimierungen zur Sicherstellung einer effektiven Salzstreuung in einem wesentlichen realisierbaren Einsparpotential bei gleichbleibender Sicherheit für die Straßennutzer niederschlagen. Zudem ist zu bedenken, dass den Kosten des Winterdienstes ein Vielfaches an Einsparungen durch sichere Straßen und Vermeidung von Unfällen gegenübersteht, was aber nur begrenzt im öffentlichen Bewusstsein verankert ist.

Ausgehend von den in der RVS 02.01.22 „Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen“ zusammengestellten volkswirtschaftlichen Unfallkosten von 2,8 Mio. € je getötetem Verkehrsteilnehmer, 0,34 Mio. € je schwerverletztem Verkehrsteilnehmer und 0,024 Mio. € je leichtverletztem Verkehrsteilnehmer stellt ein ordnungsgemäßer Winterdienst eine vergleichsweise kostengünstige Alternative dar. Zudem wären auch die möglichen Zeitverluste aufgrund von Staus und mangelnder Erreichbarkeit mit einzubeziehen. Die Frage nach einer volkswirtschaftlich optimalen Winterdienstintensität wäre auf Basis einer entsprechenden Wirtschaftlichkeitsuntersuchung beantwortbar, ist jedoch nicht Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit.

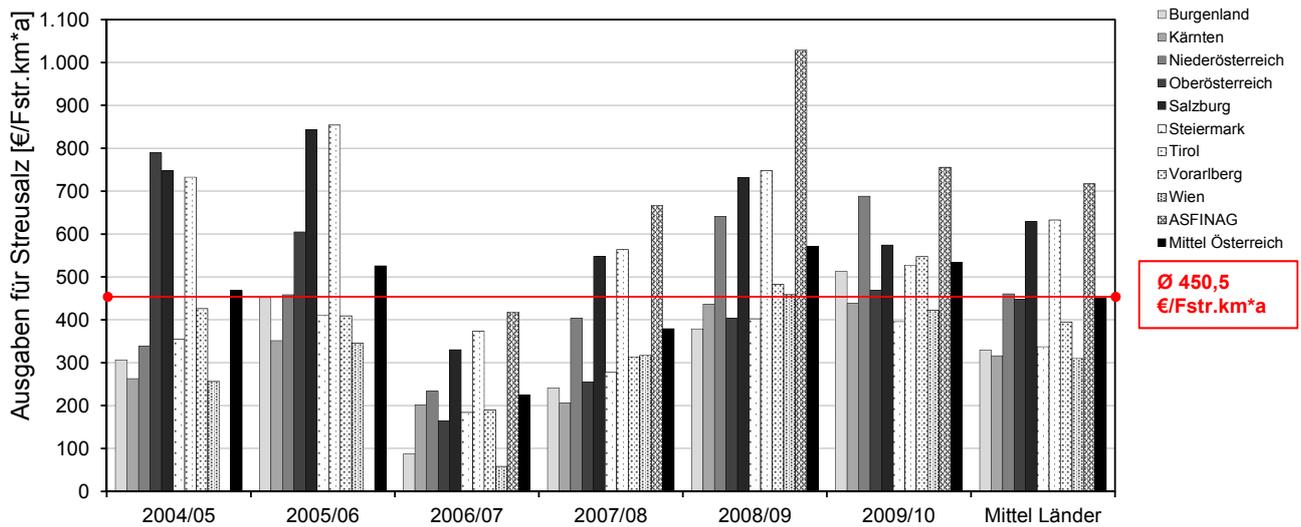


Abb. 15: Ausgaben für Streusalz der Länder je Saison in Euro je Fahrstreifenkilometer basierend auf jährlichen Salzverbrauchszahlen und Salzkosten von durchschnittlich 90 Euro pro Tonne

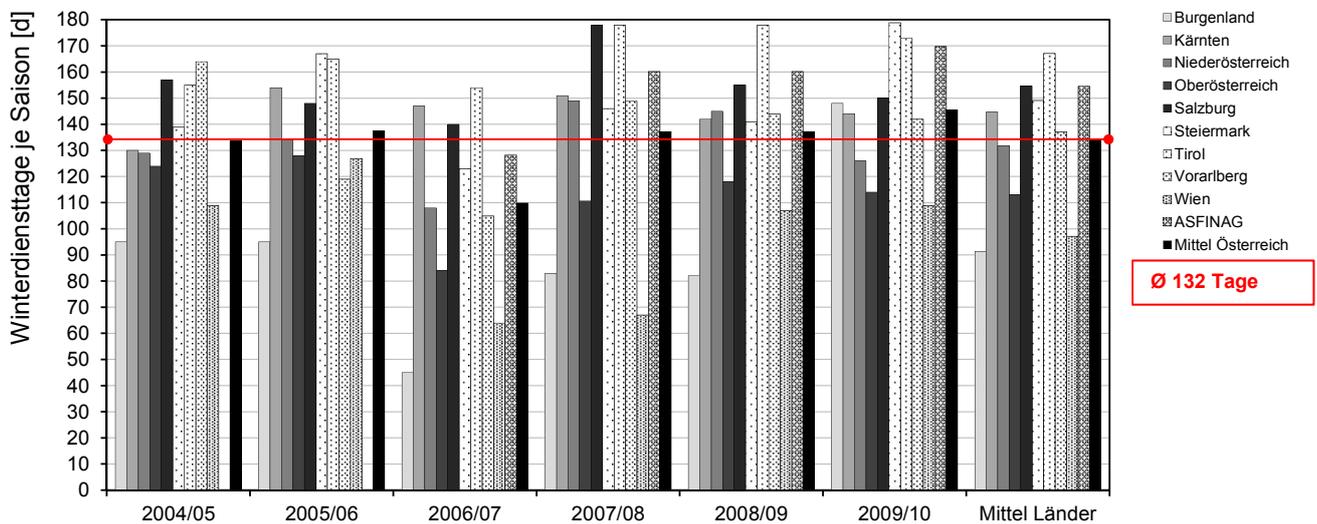


Abb. 16: Anzahl der Winterdiensttage je Winter getrennt nach Bundesländern bzw. ASFINAG

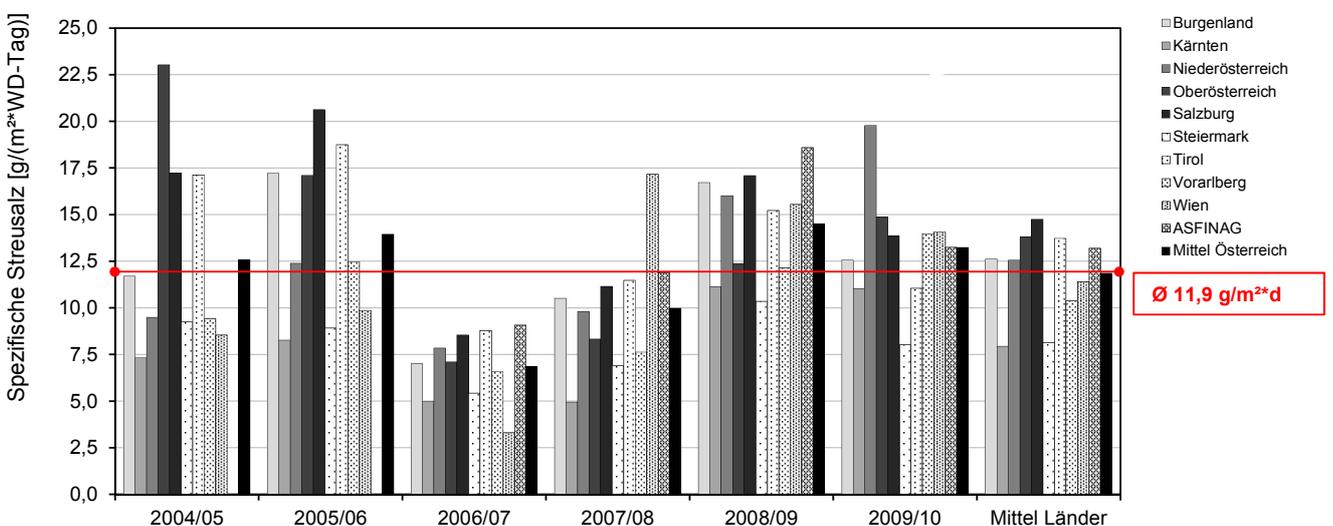


Abb. 17: Durchschnittliche tägliche Streumenge in Gramm je Winterdiensttag und Quadratmeter [g/m²\*d]

### 3.3 Wetterszenarien im Winterdienst

Zur Analyse des Winterdiensteinsatzes und der tatsächlich ausgebrachten Streumengen wurden 8 typische Wetterszenarien definiert und die Straßenmeistereien im Land Oberösterreich nach der minimalen und maximalen Auftrittshäufigkeit des Szenarios in einem typischen Winter sowie der jeweils ausgebrachten Streumenge befragt (Abb. 18). Dazu wurde gemeinsam mit FSV Arbeitsausschuss Winterdienst ein Fragebogen gestaltet, der von 20 Meistereien beantwortet wurde. Die Wetterszenarien 1 bis 8 waren dabei wie folgt definiert:

1. Trockener Tag ohne Minusgrade bzw. ohne Glättegefahr -  
Gewichteter Anteil Szenario 1 an Winterdiensttagen im Mittel 10%
2. Neuschnee mit leichtem bis mäßigem Schneefall von weniger als 5 cm pro Tag bzw. weniger als 0,5 cm in 3 Stunden und Temperaturen von mehr als  $-5^{\circ}\text{C}$  -  
Gewichteter Anteil Szenario 2 an Winterdiensttagen im Mittel 19%
3. Neuschnee mit starkem Schneefall mehr als 5 cm je Tag bzw. mehr als 0,5 cm in 3 Stunden -  
Gewichteter Anteil Szenario 3 an Winterdiensttagen im Mittel 14%
4. Neuschnee mit leichtem bis mäßigem Schneefall von weniger als 5 cm pro Tag bzw. weniger als 0,5 cm in 3 Stunden und Temperaturen von mehr als  $-5^{\circ}\text{C}$  inkl. Schneegestöber mit Verwehungen - Gewichteter Anteil Szenario 4 an Winterdiensttagen im Mittel 10%
5. Glättegefahr durch Reifbildung ohne Niederschlag (großes Temperaturgefälle Tag/Nacht 90% - 100% relative Luftfeuchtigkeit) -  
Gewichteter Anteil Szenario 5 an Winterdiensttagen im Mittel 16%
6. Plusgrade am Tag und Minustemperaturen in der Nacht mit Glättegefahr durch gefrierendes Schmelzwasser (Schneereste auf der Fahrbahn) -  
Gewichteter Anteil Szenario 6 an Winterdiensttagen im Mittel 17%
7. Glatteis durch gefrierenden Regen/Nieseln -  
Gewichteter Anteil Szenario 7 an Winterdiensttagen im Mittel 5%
8. Situation 2 bis 7 jedoch mit Temperaturen unter  $-10^{\circ}\text{C}$  -  
Gewichteter Anteil Szenario 8 an Winterdiensttagen im Mittel 9%

Die Wetterszenarien 2, 3, 5 und 6 machten gemäß der Befragung mit zusammen 66% den größten Anteil an den Winterdiensttagen aus. Die sinnvolle Streumenge für die Szenarien 5 und 6 liegen bei etwa  $10\text{ g/m}^2$ , während bei Schneefällen von mehr als 0,5 cm pro Stunde (Szenario 3) in der Regel erfolglos versucht wird, den gesamten fallenden Schnee zu tauen. Der geringe Unterschied zwischen Minimal- und Maximalanteil der einzelnen Wetterszenarien am Winter deutet auf eine gewisse Stabilität der durchschnittlichen Anteile hin. Die große Streuung der Angaben zeigt jedoch, dass das Wetter und seine Wahrnehmung von Straßenmeisterei zu Straßenmeisterei verschieden sind.

Neben den Wetterszenarien wurde auch die minimale und maximale Streumenge für das jeweilige Wetterszenario abgefragt. Die Gegenüberstellung des Anteils an Wetterszenarien während einer Wintersaison und den zugehörigen Streumengen ist in Abb. 18 zu sehen. Während die Abweichungen vom statistischen Mittel bei den minimalen Streumengen gering sind, nimmt diese bei maximalen Streumengen für dieselben Wetterszenarien deutlich zu. Die Interquartilsdistanz in der 50% der Werte liegen (grauer Block in der Abbildung) bleibt relativ stabil und wird vor allem durch die Ausreißer nach oben (erkennbar an den langen Linien) vergrößert. Die Lage der Interquartilsdistanz im unteren Bereich der Verteilung in Verbindung mit der großen Streuung zeigt jedoch auch, dass nur wenige Meistereien überdurchschnittlich viel Salz streuen. Die ausgebrachten Streumengen liegen dann aber sehr deutlich über dem Durchschnitt, wodurch der Weg zu gezielten Einsparungen auf Basis entsprechender Detailanalysen und Schulungen schon vorgezeichnet ist.

Eine Reduktion der hohen Streumengen in Richtung des Durchschnittes ist besonders in den Wetterszenarien 3 und 4 möglich, da hier selbst mit den maximalen Streumengen keine durchgehend schwarze Fahrbahn mehr erzielbar ist. Wenig Optimierungspotential hat das Wetterszenario 5 (Reifglätte), da die angegebenen Maximalstreumengen nur bei  $10\text{ g/m}^2$  liegen, was auch mit den Ergebnissen des Streumodells zusammenpasst (siehe Kap. 6.5). Durch eine verbesserte Überwachung des aktuellen Straßenzustands anhand von Sensoren oder Kameras kombiniert mit einer genauen Wetterprognose könnten die Szenarien deutlich exakter bestimmt und Streueinsätze bzw. Streumittel gezielter eingesetzt werden.

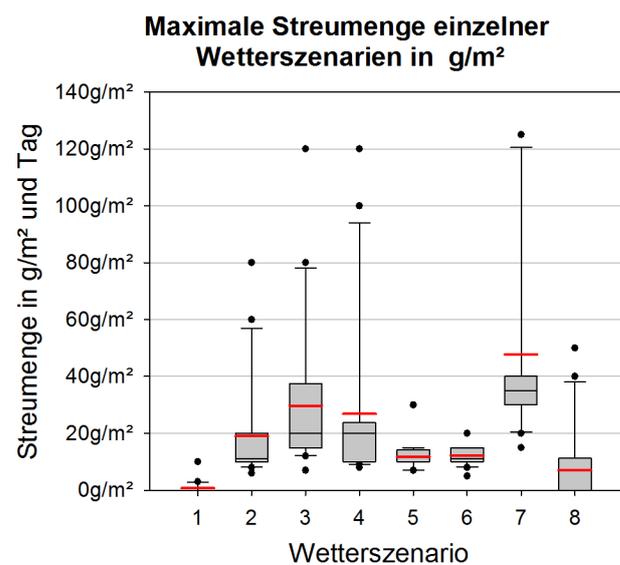
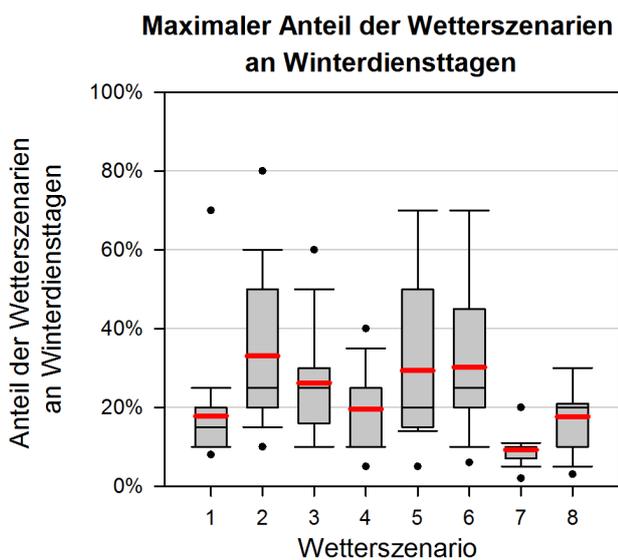
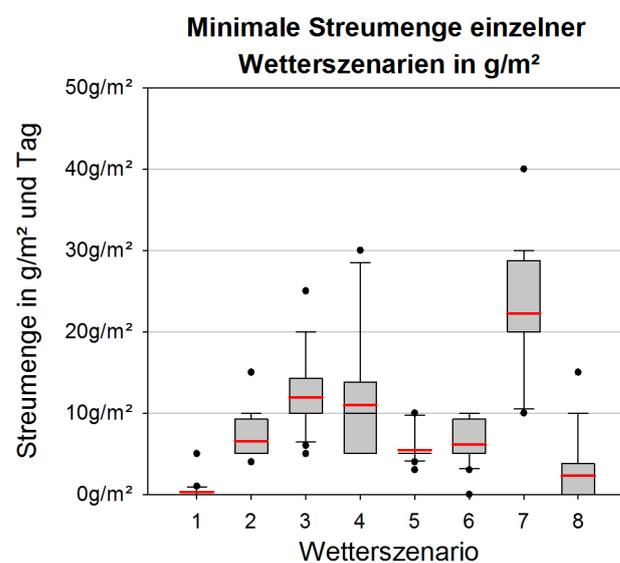
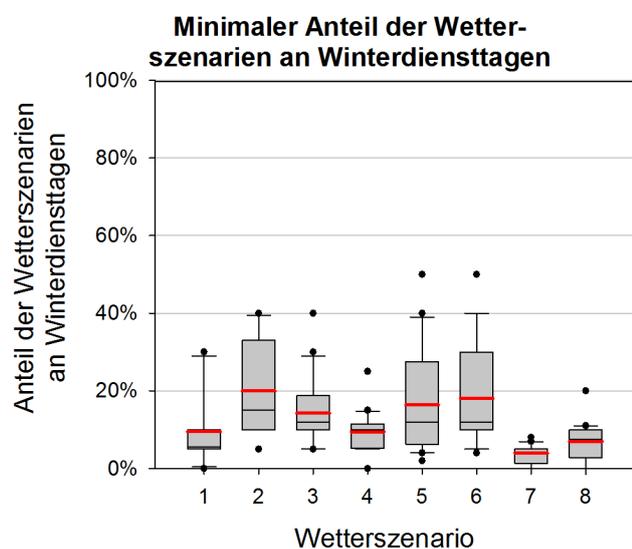
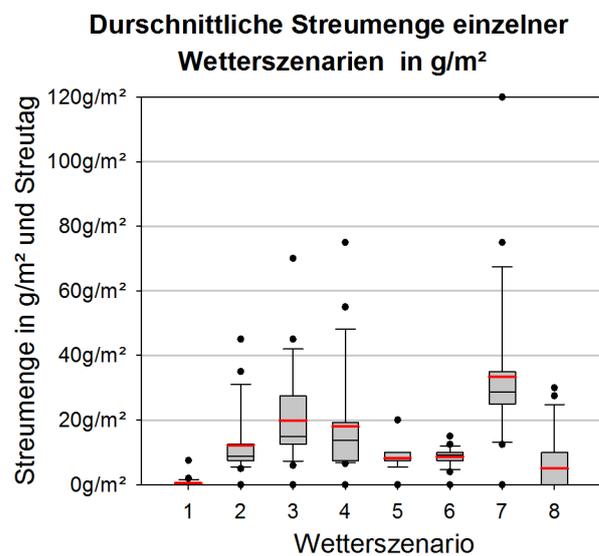
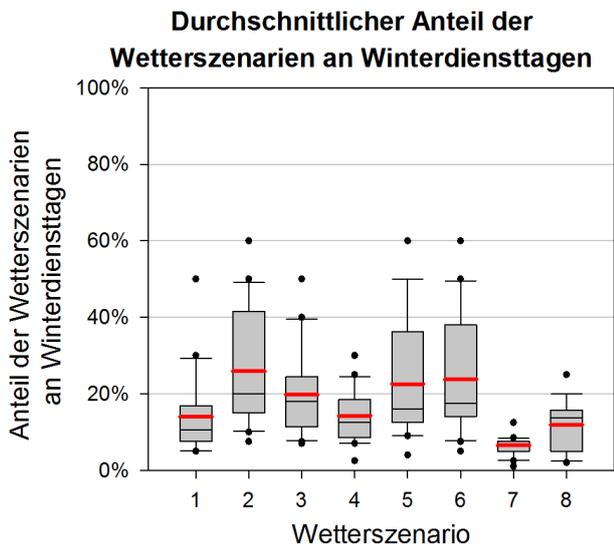


Abb. 18: Fragebogenauswertung der typischen Wetterszenarien und deren Häufigkeit sowie zugehörige minimalen, mittleren und maximalen Streumengen (n=20)

### 3.4 Häufigkeit und Intensität von Schneefallereignissen

Als Kontrolle und Ergänzung der Befragungen zu den Wetterszenarien im Winterdienst wurden die Wetterdaten von 01. November 2005 bis 31. März 2010 in Österreich näher betrachtet. Dazu erfolgte eine Auswertung der täglichen Schneefallmengen aus allen verfügbaren Wetterstationsdaten im betreffenden Zeitraum nach Höhenlage, mittlerer Tagestemperatur und Schneefallmenge. In Abb. 19 sind die relativen Häufigkeiten der Schneefallereignisse als Mittelwert aus den betreffenden Wintersaisons dargestellt:

- **Höhenlage 0 - 300 m:**

Die Auswertung der mittleren Schneefallmenge nach Temperatur & Häufigkeit sowie Höhenlage von 0 – 300 m in Österreich zeigt die typische Situation im Flachland und Tallagen. Pro Winter kann mit Ø 11,4 Schneefalltagen das sind 7,5% der Wintertage von 01. Nov - 31. März gerechnet werden. Die mittlere Schneefallmenge je Schneefalltag liegt bei Ø 3,77 cm Neuschnee. Extreme Schneefallereignisse >10 cm/Tag kommen davon in 5,9% der Fälle oder ca. 1 mal alle 1,4 Jahre vor. Schneefälle bei extrem tiefen Temperaturen <-10°C sind mit 1,7% der Fälle bzw. einmal alle 5 Jahre noch seltener.

- **Höhenlage 300 - 600 m:**

Die Auswertung der mittleren Schneefallmenge nach Temperatur & Häufigkeit sowie Höhenlage von 300 – 600 m in Österreich zeigt die typische Situation in Hochtälern und Hügelland. Pro Winter kann mit Ø 18,5 Schneefalltagen das sind 12,14% der Wintertage von 01. Nov - 31. März gerechnet werden. Die mittlere Schneefallmenge je Schneefalltag liegt bei Ø 4,89 cm Neuschnee. Extreme Schneefallereignisse >10 cm/Tag kommen davon in 10,8% der Fälle oder 2 mal pro Jahr vor. Schneefälle bei extrem tiefen Temperaturen <-10°C sind mit 1,0% der Fälle bzw. ca. 1 mal alle 5 Jahre noch seltener.

- **Höhenlage 600 - 900 m:**

Die Auswertung der mittleren Schneefallmenge nach Temperatur & Häufigkeit sowie Höhenlage von 600 – 900 m in Österreich zeigt die typische Situation in hoch gelegenen Gebieten bis hin zu niedrig gelegenen Pässestraßen und Zufahrtsstraßen zu Skigebieten. Pro Winter kann mit Ø 25,5 Schneefalltagen das sind 16,72% der Wintertage von 01. Nov - 31. März gerechnet werden. Die mittlere Schneefallmenge je Schneefalltag liegt bei Ø 6,32 cm Neuschnee. Extreme Schneefallereignisse >10 cm/Tag kommen davon in 16,8% der Fälle oder pro Jahr ca. 4,3 mal vor. Schneefälle bei extrem tiefen Temperaturen <-10°C sind mit 1,1% der Fälle bzw. ca. 1 mal alle 3,5 Jahre noch seltener.

Die Analyse der Schneefalltage im Zeitraum 1. November bis 31. März der letzten fünf Jahre in Österreich zeigt, dass sich die Temperaturen bei hohen Niederschlagsmengen in Tallagen (0 - 300 m) meist in einem Bereich von +2°C bis -2°C bewegt (Abb. 19 oben). Auch bei höheren Lagen trifft dies weitgehend zu, wobei die mittlere Schneefallmenge, Häufigkeit und Intensität deutlich zunimmt und stärkere Schneefälle auch noch bei tieferen Temperaturen auftreten. Extremschneefallereignisse gemäß RVS 12.04.12 mit mehr als 10 cm Neuschnee kommen je nach Höhenlage im Schnitt zwischen 1 - 5x pro Winter vor. Noch seltener sind Schneefälle bei extremen Minusgraden von weniger als -10°C, die im Schnitt nur einmal alle 3 - 5 Jahre auftreten. Bei mittleren Tagestemperaturen von weniger als -5°C werden Starkschneefalltage deutlich seltener, was sich mit dem geringen Anteil an Tagen mit sehr hohem Streumittelinsatz deckt.

Tiefere Temperaturen sind vor allem in Hinblick auf die Wirksamkeit auftauender Streumittel problematisch, da wesentlich mehr Taumittel erforderlich ist um die gleiche Tauwirksamkeit zu erzielen. Szenarien im Winterdienst, bei denen Kalziumchlorid oder Magnesiumchlorid aufgrund der tiefen Temperaturen Vorteile aufweisen, sind in Österreich vergleichsweise selten, weshalb das Streuen von Natriumchlorid in der Regel ausreicht. Große Schneefallmengen treten hingegen in Temperaturbereichen auf, in denen NaCl eine große Tauwirkung hat und die Straße gut befahrbar gehalten werden können. Ausgenommen sind dabei sehr intensive Schneefallereignisse kurzer Dauer oder Starkschneefälle >10 cm Schnee pro Tag.

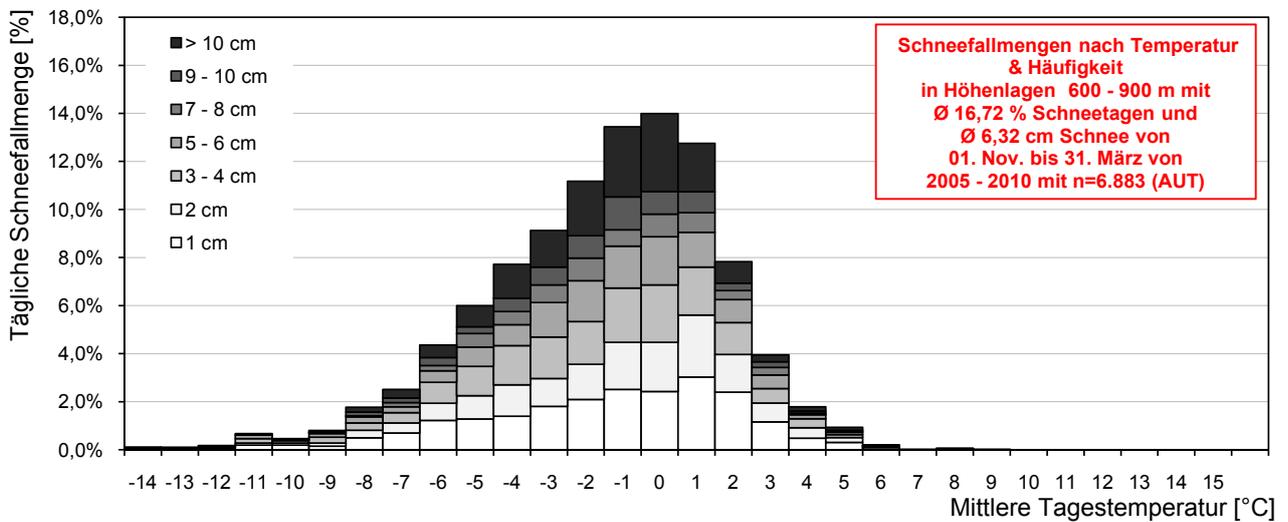
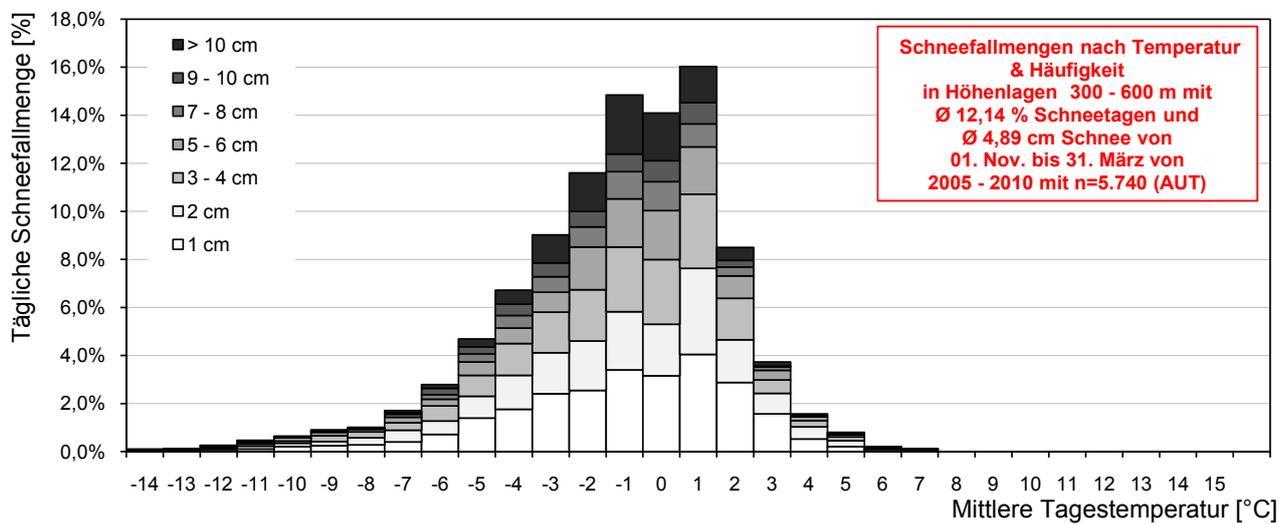
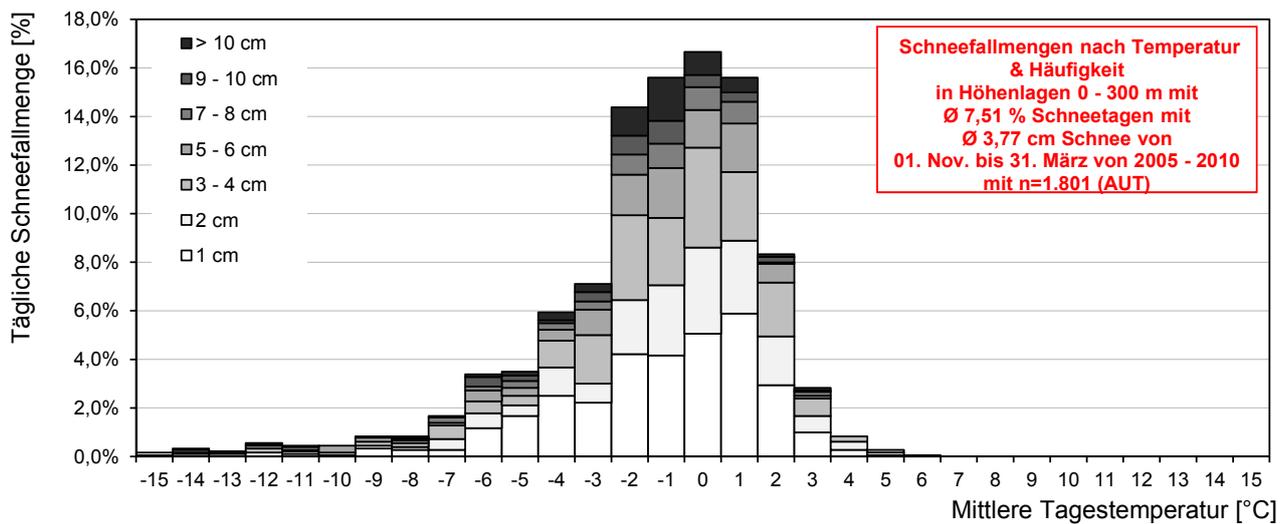


Abb. 19: Auswertung der Schneefallereignisse in Österreich je Wintersaison nach Höhenlage, mittlerer Tagestemperatur und Schneefallmenge vom 01. November 2005 bis 31. März 2010

### 3.5 Schneefallmenge VS Salzverbrauch auf Landesstraßen

Für die Evaluierung des Winterdienstes wurden im Land Oberösterreich die Daten über den täglichen Salzverbrauch und die tägliche Schneefallmenge aufgezeichnet. Aus der Gegenüberstellung der durchschnittlichen täglichen Streumenge mit den täglichen Neuschneehöhen ergeben sich die Summenkurven für die Schneefallhöhe und den Salzverbrauch (Abb. 20). Im konkreten Beispiel sind für die Daten des Landes OÖ der Periode von 1.12.2009 bis 31.3.2010 die Ergebnisse an den 121 Winterdiensttagen dargestellt. Die Auswertung zeigt, dass an mehr als 50% der Tage praktisch kein Niederschlag fällt und demgemäß die Wetterszenarien 1, 5 oder 6 vorherrschen. Für diese Szenarien werden gemäß der Summenkurve des Salzverbrauchs aber bereits 20% des Jahressalzverbrauchs gestreut.

Demgegenüber stehen 17% der Tage oder 20,5 Schneefalltage mit Schneefallmengen von mehr als 2 cm, an denen jedoch ca. 40% des Jahressalzverbrauches ausgebracht werden. Tägliche Schneefallmengen von mehr als 5 cm kommen an nur mehr 6% der Tage (7,3 Schneefalltage) vor, sind aber für 20% des Jahressalzverbrauchs verantwortlich. Anders ausgedrückt steigt die täglich ausgebrachte Salzmenge auf Landesstraßen in Oberösterreich von 437 Tonnen pro Tag bei 0 bis 2 cm Schneefall (0,073 t/km) auf 1.301 Tonnen pro Tag bei 2 bis 5 cm (0,217 t/km) und 1.564 Tonnen pro Tag bei mehr als 5 cm täglicher Schneefallmenge an (0,261 t/km). Der Maximalwert lag in diesem Winter bei 2.837 Tonnen ausgebrachtes Streusalz an einem einzigen Tag (0,474 t/km).

Die direkte Gegenüberstellung der einzelnen Schneefallhöhen an den Schneefalltagen mit der Streumenge in g/m<sup>2</sup> gemäß Abb. 21 zeigt, wie die Streumengen bei größeren Schneefallmengen zunehmen. Während die Streumenge an Tagen ohne Schneefall bei Ø 10 g/m<sup>2</sup> liegt (Szenarien 1,5 und 6), steigt dieser Wert auf Ø 20 g/m<sup>2</sup> bei Schneefallmengen über 2 cm/Tag, Ø 35 g/m<sup>2</sup> bei Schneefallmengen über 5 cm/Tag und Ø 60 g/m<sup>2</sup> bei Schneefallmengen über 10 cm/Tag. Bemerkenswerter als der direkte Zusammenhang zwischen Schneefallmenge und Streumenge ist jedoch die große Bandbreite der Streumengen bei gleicher Schneefallmenge. So zeigt das 95% - Konfidenzintervall z.B. bei Schneefallmengen von 2 cm eine Bandbreite von 0 - 46 g/m<sup>2</sup>, bei 5 cm von 8 - 62 g/m<sup>2</sup> und bei 10 cm von 33 - 87 g/m<sup>2</sup>.

Aus der Analyse der Tauwirkung nach Temperatur (vgl. Kap. 2.2.1) und den Schneefallereignissen (vgl. Kap. 3.4) lässt sich ein Teil der Bandbreite der Streumengen über die unterschiedlichen Temperaturen an den Schneefalltagen erklären. Die Erfahrungen aus den Winterdienstschulungen sowie die Bandbreite der Streumengen aus der Befragung (vgl. Kap. 3.3) bzw. der vorliegenden Auswertung lassen aber eher auf eine subjektiv - erfahrungsbasierte Streumengenwahl schließen. Diese führt dazu, dass sich jeder Winterdienstfahrer sicher währt, die richtige Dosierung der Streumenge bis hin zu einer Maximalmenge von 40 g/m<sup>2</sup> Taumittel je Streudurchgang eingestellt zu haben. In der Wahrnehmung der Fahrer kann beides richtig sein, wenn z.B. 10 g/m<sup>2</sup> Streumenge ausreichen, wird auch mit 20, 30, oder 40 g/m<sup>2</sup> das gleiche Ergebnis erzielt. Weiters besteht eine generelle Tendenz mehr Salz als notwendig zu streuen, da bisher keine genauen Vorgaben verfügbar waren und sich mit dieser Strategie aus Sicht der Winterdienstfahrer allfällige rechtliche Probleme eher vermeiden lassen.

Ein weiteres Indiz für diesen subjektiv erfahrungsbasierten Winterdienst stellt die große Bandbreite der Streumengen an Winterdiensttagen ohne Schneefall (Szenarien 1,5 und 6) von 0 - 37 g/m<sup>2</sup> für den 95% Konfidenzintervall dar. Während für Szenario 1 „Trockener Tag ohne Minusgrade bzw. ohne Glättegefahr“ in der Regel keine Streuung erforderlich ist, so ist für die Szenarien 5 „Reifbildung“ sowie 6 „Schmelzwasser“ in der Regel eine Präventivstreuung von 10 g/m<sup>2</sup> bzw. eine ergänzende lokale Streuung an Problemstellen ausreichend. Tatsächlich liegt jedoch ein erheblicher Anteil der typischen Streumengen über diesem Wert.

Aufgrund der Datenunschärfe und der Auswertung über das gesamte Landesgebiet ist mit diesem Ansatz bei Schneefalltagen geringer (ca. 1 - 2 cm/Tag) bis mittlerer Stärke (ca. 2 - 5 cm/Tag) ein mögliches Optimierungspotential schwer nachweisbar. Ein nachweisbares Potential besteht aber an den wenigen Schneefalltagen mit großen (5 - 10 cm/Tag) bzw. extremen Schneefallmengen, da hier an rund 7 Tagen insgesamt 20% der Salzstreumenge eines Winters ausgebracht werden. Ausgehend von der begrenzten Tauwirkung von Streusalz und möglicherweise etwas reduzierter Streuintensität könnten hier Einsparungen ohne wesentlichen Qualitätsverlust erzielt werden. Dasselbe gilt auch für die Szenarien 1,5 und 6 ohne Schneefall, bei denen durch eine Begrenzung der Streumenge auf max. 10 g/m<sup>2</sup> ebenfalls beträchtliche Einsparungen erzielbar sind.

Eine solche Optimierung der Streustrategie durch gezielte Streumengenbegrenzung an schneefreien Winterdiensttagen sowie Reduktion der Streumengen an Tagen mit starken bis extremen Schneefallereignissen erscheint bei entsprechender Schulung und Wetterbeobachtung als machbar. Weiters ist mit den gezeigten Ansätzen ein Vergleich der Streumengen im Sinne eines Benchmarking für unterschiedliche Meistereien auch dann möglich, wenn sich ihr Netz in nicht vergleichbaren Gebieten und Höhenlagen befindet.

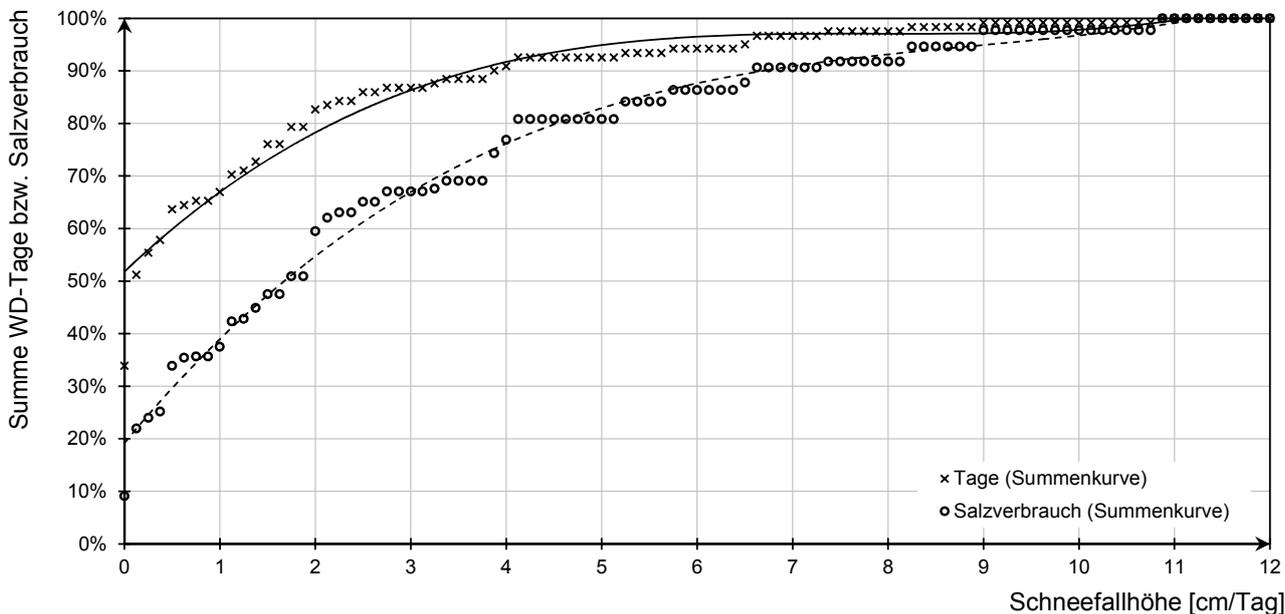


Abb. 20: Summenkurve von Salzverbrauch und Schneefallhöhe nach Winterdiensttagen im Land OÖ 2009/10  
 Gesamte WD-Tagen = 121, gesamtter Salzverbrauch 73.345 t

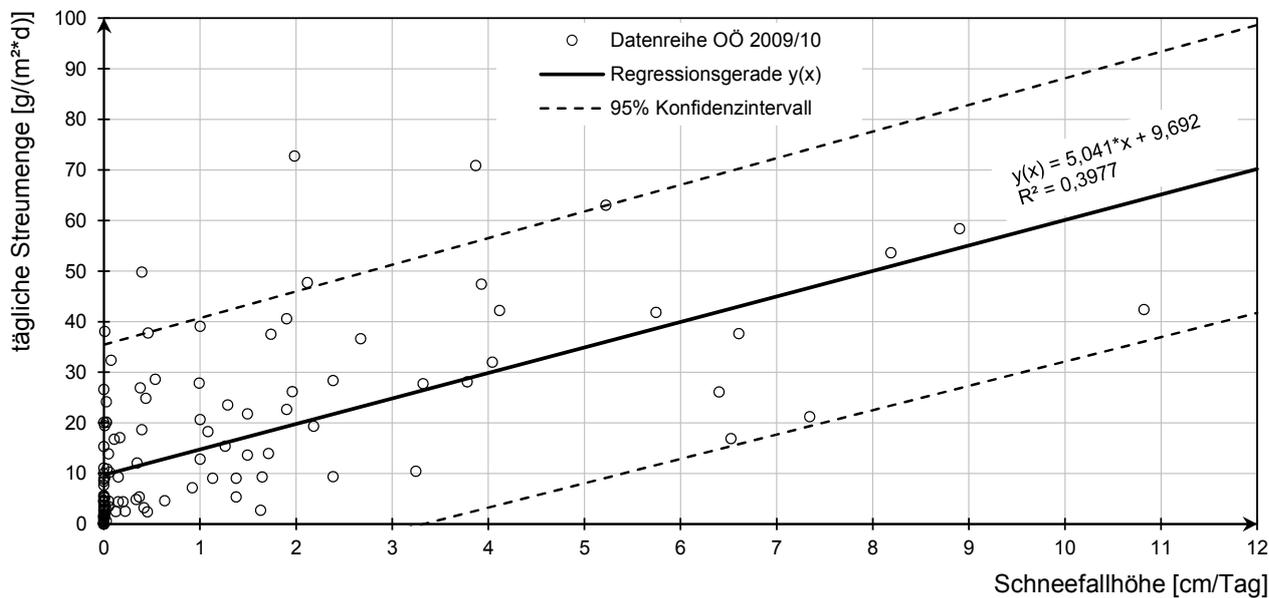


Abb. 21: Streumenge in g/m² und Tag je Schneefallhöhe in cm pro Tag im Winter 2009/10 in Oberösterreich mit Regressionsgeraden und 95% Konfidenzintervall



## **4. Laborversuche Tauwirkung**

### **4.1 Prüfbedarf**

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde das in Kapitel 2.7 skizzierte Streumodell ausgearbeitet und die dargestellten Zusammenhänge untersucht. Der Schwerpunkt im Rahmen dieses Forschungsprojektes lag in der Entwicklung von Laborversuchen zu den Modulen Restsalzmenge und Gefrierpunkte von Solen. Um die Ergebnisse der Versuche in eine Berechnung einbeziehen zu können, war eine mathematische Beschreibung der gefundenen Zusammenhänge erforderlich. Zur Versuchsdurchführung wurde daher ein modifizierter Klimaschrank für das Labor des Instituts für Verkehrswissenschaften angeschafft. Mit diesem ist ein Hantieren mit den Proben innerhalb des Schrankes ohne Öffnen der Türe und damit ohne Veränderung der Innentemperatur möglich, wodurch erst eine entsprechende Wiederholgenauigkeit z.B. für Tau- und Gefrierversuche gewährleistet ist.

#### **4.1.1 Gefrierpunkt – Solenkonzentration – Verläufe**

Die in der Literatur dargestellten Gefrierpunktverläufe weisen einen Anstieg des Gefrierpunktes bei zunehmender Konzentration im Bereich der Übersättigung auf, der nicht nachvollziehbar ist und durch ein Versuchsprogramm zu Gefrierpunkt -Solenkonzentrations-Verläufen überprüft werden soll. Zudem wurden für einige Taumittel von den Herstellern nicht nachvollziehbare Ergebnisse präsentiert, die unabhängig überprüft werden sollten. Ziel war es, den Zusammenhang Gefrierpunkt-Solekonzentration als Information für Winterdienstmitarbeiter grafisch darzustellen sowie mathematisch zu beschreiben, um eine Eingliederung ins Rechenmodell zu ermöglichen. Die Versuche wurden zu Vergleichszwecken mit verschiedenen Taumitteln durchgeführt, um Aussagen über die Frostgefahr in den Soletanks der Fahrzeuge bei tiefen Temperaturen bzw. die zur Vermeidung der Frostgefahr notwendige Solekonzentration treffen zu können.

#### **4.1.2 Tauwirksamkeit**

Mit Hilfe des Klimaschranks sollten neue Versuchsmethoden entwickelt werden, mit denen die Tauwirksamkeit verschiedener Tausalze bestimmbar bzw. der Unterschied der Tauwirksamkeit in Abhängigkeit von der Korngröße ermittelbar ist. Dabei ging es vor allem darum, wie schnell ein Taumittel wirkt und wie lange es seine Tauwirkung beibehält. Diese Untersuchungen betreffen den Trockenanteil der Feuchtsalzstreuung, der in der Regel 70% des ausgebrachten Streugutes ausmacht. Wichtig ist diese Erkenntnis vor allem für die Abschätzung der Zeitspanne von der Ausbringung des Streumittels über das Einsetzen der Tauwirkung bis zur vollen Wirkungsentfaltung auf der Straße. Wichtig bei den Versuchen mit festen und flüssigen Taumitteln war eine praxisgerechte Versuchsanordnung, um eine Anwendbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen.

Ein weiterer zu untersuchender Punkt war die Untersuchung der Wirksamkeit unterschiedlich gesättigter Natriumchloridsolen durch die Mitwirkung von „freiem Wasser“ in der chemischen Reaktion. Gemäß bestehender Schulungsunterlagen [MÜHLBERGER, 2007] reagiert nämlich eine weniger gesättigte Sole schneller als eine vollständig gesättigte, wodurch eine raschere Enteisung der Straße ermöglicht werden soll. Zur Vervollständigung des Gesamtbildes wurde auch die häufig angewendete CaCl-Sole in die Versuche einbezogen.

#### **4.1.3 Tauwirkung**

Für praxisrelevante Aussagen ist die Tauwirksamkeit (getaute Eismenge pro Zeiteinheit) in Kombination mit der Tauwirkung (Eindringung und Taubild) bedeutend, die nach Möglichkeit durch den gleichen Versuch untersucht werden sollen, um nahe an der Praxis zu bleiben. Die Tauwirkung ist von hoher Bedeutung für Fälle von bestehenden Schnee- oder Eisflächen, die nur schwer durch das Aufbringen von Salz allein entfernt werden können. Erkenntnisse über Tauwirksamkeit und Tauwirkung können zu einem gezielten Einsatz ausgesuchter Taumittel und Körnung für die rasche Entschärfung dieser gefährlichen Situationen beitragen.

## 4.2 Sieblinie

Die Sieblinien aller für den Winterdienst relevanten Salzarten wurden im Labor der TU Wien mittels eines Vibrationssiebes bestimmt. Dies hat einerseits mit den Bestimmungen der RVS 12.04.16 zu tun, die konkrete Vorgaben an die Korngrößenverteilung von Streusalzen macht, andererseits mit den aus vorangegangenen Untersuchungen [BADEL 2007] bekannten Unterschieden zwischen fein- und grobkörnigem Salz.

Die getesteten Salzarten waren:

- Siedesalz (Salinen Austria)
- Steinsalz (keine Ausschreibung nach RVS 12.04.16)
- Steinsalz gemäß Ausschreibung RVS (ESCO)
- Meersalz
- Salz aus industrieller Produktion

Die Versuche zeigen eine sehr eng gestufte Sieblinie bei Siedesalz mit einer mittleren Korngröße von 0,5 mm. Im Gegensatz dazu hat handelsübliches Steinsalz schon augenscheinlich eine weit gestufte Sieblinie. Nur das im Winter 2010/2011 aufgrund der Salzknappheit verwendete Meersalz wies einen noch größeren maximalen Korndurchmesser auf. Laut RVS 12.04.16 darf der Anteil an Körnern mit einem Durchmesser von 3,15 mm 5 Masse% nicht überschreiten, was auch für den Feinanteil von Körnern unter 0,125 mm gilt. Ein Größtkorn von mehr als 5 mm Durchmesser ist generell nicht zulässig. Das vorliegende Meersalz scheidet gemäß RVS schon aufgrund der nicht eingehaltenen Sieblinie als reguläres Taumittel aus bzw. muss noch nachbehandelt werden, um den Richtlinien zu entsprechen. Neben der nicht eingehaltenen Sieblinie zeigte sich auch ein zu hoher Feuchtigkeitsgehalt von 3,16% bei einem maximalen Grenzwert von 0,5% gemäß RVS 12.04.16.

Ein Vergleich der Sieblinien der getesteten Salze ist in Abb. 22 enthalten, bei dem sich die eng gestufte Sieblinie von Siedesalz bzw. Salz aus Industrieanlagen deutlich zeigt. Diese beiden Salztypen werden als „feine“ Salze verstanden, die eine gleichmäßigere Ausbringung am Streuteller erlauben. Während bei Siedesalz nur wenige leistungsfähige Lieferanten am Markt sind, finden sich eine größere Zahl an Anbietern für Steinsalz, was vor allem bei Engpasssituationen und den damit verbundenen Preissteigerungen von Bedeutung sein kann. Die Sieblinie ist nur eine von zahlreichen Anforderungen die gem. RVS 12.04.16 an Tausalze gestellt werden, um einen Vergleich verschiedener Anbieter auf Basis eines definierten Qualitätsstandards ermöglichen. Weiters ist auf dieser Basis erstmals auch eine Überprüfung der gelieferten Qualität möglich, wodurch sich vertragsrechtlich Vorteile ergeben.

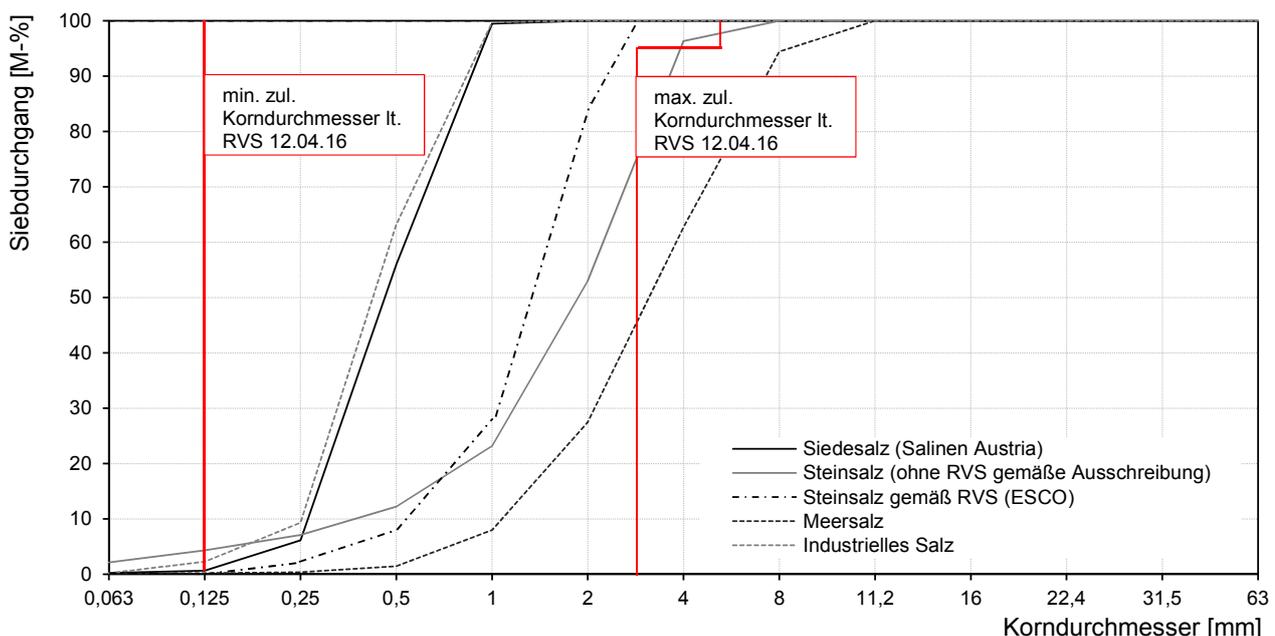


Abb. 22: Sieblinien von Natriumchlorid verschiedener Hersteller und Grenzwerte gemäß RVS 12.04.16

## 4.3 Gefrierpunkt und eutektisches Diagramm

### 4.3.1 Zielsetzung

Das Ziel dieser Versuche ist die Ermittlung des Gefrierpunktes von Salzlösungen in Abhängigkeit von ihrer Konzentration. Weiters soll anhand der ermittelten Messpunkte ein Diagramm für den Zusammenhang Gefrierpunkt - Solekonzentration abgeleitet werden. Von besonderem Interesse ist der Bereich der Übersättigung der Salzlösung, d.h. jener Konzentrationsmenge, ab dem keine weitere Gefrierpunktabenkung möglich ist. Ab dieser vollständigen Sättigung (Eutektischer Punkt) wird in der Literatur vielfach ein Anstieg des Gefrierpunktes angegeben [z.B. DURTH et. al., 2004], der logisch nicht nachvollziehbar ist. Dieser Bereich beginnt im Falle von Natriumchlorid bei einer Konzentration von 23,4 % und für Calciumchlorid bei 29,9 %. Zur Überprüfung werden Versuche mit übersättigter Sole durchgeführt, um den Verlauf der eutektischen Kurve auch im übersättigten Bereich zu bestimmen. Aufgrund der Anforderung einer mathematisch zuverlässigen Beschreibung ergibt sich zusätzlich eine notwendige Mindestanzahl an Versuchen bzw. Messpunkten. Alle Versuche wurden sowohl für Natriumchlorid und Calciumdichlorid, als auch Safecote in der bei der Streuung verwendeten Konzentration sowie unverdünnt durchgeführt. Erst eine genaue Kenntnis dieser Eigenschaft schafft die Grundlage für eine gezielte Dosierung der Streumengen und der Beschreibung von Zusammenhängen im Streu-Modell.

### 4.3.2 Geräte, Prüfgüter und Prüfprogramm

Diese Versuche werden in einem modifizierten Klimaschrank der Firma Karg (MKF720) durchgeführt, bei dem eine ungestörte Versuchsdurchführung über zwei Eingriffsöffnungen mit eingebauten Gummihandschuhen möglich ist. Der Klimaschrank weist einen frei regulierbaren Temperaturbereich von  $-50^{\circ}\text{C}$  bis  $+80^{\circ}\text{C}$  und einen Luftfeuchtigkeitsbereich von 10% bis 100% auf. Er ist mit zwei Kombinationsfühlern für Temperatur und Luftfeuchtigkeit sowie angeschlossenem Datenlogger ausgestattet. Für die Temperaturbestimmung der Probekörper sind weitere acht Temperaturfühler und zwei 4-Kanal Datalogger vorgesehen, die ein minimales Aufzeichnungsintervall von 16 Sekunden zulassen.



Abb. 23: Klimaschrank mit Eingriffshandschuhen und Sichtfenster, Innenmaße: 1200x1020x600

Zur Herstellung der Proben der NaCl-Sole wurde Siedesalz der Salinen Austria in 9 Konzentrationsstufen von 0% bis 23,4 Masse% in Lösung mit Leitungswasser verwendet um praxisnahe Ergebnisse zu erzielen. Die Wasserhärte wird von den Wiener Wasserwerken mit 6-11°dH angegeben. Vergleichsmessungen mit destilliertem Wasser ( $\sim 1^{\circ}\text{dH}$ ) zeigen keine erkennbaren Abweichungen bzw. liegen im Bereich der Messgenauigkeit von etwa  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Zur Untersuchung der Übersättigung wurden weitere Versuche mit 25%, 27% und 29% Solesättigung gefahren. Bei der Calciumchloridlösung wurde die Solekonzentration der gebrauchsfertigen Sole mit 25% durch Bestimmung der Trockenmasse ermittelt und die erforderlichen Konzentration, die alle unter 25% liegen, durch ein Verdünnen der CaCl-Sole mit Leitungswasser hergestellt. Die in der Praxis übliche Mischung von Safecote liegt bei 10% Safecoteanteil in der Sole, die wiederum aus 23% Natriumchlorid und 77% Wasser besteht. Zusätzlich wurde auch reines Safecote in Verdünnung mit Wasser mit Konzentrationen in 10%-Schritten von 0% - 100% verwendet.

### 4.3.3 Vorgehensweise

Die Mischungsverhältnisse der einzelnen Proben werden auf Basis der Berechnung auf einer Waage mit 0,01g Genauigkeit in Plastikflaschen mit 0,5 l Inhalt bei Raumtemperatur zusammengemischt. In diese Flaschen werden durch eine Öffnung im Deckel die Temperaturfühler eingesteckt und fixiert, um eine zuverlässige Messung in Probenmitte zu gewährleisten (Abb. 24). Die gemessenen Temperaturwerte werden mit einem Datenlogger aufgezeichnet, um sie später auf dem PC analysieren zu können.

Danach werden die Proben in den Klimaschrank gestellt, in dem der Abkühlungsprozess der Proben bei einer konst. Temperatur von  $-45^{\circ}\text{C}$  im Klimaschrank beobachtet wird. Mit Hilfe der Datenlogger - Software kann der zeitliche Temperaturverlauf in den Proben ermittelt werden. Der Gefrierpunkt für die jeweilige Solekonzentration kann anhand des charakteristischen Halteplateaus ermittelt werden. Dieses Halteplateau entsteht aufgrund des notwendigen Energieaufwandes zur Bildung von Eiskristallen. Erst nach dem vollständigen Durchfrieren der Probekörper sinkt die Temperatur weiter ab, bis die Innentemperatur des Klimaschranks von  $-45^{\circ}\text{C}$  erreicht wird.

In Abb. 25 sind die Temperaturverläufe einer 14,63 %-igen und zweier 17,55-%iger NaCl-Lösungen dargestellt, bei denen das Halteplateau deutlich erkennbar ist. Bei der 14,63-%igen Lösung (blaue Kurve) kann ein „Supercooling“-Effekt beobachtet werden. Dieser Effekt bezeichnet ein kurzfristiges Absinken der Temperatur in der Probe unter den Gefrierpunkt, ohne dass die Probe gefriert. Für das Gefrieren bzw. die Änderung des Aggregatzustands ist in der Regel ein Kristallisationsansatz notwendig. Sind diese Kristallisationsansätze nicht vorhanden, so kann eine Kristallisation und damit die Aggregatzustandsänderung nicht unmittelbar eintreten. Zum Ausgleich von Messungenauigkeiten wurde der Gefrierpunkt für jede Konzentration drei Mal bestimmt und das Eutektische Diagramm (Regression) berechnet.

#### 4.3.4 Ergebnis der Gefrierversuche

Mathematisch können die Kurven bis zum Eutektikum mittels eines Polynoms dritter Ordnung mit sehr guter Übereinstimmung bzw. einem Bestimmtheitsmaß  $R^2$  größer 0,99 bestimmt werden. Bei Übersättigung erfolgt die Annäherung mit ebenso hoher Übereinstimmung durch eine horizontale Linie. Die Ergebnisse der Versuche mit Natriumchlorid und Kalziumchlorid samt den zugehörigen Formeln sind in Abb. 26 enthalten. Die Ergebnisse für reines Safecote mit einer Konzentration von 0 - 100% sowie als Mischung mit 10% Anteil in einer 23% NaCl - Sole ebenfalls im selben Verdünnungsbereich sind in Abb. 27 dargestellt. Die mathematische Funktion wurde nach derselben Methode wie schon bei NaCl und  $\text{CaCl}_2$  bestimmt und weist mit einem  $R^2$  von über 0,997 ebenfalls eine hohe Übereinstimmung auf.

Der Gefrierpunktsverlauf von Safecote und NaCl-Sole in Abb. 27 ist praktisch identisch mit jenem von reiner NaCl-Sole in Abb. 26. Dies bedeutet im Wesentlichen, dass der Gefrierpunkt von NaCl - Sole durch Zugabe von geringen Mengen ( $\leq 10\%$ ) Safecote mit einem ermittelten Gefrierpunkt von  $-32,6^{\circ}\text{C}$  (100% Konzentration) nicht nennenswert absenkbar ist. Die ermittelten Werte werden auch durch weitere unabhängige Untersuchungen der MAPAG im Auftrag der ASFINAG bestätigt. Der vom Hersteller u.a. auf Basis von HAGAN (2006) angegebene Gefrierpunkt von reinem Safecote bei  $-72,5^{\circ}\text{C}$  kann jedenfalls in keiner Weise durch die gegenständlichen Versuche nachvollzogen werden.

Ein merkbarer Unterschied zwischen Solen aus reinem Safecote und NaCl-Sole (23%) mit 10% Safecotebeimengung tritt erst ab 50% Konzentration ein und steigert sich auf  $-32,6^{\circ}\text{C}$  für reines Safecote gegenüber  $-22,6^{\circ}\text{C}$  für NaCl-Sole (23%) mit 10% Safecoteanteil. Berücksichtigt man die realen Gegebenheiten der Feuchtsalzstreuung FS30, so macht der Safecoteanteil nur ca. 3% des ausgebrachten Streugutes aus. Die Beimengung von Safecote in den üblichen angegebenen Mengen bewirkt keine zusätzliche Gefrierpunktabenkung. Eine höhere Dosierung mit einer den Gefrierpunkt absenkender Wirkung ist hingegen aufgrund der Mehrkosten für Safecote aus ökonomischer Sicht kaum vertretbar.



Abb. 24: 3 Probekörper mit definierter Solekonzentration und Messfühler im Klimaschrank

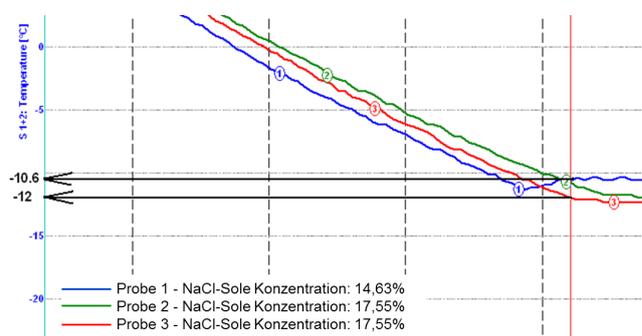


Abb. 25: Gefrierpunktbestimmung mit Haltepunkten (Software ElproLOG ANALYZE 3.62)

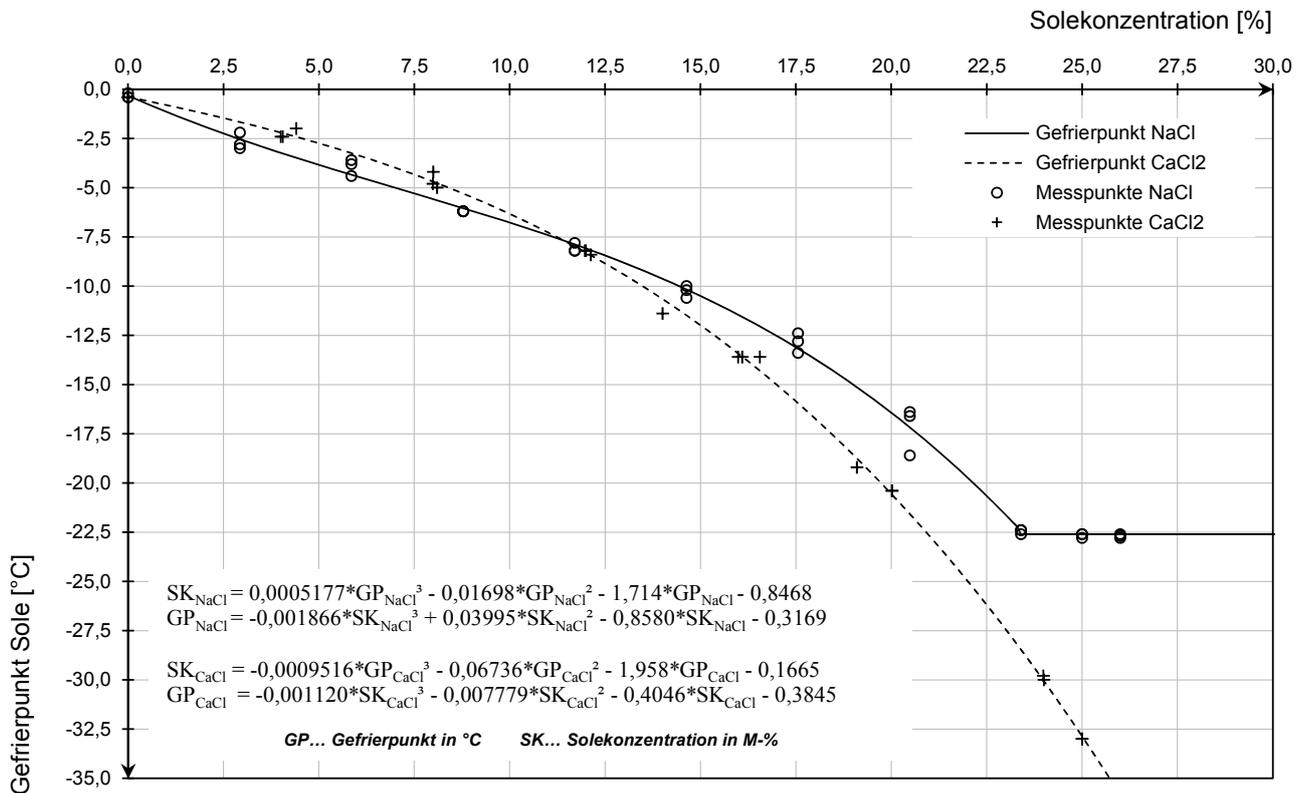


Abb. 26: Messpunkte und daraus errechnete Gefrierpunktkurven von Natriumchlorid (NaCl) und Kalziumchlorid (CaCl<sub>2</sub>). Die angegebenen Formeln gelten bis zum eutektischen Punkt bei 23,4% Konzentration und -22,6°C für NaCl bzw. bis zum Ende des Messbereichs von -35,0°C für CaCl<sub>2</sub> mit R<sup>2</sup> > 0,992

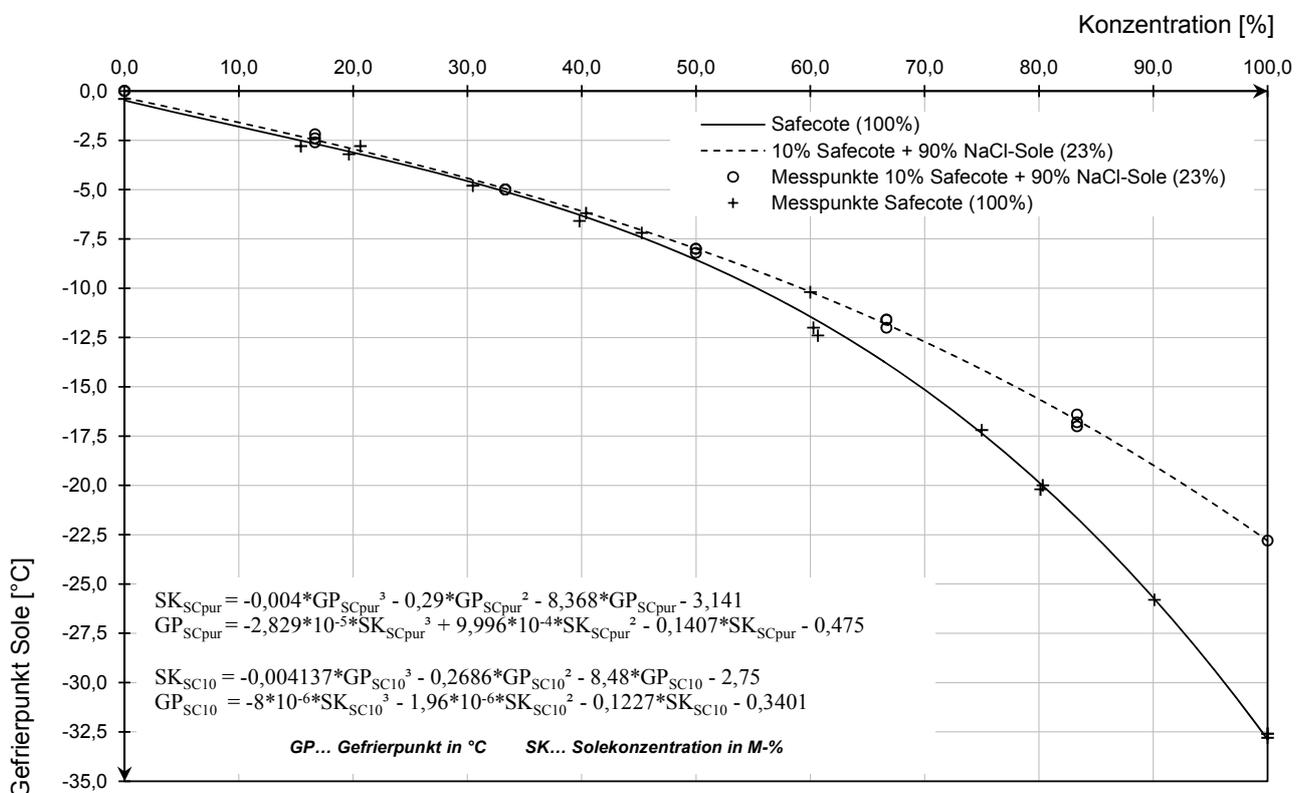


Abb. 27: Messpunkte und daraus errechnete Gefrierpunktkurven von reinem Safecote und Mischungen aus 10% Safecote mit 90% NaCl-Sole (23% Konzentration). Die angegebenen Formeln gelten für den gesamten möglichen Mischungsbereich von 0 bis 100% mit R<sup>2</sup> > 0,997

## 4.4 Tauwirksamkeitsversuche mit festen Taumitteln

### 4.4.1 Zielsetzung

Ziel dieser Versuche ist es, den Prozess der Salzstreuung im Winterdienst möglichst realitätsnah in einem Labor zu simulieren und die Tauwirksamkeit unterschiedlicher Streumittel zu vergleichen. Dazu wird die Menge an Eis bestimmt, die durch das Aufbringen eines Streumittels von diesem in einer bestimmten Zeit abgetaut wird. Die Versuche werden bei unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt, um die Einflüsse der Umgebungstemperatur auf das Tauverhalten bzw. die Tauwirksamkeit zu untersuchen.

Im Wesentlichen geht es bei den Versuchen darum, unterschiedliche Salzarten und die damit verbundenen unterschiedlichen Korngrößen bezüglich ihrer Tauwirksamkeit zu vergleichen. Erste Untersuchungen aus Deutschland zeigen, dass größere Körner sich tiefer ins Eis einschmelzen und schwerer zu verwehen sind. Feinere Körner besitzen hingegen eine größere spezifische Oberfläche und weisen dadurch eine raschere Tauwirkung auf. Bezüglich der im Winterdienst eingesetzten Tausalze (NaCl) werden ihrer Herkunft nach im Wesentlichen Steinsalz und Siedesalz unterschieden. Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln gezeigt, unterscheidet sich typisches Siedesalz von Steinsalz im Wesentlichen durch die größere Reinheit und die sehr eng gestufte Sieblinie.

### 4.4.2 Geräte, Prüfgüter und Prüfprogramm

Alle Tauwirksamkeitsversuche werden ebenfalls mit dem Klimaschrank durchgeführt, der schon für die Bestimmung der Gefrierpunkte verwendet wurde. Als Prüfkörper werden Schalen mit einem Durchmesser von 20 cm zu ca. zwei Drittel mit Leitungswasser gefüllt (ca. 0,5 l) und gefroren. Auf diese Eisplatten wird das Tausalz mittels Laborsieben in einer definierten Menge gleichmäßig verteilt. Die wichtigsten Hilfsmittel, die bei der Versuchsdurchführung zum Einsatz kommen und in Abb. 28 dargestellt werden sind:

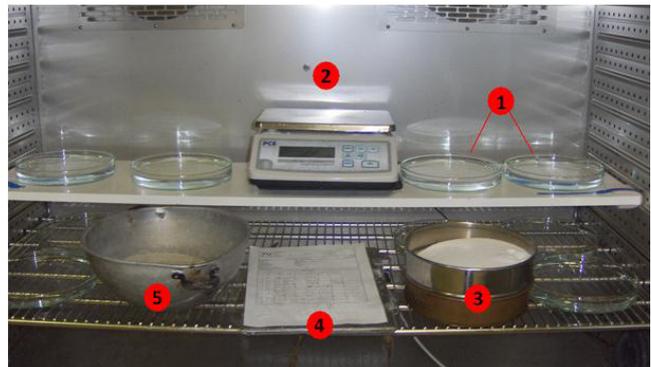


Abb. 28: Versuchsgeräte und im Klimaschrank des Instituts für Verkehrswissenschaften

1. Schalen für Probekörper Durchmesser von 20 cm, Höhe 3 cm
2. Elektronische Waage mit einem Arbeitsbereich bis  $-10^{\circ}\text{C}$  und einer Genauigkeit von 0,05 g
3. Handsiebe mit einem Durchmesser von 20 cm und unterschiedlichen Maschenweiten zum Aufbringen der einzelnen Korngruppen
4. Versuchsprotokoll zum Notieren der Messwerte im Klimaschrank
5. Behältnis zur Aufbewahrung bereits verwendeter Probekörper bis zum Ende der Versuche

Die bei diesem Versuch zu verwendeten Streumittel sind die gleichen, die bereits in Abschnitt 4.2 auf Seite 54 angeführt wurden. Zur Bestimmung der Tauwirkung wurden die Steinsalzproben nach der Sieblinienanalyse in den Korngruppen belassen, die getrennt auf ihre Tauwirkung hin untersucht wurden. Da der Großteil der Korngrößen beim getesteten Steinsalz im Bereich von 2,0 mm bis 3,15 mm liegt, wurden die Tauwirksamkeitsversuche auch mit dieser Kornklasse durchgeführt. Körner über 3,15 mm Durchmesser, wie sie etwa in Meersalz vorkommen, wurden nicht getestet, da diese den Anforderungen bezüglich Größtkorn der RVS 12.04.16 nicht entsprechen.

Die Kosten für die notwendigen Prüfgeräte sind abgesehen vom Klimaschrank gering, wodurch diese Tauwirksamkeitsversuche auch von kleinen Labors durchführbar sind, sofern bereits ein geeigneter Klimaschrank z.B. für Frost - Tauversuche vorhanden ist. Bei der Anschaffung sollte bedacht werden, dass die Mehrkosten für Handdurchführungen gering sind, aber die Ergebnisqualität deutlich erhöht wird.

### 4.4.3 Vorgehensweise

Zur Probevorbereitung werden die Schalen mit ca. 0,5 l Wasser zu 2/3 gefüllt und dann in den Klimaschrank bei der für die Versuche gewünschten Temperatur gefroren. Zeitgleich werden alle übrigen notwendigen Materialien wie etwa Salzproben, Messprotokolle, etc. im Klimaschrank untergebracht, damit dieser bis zum Ende der Versuche nicht mehr geöffnet werden muss. Nach dem vollständigen Durchfrieren des Wassers in den Schalen und dem Erreichen der Prüftemperatur der Probekörper (mindestens 12 Stunden Wartezeit) kann mit den eigentlichen Versuchen begonnen werden.

Jeder Probekörper bestehend aus Schale und Eis wird vor und nach dem Aufbringen des Streusalzes (ca. 10 g) mittels eines Laborsiebes gewogen, um die tatsächlich aufgebrachte Salzmenge möglichst exakt zu bestimmen. Der Zielwert von z.B. 10 g kann durch die Art der Aufbringung nicht exakt dosiert werden, wobei die Abweichungen  $\pm 1,5$  g in der Regel nicht überschreiten sollten. In der Auswertung spielen die unterschiedlichen Salzmenngen durch die Normierung der Ergebnisse auf Gramm getautes Eis pro Gramm Taumittel kaum noch eine Rolle. Nach einer im Vorhinein festgelegten Zeitdauer (2, 5, 10, 20, 30, 60, 120 und 240 Minuten) wird das vom Salz getaute Eis in eine Messschale geleert und gewogen, wodurch die gesamte getaute Eismenge je Zeiteinheit bekannt ist. Zur Kontrolle wird die Schale mit dem verbliebenen Eis erneut gewogen und aus der Differenz der beiden Gewichte die Menge an getautem Eis (inkl. Salz) errechnet. Diese Kontrolle ist notwendig, da beim Abgießen der Sole vom Probekörper die Gefahr besteht, nicht die gesamte Sole in die Messschale zu gießen und Abweichungen durch diese einfache und rasch durchführbare Kontrolle erkannt werden können.

Um die Störung des Tauprozesses durch das Wiederaufbringen der Sole zu vermeiden, wird jeder Probekörper im Gegensatz zu anderen Versuchsanordnungen nur einmal verwendet. Für eine Messreihe einer Kornklasse bei einer Temperatur und acht Zeitpunkten sind demnach acht Probekörper notwendig. Die nachstehenden Auswertungen basieren auf zwei Versuchen je Zeitintervall, wodurch sich die Probenzahl auf 16 erhöht. Die Durchführung der Tauversuche für einen Versuchsdurchlauf nimmt etwa 6 Stunden in Anspruch und deckt damit den Großteil des relevanten Tauwirksamkeitsbereiches bzw. der üblichen Streuintervalle ab.

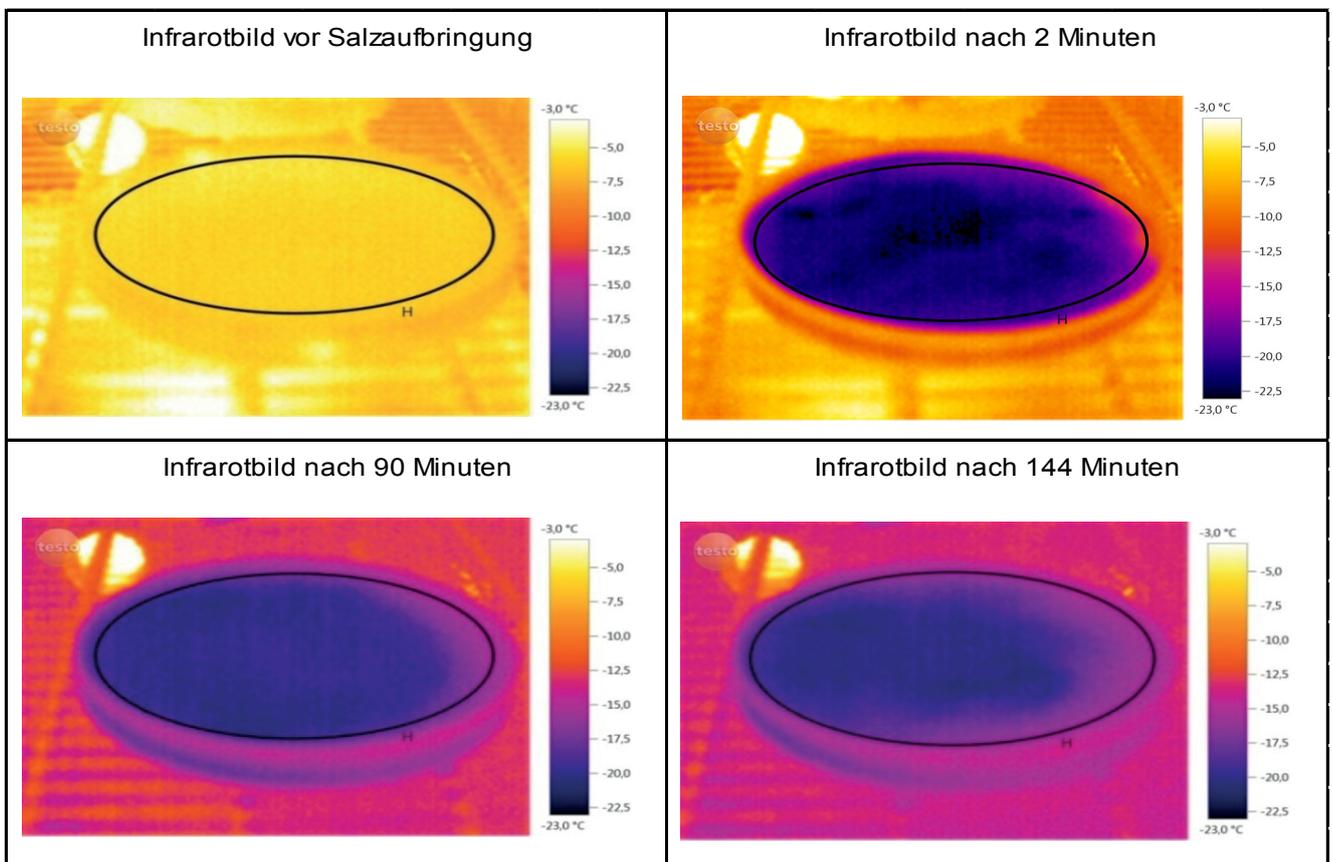


Abb. 29: Thermografische Aufnahmen über den Verlauf des Tauvorganges einer Eisplatte ( $d=20$  cm) im Klimaschrank innerhalb von 144 Minuten

In Abb. 29 ist der Temperaturverlauf während des Tauvorganges bei  $-5^{\circ}\text{C}$  über eine Zeitspanne von etwa 2,5 Stunden anhand von Aufnahmen mit einer Thermokamera (TESTO 880) dokumentiert. Zu Beginn liegt die Temperatur der Probekörperoberfläche bei  $-5^{\circ}\text{C}$  (Abb. 29 links oben), wobei noch sehr gut die eingezeichnete Begrenzung des Probekörpers zu erkennen ist. Praktisch unmittelbar nach Aufbringen des Salzes sinkt die Temperatur auf etwa  $-22^{\circ}\text{C}$  ab, wobei hier noch Unterschiede in der Temperaturverteilung innerhalb des Probekörpers erkennbar sind. Mit weiter fortschreitender Zeit nehmen die Temperaturunterschiede auf der Probekörperoberfläche weiter ab, während die Gesamttemperatur wieder langsam zunimmt. Der rasche Abfall der Temperatur mit dem langsamen Anstieg bis zur Umgebungstemperatur am Ende des Tauvorganges deckt sich mit den Ergebnissen der Tauwirksamkeitsversuche, bei denen die Taugeschwindigkeit entsprechend der Temperaturdifferenz abnimmt.

#### 4.4.4 Ergebnisse aus den Laborversuchen Tauwirksamkeit mit festen Taumitteln

Die Ergebnisse der Laborversuche zeigen den erwarteten Anstieg der Tauwirksamkeit in Gramm getautem Eis je Gramm Taumittel mit höher werdenden Umgebungstemperaturen gemäß Abb. 30 für NaCl (Steinsalz). Der Verlauf der Tauwirksamkeitskurve kann durch eine logarithmische Funktion gemäß den Formeln im Diagramm angenähert werden. Die Wahl der Funktion ergibt sich aus der abnehmenden Konzentration der Taumittel bei fortschreitendem Tauvorgang bis hin zu eutektischen Gleichgewicht. Die schlechtere Tauwirkung bei tieferen Temperaturen ergibt sich durch die höhere notwendige Solekonzentration, um ein Gefrieren zu verhindern. Insgesamt steht dadurch bei tieferen Temperaturen weniger Salz für einen länger anhaltenden Tauvorgang zu Verfügung, wodurch auch die absolute Tauwirksamkeit geringer sein muss. Die absolute Tauwirksamkeit am Ende der Versuche nach 4 Stunden ist demnach bei  $-2,5^{\circ}\text{C}$  mehr als doppelt so hoch als bei  $-7,5^{\circ}\text{C}$ .

Aus praktischer Sicht ist die Taugeschwindigkeit von entscheidender Bedeutung. Dies gilt vor allem für jene Fälle, bei denen bereits Schnee oder Eis auf der Fahrbahn ist und nicht ein einsetzender Gefriervorgang hintangehalten werden soll. In letzterem Fall tritt (eine ausreichende Streumenge vorausgesetzt) Fahrbahnglätte gar nicht erst auf, während in ersterem Fall weitgehend Glätte bis zum Ende des Tauvorgangs besteht bzw. während diesem sogar noch zunehmen kann. Die Laborversuche für Steinsalz in Abb. 30 zeigen, dass nach 30 Minuten erst 50 - 60% der gemessenen Tauwirksamkeit erreicht sind. Der Vergleich der Tauwirksamkeiten von Kornklassen bei Auftausalz (Abb. 31) und einer Versuchstemperatur von  $-7,5^{\circ}\text{C}$  zeigt nach 30 min eine um 50% höhere Tauwirksamkeit der feineren Körnungen. Gegen Ende der Versuche nach 4 Stunden nähern sich die Tauwirksamkeitskurven wieder an. Feinkörniges Salz taut also vor allem zu Beginn des Einsatzes aufgrund der großen spezifischen Oberfläche sehr rasch, nach etwa vier Stunden ist die Tauwirksamkeit beider Körnungen jedoch etwa gleich hoch (vgl. Kap. 4.5).

Die Schwankungen der Einzelmessungen nehmen bei steigender Temperatur deutlich zu, weshalb für Vergleichsmessungen zwischen Taumitteln eine Versuchstemperatur von  $-5^{\circ}\text{C}$  nicht überschritten werden sollte. Weiters wird mindestens eine 2 - 3 malige Wiederholung der Tauversuche je Zeitschnitt und Taumittel empfohlen. Lässt man die gemessenen Einzelwerte weg und trägt die ermittelten Funktionen in einem Diagramm auf (Abb. 32), zeigt sich die Dominanz der Umgebungstemperatur gegenüber dem Korndurchmesser auf die Tauwirksamkeit. Um etwa mit grobkörnigem Salz die gleiche Tauwirkung zu erzielen wie mit feinkörnigem Salz bei  $-7,5^{\circ}\text{C}$ , muss die Temperatur weniger als einen halben Grad auf  $-7,1^{\circ}\text{C}$  steigen. Die Berechnung der Tauwirksamkeitskurven kann gemäß Formel 02 unter Verwendung der jeweiligen in Tabelle 05 angegebenen Parameter erfolgen.

$$TW = a * x^b$$

Formel 02: Beschreibung der Tauwirkung (Parameter a und b für NaCl gemäß Tabelle 05)

Die Potenzfunktion beschreibt die Tauwirksamkeit mittels der Parameter a und b, wobei a ein Skalierfaktor ist, der die Funktion vertikal verschiebt. Parameter b beschreibt den raschen Anstieg innerhalb der ersten Minuten und das weitere Ausklingen der Tauwirkung. Der Wertebereich von b geht in den gegenständlichen Untersuchungen von 0,2 bis 0,6, wobei der Wert  $b=1$  aus der Potenzfunktion einer Geraden mit konstantem Anstieg entspricht. Die höheren Werte von b bedeuten einen flacheren Anstieg und damit eine geringere Anfangstauwirksamkeit. Trotz der guten Übereinstimmung der Anfangstauwirksamkeit ist eine Reduzierung der Tauwirksamkeit allein auf den Parameter b aufgrund der starken Koppelung der Tauwirkung an den Parameter a nicht empfehlenswert.

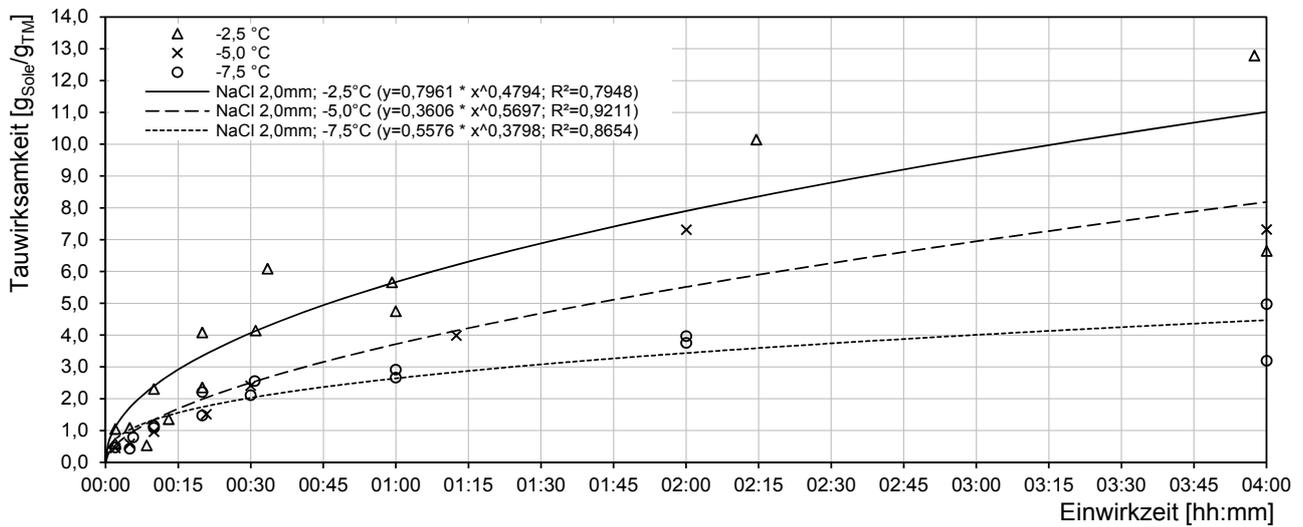


Abb. 30: Messpunkte aus den Laborversuchen und Trendlinien der Tauwirksamkeit von Natriumchlorid mit Korngröße 2,0 mm - 3,15 mm in Abhängigkeit der Versuchstemperatur (-2,5°C, -5,0°C und -7,5°C)

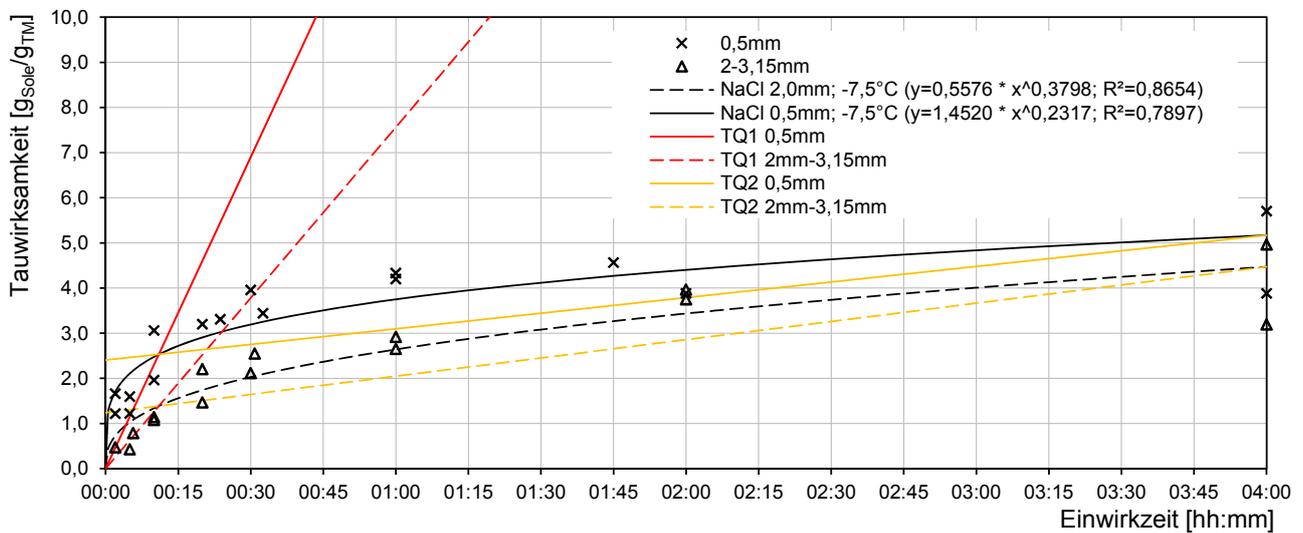


Abb. 31: Messpunkte aus den Laborversuchen und Trendlinien der Tauwirksamkeit von Natriumchlorid bei gleicher Versuchstemperatur (-7,5°C) aber Korngruppen 0,5 mm und 2 - 3,15mm sowie Tauwirkungsquotienten TQ1 und TQ2

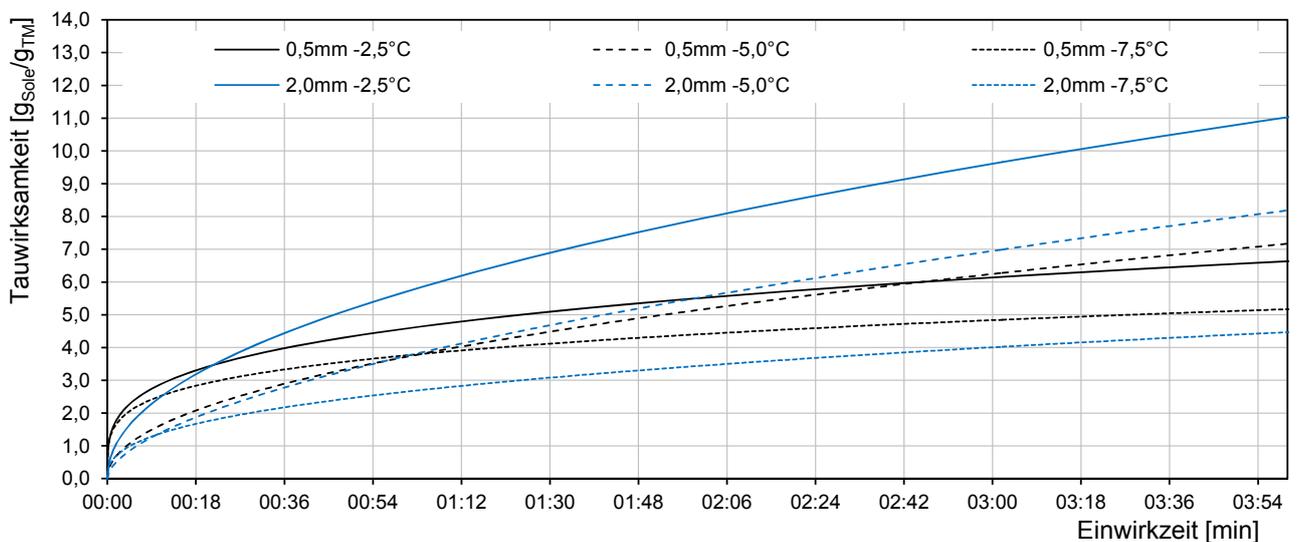


Abb. 32: Darstellung der errechneten Tauwirksamkeitskurven für die 6 Kombinationen aus Temperatur und Korngröße, die in den Laboruntersuchungen betrachtet wurden

Tabelle 05: Parameter A und B für die Berechnung der Tauwirksamkeit gemäß Formel 02

	Korndurchmesser 0,5 mm			Korndurchmesser 2 mm - 3,15 mm		
	-2,5°C	-5,0°C	-7,5°C	-2,5°C	-5,0°C	-7,5°C
a	1,517	0,5216	1,452	0,7961	0,3606	0,5576
b	0,2692	0,4781	0,2317	0,4796	0,5697	0,3798

Eine weitere Möglichkeit der Beschreibung bietet die Analyse mittels zweier Differenzenquotienten, die für den Anfangsbereich sowie den Endbereich gemäß Formel 03 errechnet und im weiteren als Tauquotient bezeichnet werden.

$$TQ = \frac{a * x_{t_2}^b - a * x_{t_1}^b}{x_{t_2} - x_{t_1}}$$

Formel 03: Berechnung des Tauquotienten

TQ	Tauquotient [-]
a	Parameter [-] (etwa Tabelle 05)
b	Parameter [-] (etwa Tabelle 05)
$x_{t_1}$	Anfangszeitpunkt der Quotientenberechnung [min]
$x_{t_2}$	Endzeitpunkt der Quotientenberechnung [min]

Eine Darstellung dieser Anfangs- und Endtauquotienten findet sich in Abb. 30, in der die unterschiedlichen Korndurchmesser des Tausalzes (NaCl) vor allem durch einen anderen Anfangstauquotienten auffallen. Der starke Unterschied in der Steigung der Anfangstauquotienten (rote Geraden) im Vergleich zum eher geringen Unterschied der Endtauquotienten (orange Geraden) zeigt, dass eine höhere Tauwirkung bereits in der Anfangsphase erfolgen muss. Eine in den ersten 10 Minuten nicht erbrachte Tauwirkung kann durch den flachen Anstieg der Endtaugeraden im weiteren Tauprozess nur schwer nachgeholt werden.

Der erste Tauquotient TQ1 wurde vom Zeitpunkt t=0 min bis zum Zeitpunkt t=11 min gebildet, um die Messpunkte bei t=10 min noch zu erfassen. Der zweite Tauquotient TQ2 umfasst den Bereich von t=11 min bis zum letzten Messpunkt bei t=240 min. Der Zusammenhang zwischen Prüftemperatur und Tauquotient ist in Abb. 33 für TQ1 und in Abb. 34 für TQ2 grafisch dargestellt. Durch die gleiche Skalierung der Darstellungen fällt der Unterschied zwischen dem hohen Anfangstauquotienten und dem eher geringen Endtauquotienten auf. Je tiefer die Temperatur ist, umso weiter fällt TQ1 von eher grobkörnigem Tausalz mit 2 mm gegenüber dem feinkörnigem Tausalz mit 0,5 mm Korndurchmesser zurück. Eine geringere Korngröße resultiert also in einer höheren Tauwirksamkeit zu Beginn des Tauvorgangs. Dieses Verhältnis kehrt sich für TQ2 besonders im Bereich von Temperaturen über -3,0°C um, sodass für geringere Korndurchmesser der Endtauquotient TQ2 bei Temperaturen über -7,5°C niedriger ist als TQ1 und annähernd konstant verläuft.

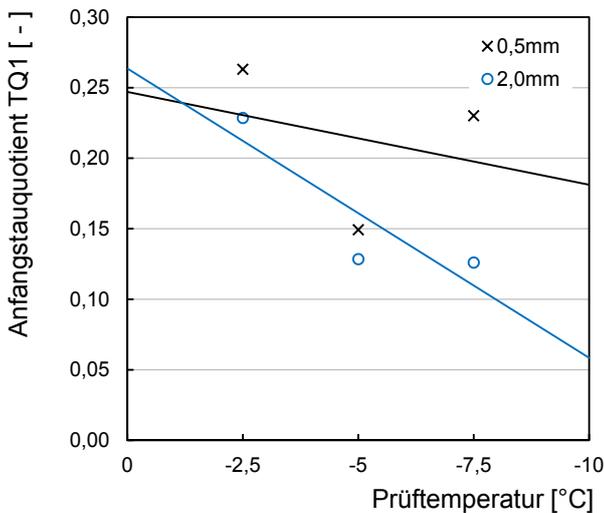


Abb. 33: Anfangstauquotient TQ1 für Korndurchmesser 0,5 mm und 2,0 mm bei Versuchstemperaturen von -2,5°C, -5,0°C und -7,5°C

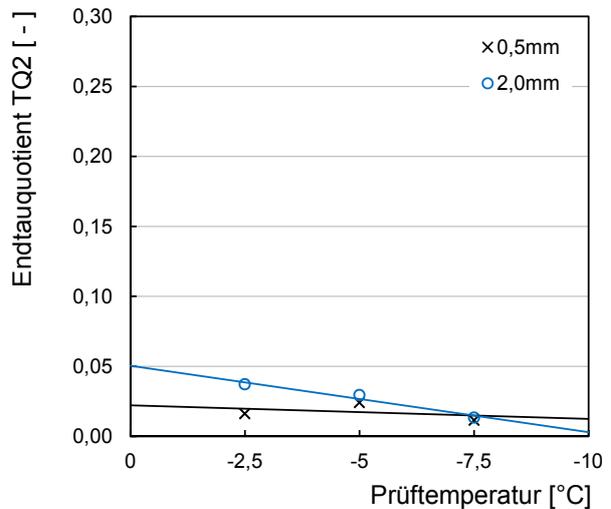


Abb. 34: Endtauquotient TQ2 für Korndurchmesser 0,5 mm und 2,0 mm bei Versuchstemperaturen von -2,5°C, -5,0°C und -7,5°C

Die Tauquotienten TQ1 und TQ2 eignen sich auch um die Wirkung von Tausalzen mit einer weiter gestuften Sieblinie abschätzen zu können. Dazu muss, der Tauquotient gemäß Abb. 35 und Abb. 36 in Anhängigkeit des Korndurchmessers aufgetragen werden. In diesen Darstellungen fällt die für statistische Auswertungen noch zu geringe Probenzahl deutlich auf. Wie bereits in Abb. 33 erkennbar, ist besonders der Wert der Tauquotienten beim Korndurchmesser 0,5 mm und Prüftemperatur -5,0°C betroffen. Die Beschreibung der Auswertungen folgt dem erkennbaren Trend, einschränkend sei jedoch auf die noch vergleichsweise geringen Versuchszahl und Ergebnisbandbreiten verwiesen.

Die Auswertung zeigt einen klaren Trend in den ersten 11 Minuten, bei dem der Anfangstauquotient TQ1 mit steigendem Korndurchmesser abnimmt, wobei die Abnahme bei tieferen Temperaturen stärker ist. Gegenteilig verhält es sich beim Endttauquotienten TQ2, der mit steigendem Korndurchmesser ansteigt und bei dem tiefere Temperaturen einen geringeren Anstieg bewirken. Da die Tauwirksamkeitsquotienten nur für einzelne Kornklassen bestimmt werden können, muss für die Abschätzung der kumulierten Tauwirksamkeit eines Tausalzes mit einer bekannten Sieblinie die Tauwirksamkeit einzelner Kornklassen addiert werden. Für jede Kornklasse wird der Tauwirksamkeitsquotient auf Basis der Geraden in Abb. 35 bzw. Abb. 36 der Tauwirksamkeitsquotient ermittelt und mit dem Massenanteil sowie dem Berechnungszeitraum der TQ multipliziert. Gemäß Formel 04 wird die Summe über alle Kornklassen gebildet und gibt damit die Abschätzung der Tauwirksamkeit für die Sieblinie an.

$$TW_{SL} = \sum_i K_i * TQ1_i * t_1 + K_i * TQ2_i * t_2$$

Formel 04: Abschätzung der Tauwirksamkeit für eine bekannte Sieblinie

$TW_{SL}$	Tauwirksamkeit für eine bekannte Sieblinie [-]
K	Massenanteil einer Kornklasse [%]
TQ1	Anfangstauquotient für die jeweilige Kornklasse [-]
TQ2	Endttauquotient für die jeweilige Kornklasse [-]
$t_1$	Berechnungszeitraum von TQ1 [min] (11 min)
$t_2$	Berechnungszeitraum von TQ2 [min] (229 min)

Bei der Berechnung kann  $t_2$  so gewählt werden, dass der Berechnungszeitraum der Tauwirksamkeit in etwa der Umlaufzeit einer Streufahrten entspricht. Es zeigt sich, dass Tausalz mit einer feineren Körnung bei eher kurzen Umlaufzeiten eine höhere Tauwirkung erzielt, während Tausalz mit einem höheren Anteil an Körnern mit Durchmesser > 2,0 mm bei langen Berechnungsperioden bzw. Umlaufzeiten die höhere Tauwirksamkeit erreichen. Bei einer Optimierung der Sieblinie von Tausalzen spielt daher die erwartete durchschnittliche Umlaufzeit eine ebenso große Rolle wie die Tauwirksamkeit einzelner Kornklassen.

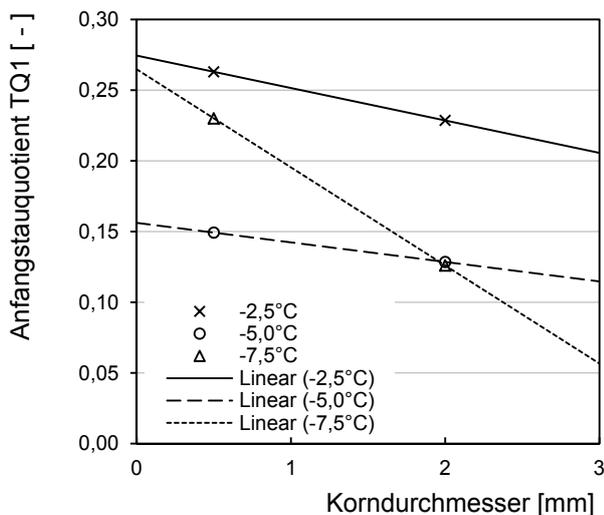


Abb. 35: Anfangstauquotient TQ1 bei Versuchstemperaturen von -2,5°C, -5,0°C und -7,5°C für verschiedene Korndurchmesser

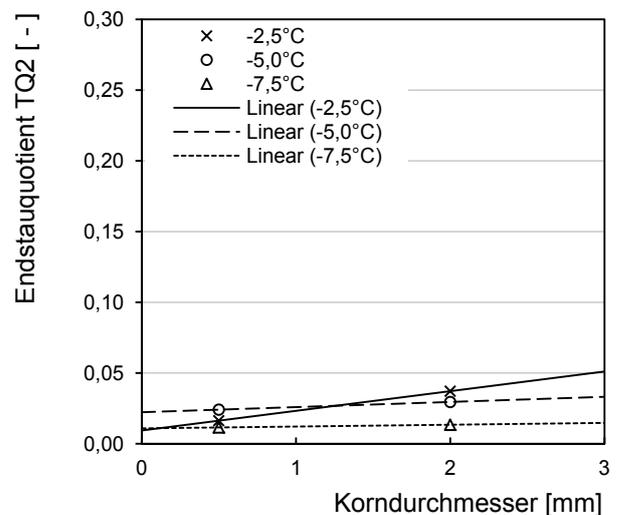


Abb. 36: Endttauquotient TQ2 bei Versuchstemperaturen von -2,5°C, -5,0°C und -7,5°C für verschiedene Korndurchmesser

## 4.5 Tauwirkung nach Korngröße

Der in den Versuchen festgestellte Unterschied der Tauwirksamkeit nach Korngröße der Streumittel liegt in der damit zusammenhängenden Wirkungsweise. Geht man bei einer Streumenge von  $10 \text{ g/m}^2$  von typischen Korngrößen  $2,8 \text{ mm}$  bzw.  $0,5 \text{ mm}$  aus und berechnet die durchschnittliche Anzahl an Körnern je  $\text{m}^2$ , so kommt man auf etwa  $70.000$  bei  $0,5 \text{ mm}$  bzw. etwa  $450$  bei  $2,8 \text{ mm}$  Korndurchmesser. In Abb. 37 ist dieses Verhältnis der Korngrößen zusammen mit der beobachteten Tauwirkung graphisch dargestellt. Die einzelnen Körner sind durch rote Punkte markiert und der Bereich der Tauwirkung ist grau gekennzeichnet. Die spezifische Oberfläche der  $70.000$  feinen Körner ist mit  $55.000 \text{ mm}^2$  etwa fünfmal so groß, wie jene der  $450$  gröberen Körner mit  $11.000 \text{ mm}^2$ , wodurch auch die Kontaktfläche Salz - Eis wesentlich größer ist und die Taureaktion schneller ablaufen kann. Jedes einzelne Korn taut um sich einen flachen Kegel, dessen Durchmesser vom Korndurchmesser abhängig ist. Der kleinere Wirkungsbereich dieser Kegel wird bei einzelnen feinen Körnern durch ihre Vielzahl kompensiert und es entsteht eine annähernd gleichmäßige Fläche, auf der sich Sole bildet, die das Eis anschließend gleichmäßig von oben nach unten schmilzt.

Größere Körner tauen zuerst ebenfalls einen Kegel, der aber eine breite Grundfläche aufweist und tiefer in das Eis hineinreicht. Aufgrund der geringen Anzahl der Körner gemessen an der Fläche bildet sich jedoch kein durchgängiger Solefilm im Verlauf des Tauvorgangs, sondern es entstehen zylindrische Kanäle vertikal von oben nach unten. Beim Auftreffen auf den Untergrund unterhalb des Eises verbreitert sich dieser Kanal wieder zu einem Kegel und es entsteht ein Solefilm unter der Eisdecke. Dieser Solefilm führt zu einer stellenweisen Ablösung des Eises vom Untergrund und wirkt wie ein Trennfilm. Die Penetrationswirkung größerer Korndurchmesser zusammen mit der Bildung eines Trennfilmes kann gezielt dazu genutzt werden, um festgefrorenes Eis oder festgefahrenen Schnee so weit von der Fahrbahn zu lösen, dass diese bei der nächsten Räumfahrt leichter mit dem Pflug beseitigt werden können.

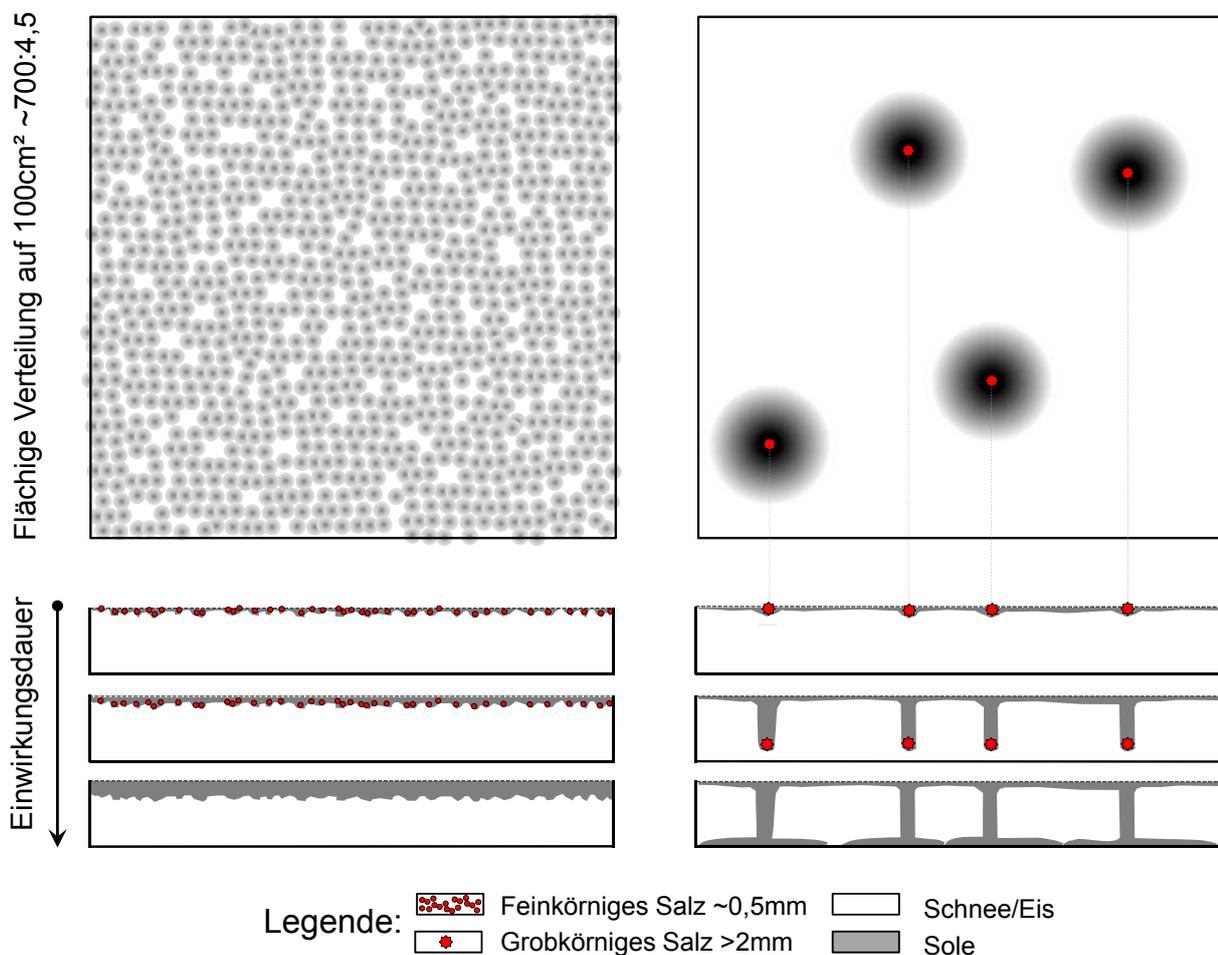


Abb. 37: Grundriss und Schnitte einer Eisplatte bei fortschreitender Einwirkungsdauer von feinkörnigem Salz ( $0,5 \text{ mm}$  links) und grobkörnigem Salz ( $3 \text{ mm}$  rechts)

## 4.6 Tauwirksamkeitsversuche mit flüssigen Taumitteln

### 4.6.1 Zielsetzungen

Neben der Tauwirksamkeit und -wirkung fester Streumittel ist für den Einsatz der Feuchtsalzstreuung auch die Tauwirksamkeit der verwendeten Sole, die in der Regel 30% des gesamten Streuguts ausmacht (FS30) von Interesse. Mit den Versuchen soll gezeigt werden, ob nicht gesättigte Sole durch „freies Wasser“ [MÜHLBERGER, 2007] schneller reagieren kann und ob sich die Tauwirkung durch Zusätze wie z.B. Safecote im Vergleich zu reiner NaCl - Sole verbessert. Aus praktischer Sicht spielt die Tauwirksamkeit der Sole nicht nur auf der Fahrbahn eine Rolle, sondern bereits im Soletank und bei der Ausbringung des Streugutes durch den Streuteller. Bei Temperaturen von unter  $-7^{\circ}\text{C}$  kommt es gemäß Berichten von Streuwagenfahrern häufig zu Verklebungen/Vereisungen auf dem Streuteller, die das Streubild wesentlich verschlechtern und durch den Winterdienstfahrer von Hand beseitigt werden müssen. Dies führt in weiterer Folge zu einem erhöhtem Personalaufwand und verlängerten Streuintervallen. Eine höhere Tauwirksamkeit der Sole in Verbindung mit einem tiefen Gefrierpunkt kann daher dazu beitragen, diese Vereisungen des Streutellers zu verhindern.

### 4.6.2 Geräte, Prüfgüter und Prüfprogramm

Die Prüfgeräte entsprechen jenen, die schon für die Versuche an festen Taumitteln durchgeführt wurden, lediglich die Handsiebe wurden durch Spritzen für die gezielte Soleaufbringung ersetzt. Die Probekörperherstellung ist etwas aufwendiger, da anstatt einer glatten Eisoberfläche eine definierte festgelegte Vertiefung erforderlich ist (Abb. 38), um der Sole eine konstante Angriffsfläche zu bieten. Diese Vertiefungen im Probekörper werden durch formgebende Schalen mit 65 mm Durchmesser oben und 45 mm Durchmesser am Boden durch gezielte Verdrängung des Wassers erzeugt. Die formgebenden Schalen sind zur Versicherung der Lage an einem Deckel festgeklebt. Für die Tauwirkung steht demnach eine Fläche von ca.  $3.320\text{ mm}^2$  zu Verfügung.

Der vorbereitete Probekörper bietet durch die Ausrundungen keine konzentrierte Angriffspunkte für die Sole, sondern erlaubt einen gleichmäßigen Tavorgang. Zur Aufbringung der Sole werden Spritzen verwendet, um eine genaue Dosierung von 10 ml Sole zu ermöglichen. Dadurch entfällt auch eine Wägung der Probe, was die Versuchsdurchführung erheblich vereinfacht. Getestet wurden NaCl (10%, 16%, 20%),  $\text{CaCl}_2$  (23%), Safecote (10% Safecote, 90% NaCl-Sole mit 23% Konzentration) und Supermix (70% Wasser, 12% NaCl, 12% Safecote, 6%  $\text{CaCl}_2$ ).

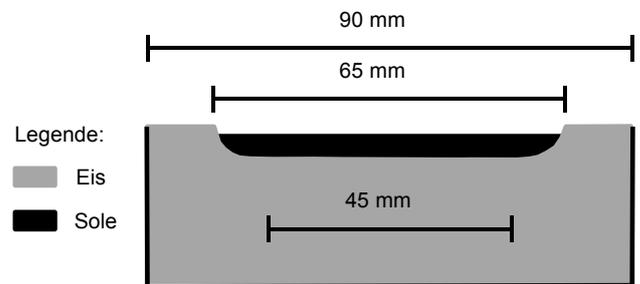


Abb. 38: Querschnitt der verwendeten Probekörper mit Prüfgut (Sole) zur Untersuchung der Tauwirksamkeit flüssiger Taumittel



Abb. 39: Probekörper nach der Versuchsdurchführung (vorne mit Restspuren von Safecote)



Abb. 40: Arbeitsschritte bei Versuchsdurchführung: Probekörper wiegen - Sole mittels Spritze aufbringen - Definierte Zeit Einwirken lassen - Abgießen und getautes Eis und Sole abwiegen

### 4.6.3 Vorgehensweise

Wie schon bei der Herstellung der Probekörper für feste Taumittel werden alle notwendigen Geräte und Prüfkörper in den Klimaschrank geräumt und dieser auf die gewünschte Prüftemperatur eingestellt. Nach dem Gefrieren der Probekörper müssen diese allerdings kurzzeitig wieder aus dem Klimaschrank genommen werden bzw. dieser geöffnet werden, um die formgebenden Schalen zu entfernen, da dies durch die Eingriffsöffnungen nicht möglich ist. Nach einer Wartezeit von mindestens zwei Stunden zur Sicherstellung der Prüftemperatur kann mit den eigentlichen Versuchen begonnen werden.

Im Versuch wird der Probekörper gewogen und danach 10 ml der zu prüfenden Sole mittels einer Spritze genau dosiert aufgebracht und der Probekörper für die vorgesehene Zeit im Klimaschrank beiseite gestellt. Eine ständige Durchmischung der Sole während des Versuches ist nicht vorgesehen, durch die Vibrationen des Klimaschranks ist aber eine gewisse Bewegung der Sole vorhanden. Nach dem Ablauf der vorgesehenen Zeit wird die getaute Sole aus dem Probekörper abgegossen und gewogen. Zur Kontrolle kann der Probekörper mit dem verbleibenden Eis gewogen und sein Gewicht vom ursprünglichen Gewicht abgezogen werden. Die so ermittelte Differenz entspricht der getauten Eismenge und muss mit der gewogenen abgegossenen Solemenge abzüglich aufgebracht Sole übereinstimmen. Bei der Kombination von niedrig konzentrierten Solen und tiefen Temperaturen kann es vorkommen, dass weniger Sole abgegossen wird als aufgebracht wurde, da ein Teil der Sole gefroren ist.

### 4.6.4 Ergebnisse der Laborversuche zur Tauwirksamkeit von flüssigen Taumitteln

In einem ersten Schritt wurde anhand der gemessenen Daten eine Prüftemperatur gesucht, die geeignet ist, die verschiedenen Taumittel miteinander vergleichen zu können. Bei einer zu tiefen Temperatur kann es dazu kommen, dass ein Teil des aufgetragenen Taumittels am Probekörper friert und damit eine negative Tauwirksamkeit gemessen wird. Die Versuche wurden bei  $-2,5^{\circ}\text{C}$ ,  $-5,0^{\circ}\text{C}$  sowie  $-10,0^{\circ}\text{C}$  durchgeführt, wobei die Ergebnisse für alle getesteten Taumittel einen gleichartigen Verlauf wie in Abb. 41 aufweisen. Diesem Diagramm ist zu entnehmen, dass die Tauwirksamkeit mit steigender Temperatur progressiv zunimmt. Die Tauwirksamkeitskurven von  $-2,5^{\circ}\text{C}$  und  $-10^{\circ}\text{C}$  liegen etwa gleich weit von jener bei  $-5,0^{\circ}\text{C}$  entfernt, obwohl die Temperaturdifferenz mit 5,0 Kelvin doppelt so hoch ist, wie jene zwischen  $-5,0^{\circ}\text{C}$  und  $-2,5^{\circ}\text{C}$ . Eine Prüftemperatur von  $-2,5^{\circ}\text{C}$  ist nur sinnvoll, wenn es der Gefrierpunkt aufgrund der Solekonzentration zulässt und nicht die Unterschiede zwischen Taumitteln geprüft werden sollen.

Für die Prüfung eines Taumittels mit unterschiedlicher Konzentration wie in Abb. 42 können hingegen die Unterschiede bei einer Prüftemperatur von  $-2,5^{\circ}\text{C}$  deutlich herausgearbeitet werden. Die geprüften Natriumchloridsolen mit 10%, 16% und 20% Konzentration weisen wie erwartet höhere Tauwirksamkeit bei größerer Konzentration auf. Da ein Großteil der Tauwirksamkeit von Trockensalz erbracht wird und diese gemäß Kap. 4.4 erst nach einer gewissen Zeit ihre Wirkung entfaltet und die Tauwirksamkeit der Sole bei hohem Wasseranteil entsprechend gering ist, kann ausgeschlossen werden, dass „freies Wasser“ bzw. eine ungesättigte Sole eine signifikante Verbesserung der Tauwirksamkeit bewirkt. Vielmehr besteht bei zu geringen Solekonzentrationen die Gefahr eines Gefrierens im Soletank oder auf dem Streuteller. Der eigentliche Sinn der Soleverwendung im Rahmen der Feuchtsalzstreuung liegt in der Verbesserung des Streubildes und der Haftung des Streugutes auf der Fahrbahn. Aus betrieblicher Sicht ist die Verwendung einer Sole mit Eignung für alle Temperaturbereiche z.B. NaCl - Sole mit 20% Konzentration von Vorteil. Eine Übersättigung sollte hingegen zur Vermeidung von Rückständen im Streugerät vermieden werden. Die Mindestkonzentration der Sole muss bei frei wählbarer Konzentration jedenfalls immer einen deutlich unter der Außentemperatur liegenden Gefrierpunkt aufweisen.

Die unterschiedlichen Tauwirksamkeiten der Solen bei einer Prüftemperatur von  $-5,0^{\circ}\text{C}$  sind in Abb. 43 dargestellt und mit Formel sowie Bestimmtheitsmaß angegeben. Im Vergleich zu reiner NaCl - Sole mit 20% Konzentration weisen Safecote (10% Beimengung) eine um 20% höhere, Supermix eine um 19% sowie Kalziumchlorid eine um 27% höhere Tauwirksamkeit nach 3 Stunden auf. Der Tauwirksamkeitsunterschied zwischen Safecote-Sole und Supermix ist sehr gering. Der höheren Tauwirksamkeit von Calciumchloridsole stehen die deutlich höheren Kosten gegenüber, wobei zusätzlich zu berücksichtigen ist, dass die Sole in der Feuchtsalzstreuung nur einen kleinen Anteil der ausgebrachten Taumittel darstellt. Wie die Auswertungen gemäß Kap. 3.4 zeigen, sind Schneefälle bei Temperaturen unter  $-10^{\circ}\text{C}$  im Schnitt einmal alle 3-5 Jahre zu erwarten, weshalb mit NaCl - Sole mit 20% Konzentration in der Regel ein Auslangen gefunden werden kann.

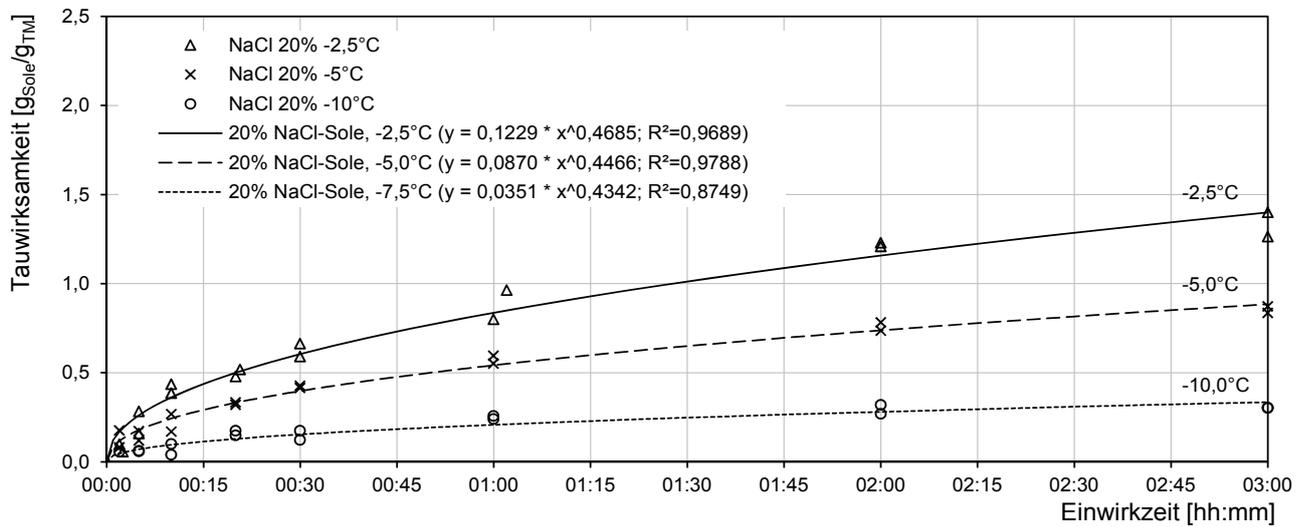


Abb. 41: Messpunkte aus den Laborversuchen und Trendlinien der Tauwirksamkeit einer 20-%igen Natriumchloridsole in Abhängigkeit von der Versuchstemperatur (-2,5°C, -5,0°C und -10,0°C)

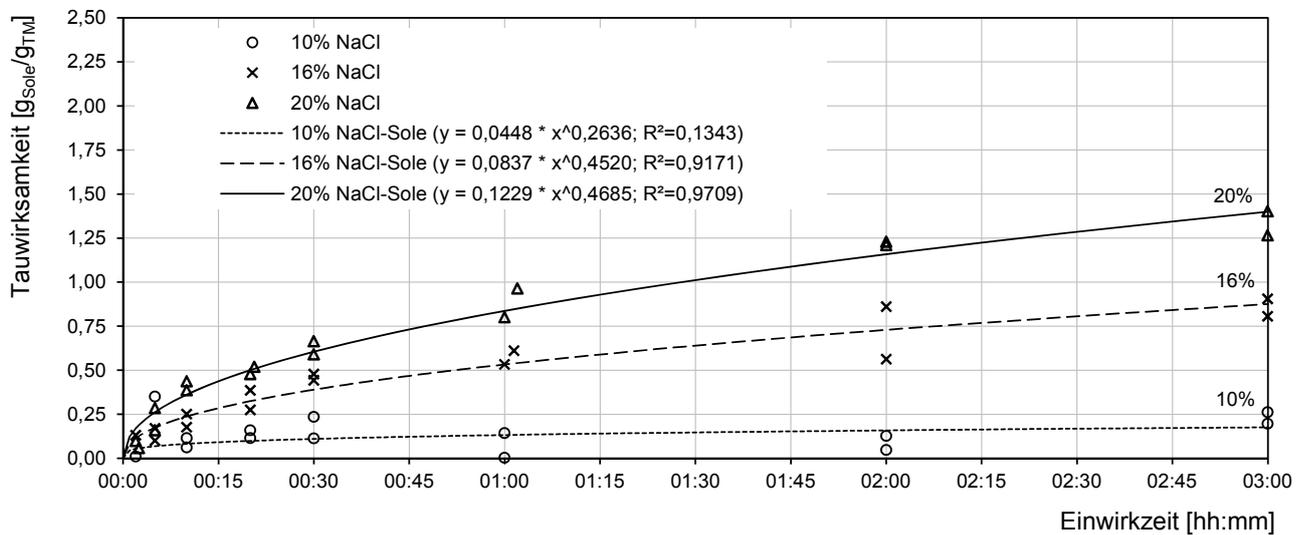


Abb. 42: Messpunkte aus den Laborversuchen und Trendlinien der Tauwirksamkeit von NaCl-Sole mit einer Konzentration von 10%, 16% und 20% bei einer Versuchstemperatur von -2,5°C

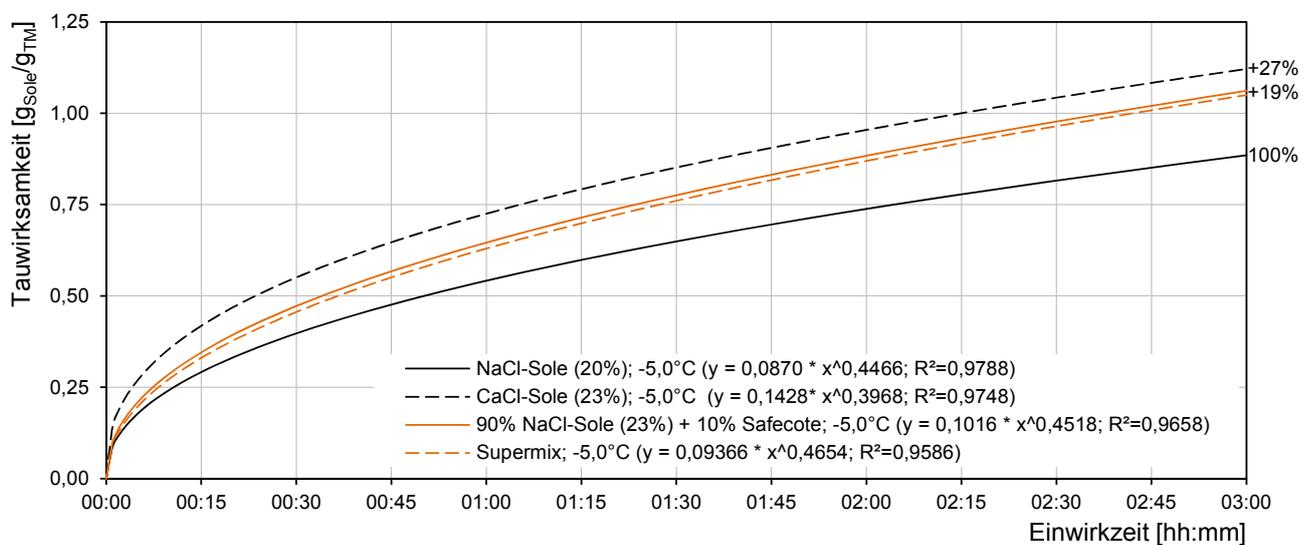


Abb. 43: Darstellung der errechneten Tauwirksamkeitskurven und zugehörigen Formeln sowie Bestimmtheitsmaß  $R^2$  für die getesteten Solen (NaCl 20%, CaCl 23%, Safecote 10% und Supermix) bei -5,0°C

## 4.7 Zusammenfassung Laborversuche

### 4.7.1 Beurteilung der entwickelten Versuchsmethodik

#### 4.7.1.1 Eutektik/Gefrierpunktmessungen

Bei der Bestimmung der Gefrierpunkte unterschiedlicher Taumittel sind keine Verbesserungen in der beschriebenen Versuchsdurchführung erforderlich. Die Standardabweichung vom Mittelwert der Einzelmessungen je Solekonzentration beträgt durchschnittlich  $0,3^{\circ}\text{C}$ , womit eine für die praktische Durchführung des Winterdienstes ausreichende Genauigkeit erreicht werden kann. Durch die automatische Aufzeichnung der Temperaturen alle 30 Sekunden kann der Temperaturverlauf während des Gefriervorganges exakt abgebildet werden. Die für das Ablesen des Gefrierpunkts beim Halteplateau sowie zur Beseitigung von Messfehlern oder kurzfristigen Störungen der Versuchsumgebung notwendige Empfindlichkeit der Sensoren ist jedenfalls aufgrund der verwendeten Versuchsanordnung gegeben.

#### 4.7.1.2 Tauwirksamkeit fester Taumittel

Durch die Arbeit mit den PE-Handschuhen innerhalb des geschlossenen Klimaschranks können Störungen der Versuchstemperatur weitgehend vermieden werden, wodurch auch bei reduzierter Versuchsdauer eine ausreichend hohe Genauigkeit gegeben ist. Die ausgewählten Einwirkungsauern der Taumittel bilden einen aussagekräftigen Verlauf der Tauwirksamkeit über die Zeit ab, da die wichtige Anfangsphase mit einer ausreichenden Dichte erfasst wird und das Ende der Einwirkungszeit mit 4 Stunden auch in etwa mit den Umlaufzeiten in der Praxis übereinstimmt. Dennoch gibt es bei den Tauwirksamkeitsversuchen für feste Taumittel noch Verbesserungspotential. Der größte Nachteil ist die nicht exakt dosierbare Salzmenge durch die Art der Aufbringung mittels Sieb. Andererseits sichert dies jedoch eine weitgehend gleichmäßige Verteilung des Salzes, wobei die geringen Unterschiede der aufgetragenen Salzmengen durch Normierung der Tauwirksamkeit je Gramm Taumittel weitgehend berücksichtigt sind. Weiters können bei diesen Laborversuchen nicht die praktisch auftretenden Verwehungen und Austragungsverluste des Verkehrs berücksichtigt werden. Diese Einflüsse haben für das Ziel einer exakten Bestimmung der Tauwirksamkeit selbst keine wesentliche Bedeutung, müssen jedoch bei der Umsetzung der Laborergebnisse in die Praxis berücksichtigt werden. Insgesamt können mit dieser Versuchsanordnung aber immer noch deutlich aussagekräftigere Ergebnisse, als mit den bestehenden Methoden (z.B. Inzeller Eisplattenversuch, SHRP H-205.1) erzielt werden.

#### 4.7.1.3 Tauwirksamkeit flüssiger Taumittel

Durch die exakte Dosierung der Sole mittels Spritze entfällt der Unsicherheitsfaktor variabler Taumittelmenge im Vergleich zu festen Taumitteln. Die gleichzeitige Verwendung der einheitlich geformten Mulden im Probekörper sichert eine nahezu gleich große Kontaktfläche zwischen Sole und Eis. Diese hohe Reproduzierbarkeit der Randbedingungen trägt wesentlich zur Wiederholbarkeit der Ergebnisse der einzelnen Messreihen bei. Das Aufbringen der Sole mittels Spritzen auf die kompakteren Probekörper bringt zudem den Vorteil der besseren Handhabbarkeit innerhalb des Klimaschranks im Vergleich zu den Versuchen mit festen Taumitteln mit sich. Dadurch lassen sich mehrere Messreihen parallel durchführen, wodurch wesentliche Zeiteinsparungen in der Versuchsdurchführung erzielt werden können. Dafür ist der Aufwand für die Vorbereitung der Probekörper etwas höher. Vor der Tauwirksamkeitsprüfung von neuen Taumitteln sollte der Gefrierpunkt bestimmt werden, da die Gefahr eines Anfrierns der Solelösung am Probekörper besteht, wenn der Gefrierpunkt zu nahe an der Versuchstemperatur liegt. Die Versuchstemperatur zur Prüfung unterschiedlicher Taumittel orientiert sich daher an dem Taumittel mit dem niedrigsten Gefrierpunkt und muss aufgrund des großen Einflusses der Temperatur auf die Tauwirksamkeit für alle Versuche gleich sein. Bei groß angelegten Untersuchungen unterschiedlicher Taumittel mit stark abweichenden Gefrierpunkten sollte eine gruppenweise Prüfung bei unterschiedlichen Temperaturen in Erwägung gezogen werden. Praktisch bedeutet dies, dass für ein Referenztaumittel (z.B. NaCl - Sole) Tauwirksamkeitsversuche in allen Versuchstemperaturen gefahren werden und für die anderen Taumittel nur in dem Temperaturbereich, in welchem ein Anfriern der Sole am Probekörper bzw. eine zu geringe Tauwirksamkeit ausgeschlossen werden kann.

### 4.7.2 Gegenüberstellung Versuchsmethodik „alt – neu“

Die im Rahmen dieses Forschungsprojektes entwickelten Versuche bringen genauere und detailliertere Daten zum Verhalten unterschiedlicher auftauender Streumittel als die bisherigen Standarduntersuchungen. Die Wirkung der Streumittel kann mit hoher Wiederholgenauigkeit und Realitätsnähe im Labor geprüft werden. Aus den Versuchsergebnissen sind in weiterer Folge aussagekräftigen

Schlussfolgerungen bezüglich Gefrierpunkt und Tauwirksamkeit der untersuchten auftauenden Streumittel möglich. Diese Schlussfolgerungen erlauben einen gezielteren und wirtschaftlicheren Einsatz von Streusalzen im Winterdienst und ermöglichen eine Überprüfung und Qualitätsvergleich gelieferter Streumittel.

### 4.7.3 Erkenntnisse aus den Laborversuchen

#### 4.7.3.1 Erkenntnisse aus der Gefrierpunktbestimmung

Erkenntnisse:

- Der eutektische Punkt von Natriumchlorid gemäß den Versuchen liegt bei 23,40% Konzentration und einer Temperatur von  $-22,6^{\circ}\text{C}$ .
- Nach Erreichen des eutektischen Punkts, bleibt der Gefrierpunkt von Natriumchlorid konstant bei  $-22,6^{\circ}\text{C}$ . Der oft dargestellte Anstieg des Gefrierpunktes konnte nicht beobachtet werden.
- Bei einer Solekonzentration von 25% (typische Fertigssole) erreicht die Calciumdichloridlösungen eine Gefriertemperatur von ca.  $-35^{\circ}\text{C}$ .
- Eine 10%-ige Zugabe von Safecote zu gesättigter NaCl-Sole senkt den Gefrierpunkt geringfügig auf  $-23^{\circ}\text{C}$  ab, wobei das eutektische Diagramm praktisch jenem von NaCl gleicht.
- Safecote mit 100% Konzentration hat einen Gefrierpunkt von  $-32,1^{\circ}\text{C}$ .

Schlussfolgerungen:

- Bei Temperaturen bis ca.  $-10^{\circ}\text{C}$  reicht NaCl in der Regel als Taumittel immer aus und ist zudem wesentlich billiger. Schneefälle bei tieferen Temperaturen treten nur sehr selten auf.
- Bei sehr tiefen Temperaturen kann entweder Calciumdichlorid oder reines Safecote verwendet werden, wobei reines Safecote möglicherweise Probleme verursacht, da es sehr zähflüssig wird und möglicherweise die Ventile am Streufahrzeug verlegt.

#### 4.7.3.2 Erkenntnisse aus der Bestimmung der Tauwirksamkeit fester Taumittel

Erkenntnisse:

- Die Tauwirksamkeit ist innerhalb der ersten 15 Minuten am höchsten und nimmt dann mit zunehmender Zeit deutlich ab. Nach ca. 120 Minuten sind 90 - 95% der theoret. Tauwirksamkeit erreicht
- Der Einfluss der Temperatur auf die Tauwirkung ist entscheidend wodurch hohen Anforderung an die Regelung der Versuchstemperatur entstehen.
- Feinkörniges Salz hat vor allem in der Anfangsphase eine bessere Tauwirkung.
- Die Tauwirkung nach Korngröße ist stark unterschiedlich - feines Korn reagiert schneller, grobes Korn dringt tiefer ein und kann einen Trennfilm zwischen Eisschicht und Fahrbahn erzeugen.

Schlussfolgerungen:

- Durch die bessere Verteilung über eine Fläche und die größere spezifische Oberfläche ist feinkörniges Salz rascher und gleichmäßiger in der Wirkung bei geringen flächenhaft auftretenden Feuchtigkeitsmengen wie z.B. bei Reifbildung.
- Grobkörniges Salz ist für das Entfernen von bereits festgefahretem Schnee bzw. Eis aufgrund der Tauwirkung wesentlich besser geeignet als feinkörniges Salz.

#### 4.7.3.3 Erkenntnisse aus der Bestimmung der Tauwirksamkeit flüssiger Taumittel

Erkenntnisse:

- $\text{CaCl}_2$ , Safecote (10% Beimengung zu NaCl-Sole) und Supermix - Solen erzielen eine nach 3 Stunden 22% bzw. 31% höhere Tauwirksamkeit als 20%-ige NaCl-Sole trotz annähernd gleicher Gefrierpunkte.
- Die höheren Tauwirksamkeiten sind bei tieferen Temperaturen (unter  $-5^{\circ}\text{C}$ ) stärker ausgeprägt.

Schlussfolgerungen:

- Für Temperaturen unter  $-10^{\circ}\text{C}$  ist ein Einsatz von  $\text{CaCl}_2$ -Sole oder die Beimengung von Safe-cote aufgrund der in diesem Bereich signifikant höheren Tauwirksamkeit von Vorteil.
- Aufgrund des geringen Anteils der Sole bzw. der darin enthaltenen Beimengungen am Gesamtstreugut beschränken sich die praktisch erzielbaren Vorteile von  $\text{CaCl}_2$  bzw. Safecote auf das Verhindern des Anfrierens der Taumittels auf dem Streuteller bei Temperaturen unter  $-10^{\circ}\text{C}$  bei deutlich höheren Kosten.

#### 4.7.4 Ausblick und weitere Schritte

Im Folgenden wird ein Ausblick auf mögliche weitere Untersuchungen zur Überprüfungen von Taumitteln gegeben.

##### 4.7.4.1 Versuche zu Eutektik und Tauwirksamkeit

- Eutektik

Der Versuchsablauf zur Bestimmung des Gefrierpunktes wurde für die gebräuchlichsten Taumittel unterschiedlicher Konzentration durchgeführt. Weiter Prüfungen für neue Taumittel sind rasch möglich und erfordern einen Arbeitsaufwand von etwa 10 Stunden für die Erstellung einer kompletten Gefrierpunktcurve bis zu einer Tiefsttemperatur von  $-40^{\circ}\text{C}$ .

- Tauwirksamkeit fester Taumittel

Versuche zur Bestimmung der Tauwirksamkeit fester Taumittel können bei einer festgelegten Temperatur für eine Kornklasse mit  $D/d \leq 1,5$  mit einem Arbeitsaufwand von 12 Stunden für ein Taumittel durchgeführt werden. Für die Untersuchung bei unterschiedlichen Temperaturen ist aufgrund der Umstellung der Prüftemperatur mit einem erhöhten Arbeitsaufwand zu rechnen.

- Tauwirksamkeit flüssiger Taumittel

Tauwirksamkeit und Gefrierpunkt stehen nicht in linearem Zusammenhang zueinander, wodurch eine gesonderte Untersuchung der Tauwirksamkeit notwendig ist, um das Tauverhalten vergleichen zu können. Für die Untersuchung eines Taumittels bei festgelegter Temperatur muss mit einem Arbeitsaufwand von etwa 8 Stunden gerechnet werden.

##### 4.7.4.2 Ausblick Textureinfluss, Hydrohalit und Auftrocknung

- Einfluss der Textur auf die Griffigkeit bei variabler Niederschlagsmenge

Der Einfluss der Texturtiefe wie in Abschnitt 6.1 auf Seite 91 beschrieben, kann durch Messungen mittels SRT-Pendel im Labor untersucht werden. Dazu werden Bohrkerne mit einem Texturerfassungsgerät vermessen und danach mit dem SRT-Pendel in den Klimaschrank gestellt. Dort wird eine definierte Menge an Wasser aufgebracht, welche die Textur (teilweise) füllt. Danach wird das Wasser gefroren und die Griffigkeit mittels SRT-Pendel gemessen. Versuche bei verschiedenen Graden der Texturfüllung können Aufschluss über deren Einfluss auf die Griffigkeit geben.

- Griffigkeitsverlust durch rekristallisiertes Salz bzw. Hydrohalit auf der Fahrbahn

Bildet sich nach dem Ausbringen von Natriumchlorid eine Sole auf der Fahrbahn, so kann es bei großen Salzmengen zu einer Verunreinigung der Fahrbahn durch Kristallbildung kommen. Die Kristalle bestehen bei Auftrocknung der Sole und Temperaturen über  $0^{\circ}\text{C}$  aus reinem Halit ( $\text{NaCl}$ ) oder bei Temperaturen unter  $0^{\circ}\text{C}$  aus Hydrohalit ( $\text{NaCl}\cdot\text{H}_2\text{O}$ ). Mittels SRT-Pendel und einer Reihe von Versuchen bei unterschiedlicher kristallierter Salzmenge kann der resultierende Griffigkeitsabfall abgeschätzt werden.

- Bestimmung der Einflüsse auf die Auftrocknung der Fahrbahn

Die für das in Kap. 2.8 dargestellte Streumodell notwendige Kenntnis über das Auftrocknungsverhalten von Wasser auf der Fahrbahn konnte im Rahmen dieser Projektphase nicht näher betrachtet werden. Für eine vollständige Beschreibung der auf der Fahrbahn stattfindenden Vorgänge durch das Modell ist eine mathematische Beschreibung der Auftrocknung in Abhängigkeit von bekannten Faktoren (Verkehr, Witterung) zwingend erforderlich, um auf die Glättegefahr schließen zu können. Diese Abhängigkeit kann durch Beobachtungen der Filmdicken mittels berührungslosen Messmethoden bei gleichzeitiger Aufzeichnung von Verkehrs-, Wind- und Niederschlagsdaten erfolgen. Durch eine Energiebilanzrechnung und die physikalische Verdunstungseigenschaften können die beobachteten Werte in ein Rechenmodell eingebunden werden. Die derzeitigen Berechnungen im Modell basieren auf Literaturrecherchen sowie Einzelbeobachtungen im Rahmen eines weiteren Forschungsprojektes.

## 5. Feldmessungen

### 5.1 Griffigkeit und Fahrdynamik

#### 5.1.1 Griffigkeit

Als Griffigkeit bezeichnet man die horizontal übertragbaren Reibungskräfte zwischen Fahrbahnoberfläche und Fahrzeugreifen in Abhängigkeit von der Anpresskraft. Als Messgröße dient der Reibungsbeiwert  $\mu$ , welcher als Quotient der übertragbaren Horizontalkräfte zu den gleichzeitig wirkenden Normalkräften definiert ist.

$$\mu = \frac{H}{N}$$

Formel 05: Griffigkeitsbeiwert  $\mu$   
 $\mu$  Reibungsbeiwert [-]  
H Horizontalkraft, die am Körper zieht [N]  
N Normalkraft, die den Körper zu Boden drückt [N]

Anschaulich kann der Reibungsbeiwert an folgendem Beispiel dargestellt werden. Ein kistenförmiger Körper mit einer Masse von 100 kg liegt auf einer Fahrbahn. Der Reibungsbeiwert zwischen der Kiste und der Fahrbahnoberfläche soll  $\mu = 0,7$  betragen. Um die Kiste nun horizontal zu bewegen, muss mit einer Kraft, die 70 kg entspricht, angezogen werden. Diese Reibung entspricht der Gleitreibung, da die Kiste immer mit derselben Seite auf der Fahrbahn aufliegt und eine ausschließlich translatorische Bewegung (siehe Abb. 44) erfolgt. Die wichtigsten für den Reibungsbeiwert  $\mu$  bestimmenden Faktoren sind:

- Textur der Fahrbahn
- Verunreinigungen der Fahrbahnoberfläche
- Trockene oder feuchte Fahrbahn
- Wasser-, Schnee- oder Eisfilmdicke
- Schlupf
- Reifentyp (Sommer-, Winterreifen)
- Reifenprofil, -druck etc.

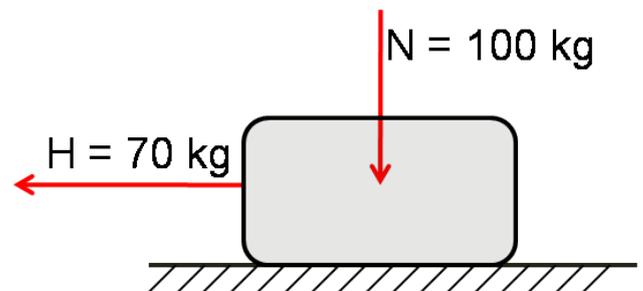


Abb. 44: Zusammenhang Horizontalkraft  $H$  & Vertikalkraft  $N$  bei einem Griffigkeitswert von  $\mu=0,7$

Für den Reibungsvorgang zwischen Rad und Straße ist der klassische Ansatz der Coulombschen Gleitreibungstheorie nicht zutreffend. Das angeführte Beispiel der Gleitreibung ist für die Kraftübertragung zwischen Fahrbahn und Gummi nur in Sonderfällen z.B. bei einem blockierenden Rad von Bedeutung. Zudem ist dieser Gleitreibungsvorgang aufgrund der Variabilität von Auflast und Geschwindigkeit vergleichsweise komplex. Durch die Weiterentwicklung der Fahrzeugtechnik befindet sich der Reifen bei neuen Fahrzeugen praktisch immer in einem Abrollvorgang, bei dem Kräfte (Brems-, Beschleunigungs- oder Seitenführungskräfte) übertragen werden. Blockierende Reifen, bei denen die Gleitreibung maßgebend ist, werden durch ABS verhindert. Ein Schleudern der Reifen ohne Kraftübertragung wird durch die weit verbreitete Antriebsschlupfregelung (ASR) verhindert.

Der in der Praxis auftretende Rollreibungsvorgang ist noch etwas komplexer als eine reine Gleitreibung, da hier noch der Schlupf (Unterschied zw. Umfangsgeschwindigkeit des Reifens und der Fahrgeschwindigkeit des KFZ) zu beachten ist. Zum Zweck des Grundverständnisses des Reibungsbeiwertes ist die hier getroffene Beschreibung mittels Gleitreibung ausreichend, detailliertere Betrachtungen zum Thema finden sich unter anderem in [KLUGER-EIGEL, 2009].

Von praktischer Bedeutung ist der Reibungskoeffizient einerseits für Straßenbenutzer, da diese meist davon ausgehen, dass auf dem höherrangigen Straßennetz die erlaubten Höchstgeschwindigkeiten gefahren werden können. Insbesondere wesentlich ist dies für die Fälle der sicheren Kurvenfahrt und der Verfügbarkeit eines angemessenen Bremsweges. Für den Straßenbetreiber ist der Reibungskoeffizient ebenfalls als wichtige Kenngröße des Straßenzustands von Bedeutung. Dies vor allem auch deswegen, weil er messbar ist und es für Autobahnen und Schnellstraßen definierte Mindeststandards gibt, die der Straßenerhalter zu gewährleisten hat. In Tabelle 06 wird diese Beurteilung des Straßenzustandes hinsichtlich der Griffigkeit gemäß RVS 13.01.15 (2006) dargestellt.

Die angegebenen  $\mu$  - Werte beziehen sich auf Messungen mit dem RoadSTAR mit 60km/h, einem definierten Schlupf von 18% und einem genau definierten Wasserfilm (100 l/min) und sind nicht mit jenen des ebenfalls genormten GripTesters zu verwechseln, dessen Werte etwas geringer sind.

Tabelle 06: Griffigkeitsklassen des neuen österreichischen Bewertungshintergrundes 1996 (für A+S Netz)

<b>Griffigkeitsklasse</b>	<b>Summenhäufigkeit</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Reibungsbeiwert</b>
Sehr gut	30	I	> 0,75
Gut	70	II	0,59 - 0,75
Ausreichend	90	III	0,45 - 0,59
Schlecht	95	IV	0,38 - 0,45
Sehr schlecht	100	V	< 0,38

Der Reibungsbeiwert  $\mu_{\text{RoadSTAR}} = 0,38$  stellt den Schwellenwert für Sofortmaßnahmen auf dem hochrangigen Straßennetz in Österreich dar. Bei Straßenabschnitten mit geringerer Griffigkeit muss der Straßenerhalter umgehend Maßnahmen zur Erhöhung der Griffigkeit treffen, da er sonst Gefahr läuft im Falle eines Unfalles haftbar gemacht zu werden. Dieser rechtliche Aspekt betrifft in Österreich in erster Linie die ASFINAG, die aufgrund der Bemaßung eine besondere Sorgfalt an den Tag zu legen hat. Praktisch bedeutet das im Gegensatz zu dem übrigen Straßennetz bereits eine Haftung bei leichter Fahrlässigkeit statt grober Fahrlässigkeit und eine Beweislastumkehr zuungunsten des Straßenerhalters (ASFINAG).

Generell sind gemäß den Richtlinien geplante Straßen in Österreich sowohl bei trockener, als auch nasser Fahrbahn sicher befahrbar d.h. es bestehen in den festgelegten Mindestgrößen der Projektierungsparameter ausreichende Reserven. Bei Schnee- und Eisglätte an hochrangigen Straßen und den vergleichsweise großen Kurvenradien ist vor allem die Verlängerung des Bremsweges problematisch, wodurch vor allem bei schlechter Sicht Massenkarambolagen auftreten können. Auf bestehenden Landesstraßen sind auch Kurvenunfälle aufgrund der Reduzierung der möglichen Kurvengeschwindigkeit bei Glätte ein Thema.

### 5.1.2 Bedeutung der Griffigkeit für den Winterdienst

Die Bedeutung der Fahrbahngriffigkeit für den Winterdienst ist in den beiden Diagrammen in Abb. 45 für Bremswege und Abb. 46 für die mögliche Kurvengeschwindigkeit zu erkennen. Die Griffigkeit der Fahrbahn ist grundsätzlich abhängig von der Textur und den Polierwiderstand des Gesteins. Sie ist langfristig gesehen relativ konstant (Abnutzung geschieht längerfristig). Problematisch sind die witterungsbedingten kurzfristigen Änderungen im Griffigkeitsniveau durch den Einfluss von Zwischenmedien (Wasser, Schnee und Eis), die zwischen Reifen und Fahrbahn auftreten können. Diese behindern den Kontakt des Reifens zur Fahrbahn zum Teil oder vollständig, wodurch der Reibungskoeffizient  $\mu$  absinkt und die übertragbaren Horizontalkräfte entsprechend reduziert werden.

Im Diagramm in Abb. 45 sind berechnete, theoretische Zusammenhänge von Reibungskoeffizient, Fahrgeschwindigkeit und Anhalteweg für die Fahrt auf einer ebenen Strecke und einer typischen Reaktions- und Ansprechzeit von zusammen 1,0 Sekunden dargestellt. Beispielhaft eingezeichnet sind die theoretischen Mindestanhaltewege für eine Fahrgeschwindigkeit von 130 km/h und groben Richtwerten von  $\mu$  für die Zwischenmedien Wasser, Schnee und Eis. Bei trockener Fahrbahn mit  $\mu = 0,6$  beträgt der Anhalteweg etwa 145 Meter (100%). Bei nasser Fahrbahn mit  $\mu = 0,4$  verlängert sich der Anhalteweg auf etwa 205 Meter (125%) und ist damit meist noch in einem Bereich, der bei Regen auf Autobahnen einsehbar ist.

Befindet sich jedoch Schnee in der Rollspur der Fahrbahn so sinkt  $\mu$  auf 0,2 und darunter, wodurch der theoretische Mindestanhalteweg auf 360 Meter (250%) anwächst. Ist die Fahrbahn komplett vereist, steigt dieser um mehr als das 5-fache des Ausgangswertes bei trockener Fahrbahn an. Ein Anhalten vor einem stehenden Hindernis ist also bei einer Geschwindigkeit von 130 km/h bei Schnee und Eis in der Praxis kaum mehr möglich, da die Sichtweiten für diese Verhältnisse schon bei klarer Sicht nur selten ausreichen und z.B. bei Schneefall noch deutlich schlechter ist.

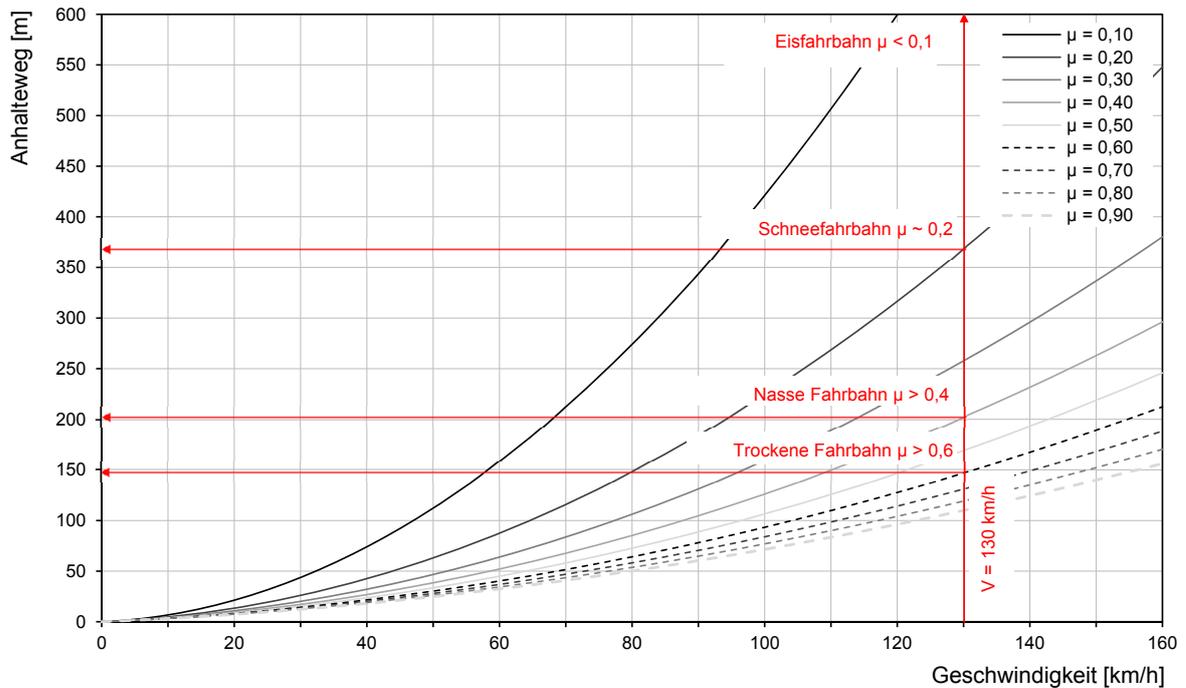


Abb. 45: Theoretische Mindestbremswege ( $t_r + t_a = 1s$ ) je nach Griffigkeitswerten mit Darstellung für typische trockene und nasse Fahrbahn sowie Schnee- und Eisfahrbahn (Berechnung mit Längsneigung  $s=0\%$ )

$$s_{ges} = v_0(t_r + t_a) + \frac{v_0^2}{2 \cdot g \cdot (\mu_1 \pm (s/100))}$$

Formel 07:

Anhalteweg

$v_0$	Geschwindigkeit [m/s]	(36,11 m/s)
$t_r$	Reaktionszeit [s]	(1s)
$t_a$	Ansprechzeit [s]	(in $t_r$ enthalten)
$g$	Erdbeschleunigung [m/s <sup>2</sup> ]	(9,81 m/s <sup>2</sup> )
$s$	Längsneigung [%]	(0%)
$\mu$	Reibungsbeiwert [-]	(variabel)

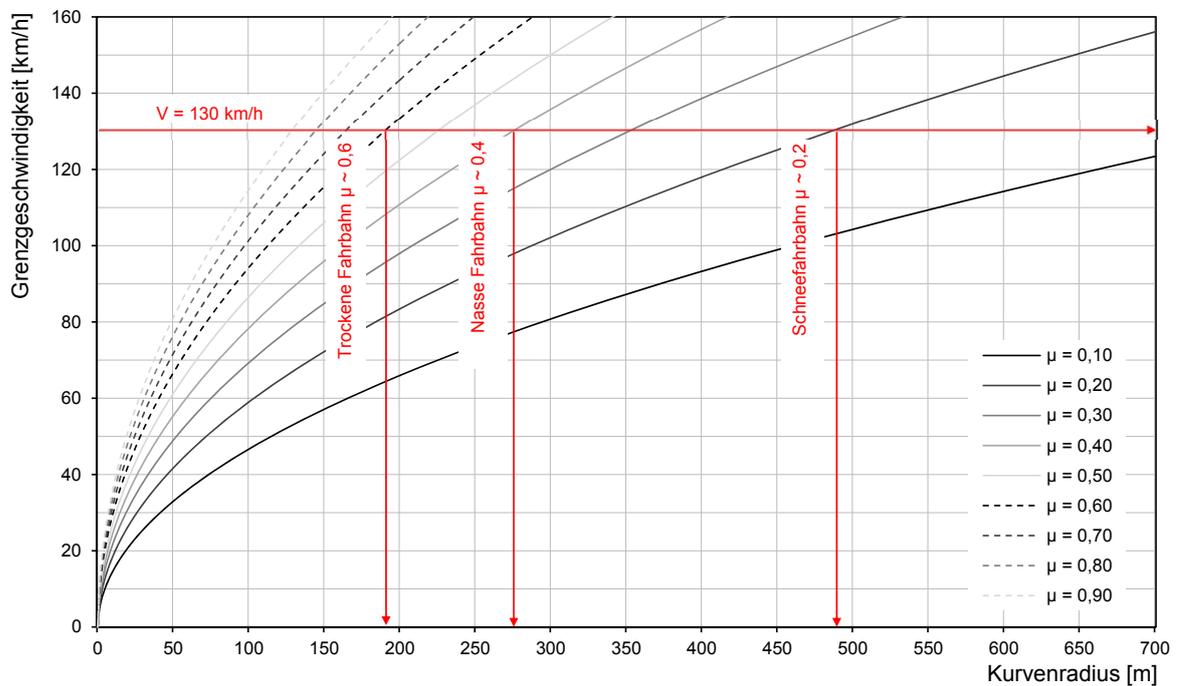


Abb. 46: Maximale theoretische Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Griffigkeitswerte für einen gegebenen Kurvenradius, die jedoch aufgrund von Fahrfehlern, Unebenheiten und fahrdynamischen Einflüssen praktisch kaum erreichbar ist (Berechnung mit Querneigung  $q=7,0\%$ )

$$v_{zul} = \sqrt{\frac{R \cdot g \cdot (\mu + q)}{1 - \mu \cdot q}}$$

Formel 06:

Grenzgeschwindigkeit

$R$	Kurvenradius [m]
$g$	Erdbeschleunigung [m/s <sup>2</sup> ]
$q$	Querneigung [%]
$\mu$	Reibungsbeiwert [-]

Die maximale theoretische Kurvengeschwindigkeit, bei gegebener Griffigkeit und Querneigung einer Kurve ist in Abb. 46 dargestellt. Diese rechnerischen Grenzwerte können jedoch aufgrund von Fahrfehlern, Unebenheiten und fahrdynamischen Einflüssen praktisch kaum erreicht werden. Der Abstand zwischen theoretischer Kurvengeschwindigkeit und praktisch zulässiger Kurvengeschwindigkeit gemäß den einschlägigen Normen und Vorschriften stellt sicher, dass ausreichende Reserven vorhanden und eine sichere Kurvenfahrt auch bei ungünstigen Umständen möglich sind.

Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 130 km/h und einer Querneigung von 7,0% ergibt sich ein Grenzradius zu 190 Metern bei trockener Fahrbahn, 276 Metern bei nasser Fahrbahn und 490 Metern bei Schneefahrbahn. Für eine Kurvenfahrt auf einer reinen Eisfahrbahn mit 130 km/h würde man mit 785 m den fünffachen Radius im Vergleich zur trockenen Fahrbahn benötigen. Durch die vorgeschriebenen Mindeststradien von 400 Metern bei Autobahnen tritt das Problem der Grenzgeschwindigkeit meist nur in Bereichen von Anschlussstellen sowie Schnee- und Eisfahrbahn auf. Der starke Anstieg der notwendigen Bremswege bzw. Kurvenradien bei Schnee und Eisfahrbahn über die Richtwerte der RVS 03.03.23 zu „Trassierung - Linienführung“ zeigen die hohe Bedeutung des Winterdienstes für sichere Straßen. Da eine durchgehend Schnee- und eisfreie Fahrbahn jedoch mit vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand in Österreich praktisch nicht erzielbar ist, kommt einer verantwortungsvollen angepassten Fahrweise eine mindestens ebenso hohe Bedeutung zu.

## 5.2 Prüfgeräte Griffigkeit und Filmdicke

### 5.2.1 GripTester

Die Griffigkeit der Fahrbahn wurde mit dem GripTester MKII der Firma Findley-Irvine gemessen. Das Gerät hat drei Reifen, wovon zwei die an einer Achse sitzenden Laufräder sind und das Messrad über eine Kette antreiben. Die Übersetzung des Kettenantriebes ist so gewählt, dass der Messreifen einen konstanten Schlupf von 15 % hat. Für die Messungen im Rahmen dieses Projektes wurde eine Messgeschwindigkeit vom 60 km/h mit 3 km/h Toleranzgrenze festgelegt. Die Messungen werden kontinuierlich mit einer Messauflösung von ca. 1 Meter durchgeführt und laufend über einen Laptop aufgezeichnet bzw. überwacht [KLUGER-EIGL, 2009].

Im Normalfall wird für Griffigkeitsmessungen mit Messreifen wie z.B. dem GripTester ein definierter Wasserfilm aufgebracht, um den kritischeren Griffigkeitsbeiwert bei nasser Fahrbahn messen zu können. Im vorliegenden Fall wurde dies jedoch aus mehreren Gründen nicht als zielführend angesehen und stattdessen direkt die tatsächliche Griffigkeitssituation im Streuumlauf gemessen. Die Gründe für die Abweichung von der üblichen Messprozedur lagen einerseits darin, die jeweilige tatsächliche Situation (zusammen mit der gemessenen Filmdicke) möglichst wirklichkeitsnahe abzubilden und andererseits um eine Verkehrsgefährdung durch einen bei Minusgraden aufgetragenen Wasserfilm zu vermeiden.

Die wesentliche Unbekannte im Streumodell bzw. für die Griffigkeitsmessungen stellen die Zwischenmedien Schnee, Eis bzw. Schneematsch dar, für die mit dem GripTester noch keine ausreichenden Erfahrungen vorlagen. In den skandinavischen Ländern wurden zwar Griffigkeitsmessungen auf Schnee durchgeführt - allerdings mit anderen Messsystemen bzw. (profilierten) Messreifen und ohne genauere Untersuchung des Zwischenmediums zwischen dem Messreifen des



Abb. 47: Messanordnung für die Feldmessungen von Griffigkeit und Filmdicke

GripTesters und der Fahrbahn. Ein weiteres Problem mit dem Zwischenmedium stellt die Form des Messreifenprofils dar, dass im Gegensatz zum Messreifen des RoadSTAR bzw. üblicher KFZ-Reifen keine Profilierung aufweist. Durch den glatten Reifen kann das Zwischenmedium nicht bzw. nur in geringerem Ausmaß verdrängt werden, wodurch der Messreifen leichter die Haftung mit der Fahrbahn verliert bzw. ungünstigere Griffigkeitswerte misst, als das Verkehrskollektiv mit den typischen Winterreifen tatsächlich vorfindet. In jedem Fall liegt die gemessene Griffigkeit daher an der Untergrenze bzw. auf der sicheren Seite. Eine Umrechnung der mit dem Messsystem GripTester gemessenen Werte auf das System RoadSTAR findet sich u.a. in [SPITZER, 2010] basierend auf einer linearen Regression der Messwerte umfangreicher Vergleichsuntersuchungen.

### 5.2.2 Vaisala Kameras

Am Heck des Messfahrzeuges wurden auf einem Dachträger zwei optische Messgeräte der Firma Vaisala montiert, um die Filmdicke näher zu untersuchen (Abb. 47). Die beiden Kameras wurden im Zuge des Projektes von der ASFINAG zu Verfügung gestellt. Die Erfassungs- und Auswertesoftware zum Zeitpunkt der Messfahrten befand sich noch im Entwicklungszustand. Das System DST 111 (linke kleinere Kamera) diente zur Erfassung der Oberflächen- sowie Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit. Über die rechte größere Kamera wurden Art (Wasser, Schnee oder Eis) und Dicke des Zwischenmediums auf der Fahrbahn erfasst sowie ein vom System errechneter Griffigkeitswert angegeben. Die erfassten Daten wurden per GSM direkt an einen Server gesendet, von dem diese später wieder abgerufen werden konnten. Zudem konnten die Messwerte über einen kleinen Kontrollterminal im Fahrzeug laufend überwacht werden.

Da nur ein Messwert alle 2 bis 5 Sekunden per GSM übertragen wurde, ergaben sich im Gegensatz zum GripTester Abschnittslängen von 20 bis 80 Metern. Weiters gab es keinen direkten Zugriff auf die Rohdaten der Messinstrumente, was eine Beurteilung der Wiederholgenauigkeit zusammen mit den vergleichsweise großen Messabschnittslängen erschwert. Die Messachse des Vaisala-Systems liegt genau in der rechten Radspur des Messfahrzeuges und damit etwa 20 cm rechts der Messachse des GripTesters. Eine Messung in der gleichen Achse ist jedoch aufgrund der Fahrzeuggeometrie (Deichsel im Sichtfeld der Kameras) nicht möglich. Die Abweichung von 20 cm bewegt sich jedoch im Rahmen der typischen Rollspurbreiten und hat daher keinen wesentlichen Einfluss.

Als problematischer stellte sich die große Abschnittslänge der Filmdickenmessungen dar, da einzelne Schneeverwehungen zwar über einen kurzen Abfall der Griffigkeit erfasst wurden, jedoch durch die Mittelwertbildung im längeren Messabschnitt der Vaisala - Kameras kaum einen Einfluss auf die gemessene Filmdicke haben können. Aus diesem Grund wurde bei der späteren Auswertung der Daten immer das Mittel der Griffigkeit bzw. Filmdicke eines gesamten Messabschnittes betrachtet.

## 5.3 Vorversuche - Griffigkeitsmessungen Parkplatz

Im Rahmen des Forschungsprojektes waren Griffigkeitsmessungen auf einem Parkplatz der A10 bei Kuchl vorgesehen, um die zeitliche Entwicklung der Griffigkeit nach dem Streuvorgang zu dokumentieren. Die Verwendung eines für den Verkehr gesperrten Parkplatzes erlaubt es Straßenzustände entstehen zu lassen, die auf Straßen unter fließendem Verkehr aus Sicherheitsgründen nicht verantwortbar sind. Die Griffigkeit wird mit dem GripTester MKII gemessen, der eine kontinuierliche Messung über längere Messstrecken erlaubt. Der Parkplatz wurde vor Beginn der Versuche weder geräumt noch gestreut, womit eine frei einteilbare Fläche mit gleichmäßiger Schneedecke von etwa 10 cm Dicke zu Verfügung stand. Durch Winterdienstfahrzeuge der ABM Golling wurden für die Messungen drei Streifen mit etwa 3,5 m Breite und 40 m Länge geräumt und mit verschiedenen Streumitteln gestreut. Zudem stand eine Vergleichsstrecke mit einer ungeräumten Schneedecke zur Verfügung, wodurch auch Griffigkeitswerte für eine ungeräumte Schneefahrbahn ermittelt werden konnten. Auf allen Strecken wurde vor und nach dem Streuen mehrmals gemessen, um den zeitlichen Verlauf der Griffigkeit abbilden zu können.

Für die Dokumentation des Streubildes auf dem Parkplatz wurde abermals auf die Thermokamera Testo IR880 zurückgegriffen. In Abb. 44 ist der Temperaturverlauf eines Messabschnittes vor und nach der Streuung (FS30) von 20 g/m<sup>2</sup> NaCl thermografisch dargestellt. Vor der Streuung liegt die

mittlere Temperatur des geräumten Streifens im Mittel knapp unter  $-5^{\circ}\text{C}$ , wobei noch eine Radspur mit eingetragenen Schnee quer zum Streifen erkennbar ist. In der Aufnahme darunter sind die geschwungenen Linien des Streumittels (blau gepunktete Linie) erkennbar, welche durch die streifenförmige Verteilung des Streusalzes auf der Fahrbahn entstehen, die durch die Drehbewegungen des Streutellers erzeugt werden. Die auftauende Wirkung des Salzes am Parkplatz ist gemäß den Beobachtungen auch nach längerer Zeit nur auf die Streufahnen begrenzt, da sich das Salz nicht von selbst weiter fortbewegen kann. Die notwendige weitere Verteilung des Streusalzes in Längsrichtung erfolgt erst durch die in dieser Phase fehlende Einwirkung des Verkehrs auf der Straße.

Bei den in Zeitintervallen von 30 Minuten stattfindenden Griffigkeitsmessungen konnte infolge des fehlenden Verkehrseinflusses trotz einer Wirkzeit von 180 Minuten keine völlig vom Schnee befreite Fahrbahn entstehen. Aufgrund des anfangs unterschätzten Einflusses des Verkehrs auf die Wirkung des Taumittels wurden keine weiteren Parkplatzmessungen nach dem Abschluss des Messszenarios mehr durchgeführt.

Trotz der nicht vollständig gegebenen Wirkung des Taumittels kam es am Parkplatz allein durch das Entfernen des Schnees im Räumvorgang zu einer wesentlichen Erhöhung der Griffigkeit auf  $\mu = 0,24$  vor der Streuung gegenüber der Schneefahrbahn mit einer gemessenen mittleren Griffigkeit von  $\mu = 0,12$ , wie der Vergleich mit der Messreihe auf reiner Schneefahrbahn (Abb. 49) zeigt. Diese Verbesserung ist auf den Kontakt des Reifens mit der teilweise freigelegten Textur der Fahrbanoberfläche zurückzuführen. Bei Referenzmessungen im Frühjahr bei feuchter Fahrbahn lag die Griffigkeit des Parkplatzes mit  $\mu = 0,8$  im Vergleich dazu deutlich höher. Nach der Streuung am geräumten Parkplatz wurde eine geringe Abnahme der Griffigkeit von 0,24 (geräumten, ungestreuten) auf 0,20 bzw. 0,19 nach 30 bzw. 60 Minuten gemessen. Diese Abnahme aufgrund der Streuung stimmt mit der Beobachtung überein, wonach der Schnee im Tautvorgang eine schmierige Konsistenz annimmt.

In Hinblick auf die für den Verkehr bei Schneematsch tatsächlich verfügbare Griffigkeit kann anhand des profillosen Messreifens im Gegensatz zu profilierten Winterreifen und größeren Achslast derzeit keine zuverlässige Aussage getroffen werden. Generell kann jedoch daraus gesichert abgeleitet werden, dass es nach der Streuung zu einem Abfall der Griffigkeit kommt, bis die Konsistenz des verbleibenden Schnees weich genug ist, um eine Verdrängung bzw. einen Kontakt des Reifens mit der Fahrbahn zuzulassen. Insgesamt haben die Vorversuche am Parkplatz die Eignung der angewendeten Messverfahren unter den gegebenen Bedingungen deutlich aufgezeigt. Für eine wirklichkeitsnahe Abbildung der Auswirkung der Räumung und Streuung auf die Griffigkeit gemäß dem skizzierten Streumodell ist jedoch eine Einbeziehung der Verkehrswirkungen und damit ein Test auf der Straße unerlässlich.

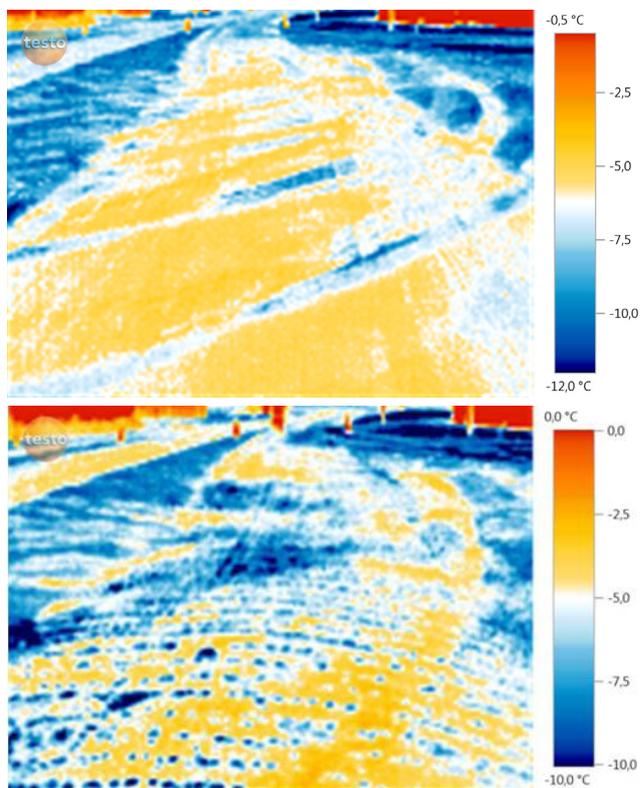


Abb. 48: Thermografie des geräumten Streifens vor der Streuung (oben) und nach der Streuung (unten) mit klar erkennbaren Streufahnen

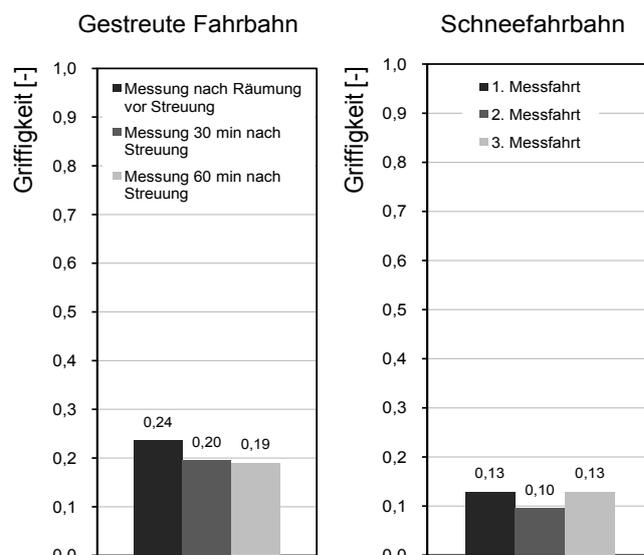


Abb. 49: Mittlere Griffigkeit einer geräumten und gestreuten Fahrbahn sowie einer Schneefahrbahn mit einer Länge von etwa 40 Metern

## 5.4 Hauptversuche - Griffigkeitsmessungen Straße

Für die Wahl einer geeigneten Messstrecke wurden eine Reihe von Anforderungen gestellt. In unmittelbarer Nähe der Probestrecke sollte sich (auf demselben Straßenzug) eine Anlage zur automatischen Erfassung der Verkehrsstärke befinden, um den Einfluss des Verkehrs berücksichtigen zu können. Nach Möglichkeit sollte zudem keine Möglichkeit einer Zu- oder Abfahrt entlang der gesamten Messstrecke bestehen, um die ansonsten auftretende Verfälschungen der Ergebnisse zu vermeiden.

Zudem muss die Messstrecke lang genug sein, um die Bildung einzelner Abschnitte zur Messungen verschiedener Taumittel und Streumengen unter denselben Bedingungen (Wetter, Verkehr) zu ermöglichen bzw. im direkten Vergleich betrachten zu können. Diese Abschnitte sollten weiters so lang sein, dass aussagekräftige Messungen möglich sind, aber keine zu großen Entfernungen, besonders bei der Rückfahrt, überwunden werden müssen, damit ein gewisser Zeitintervall der Wiederholungsmessungen eingehalten werden kann. Um den Witterungseinfluss bzw. die Niederschlagsmenge festzustellen, ist eine automatische Wetterstation in der Nähe der Messstrecke notwendig.

Die Wetterdaten sind von Meteorologen auszulesen und in eine für die Auswertung geeignete Form zu bringen. Dazu sind vor allem die tatsächlich gefallenen Niederschlagsmengen für die Zeiträume zwischen den Messfahrten zu ermitteln. Schließlich sollte die Messstrecke auch so gelegen sein, dass mit mehreren Schneefalltagen in einem Winter zu rechnen ist. Dabei sind für klimatologisch verschiedene Regionen nicht unbedingt verschiedene Messstrecken notwendig, da bei gezieltem Messeinsatz die typischen Wetterszenarien erfasst werden können und diese anhand von Wetteraufzeichnungen in ihrer Häufigkeit den einzelnen Regionen zugeordnet werden können.

Alle genannten Kriterien werden von dem ausgewählten Streckenabschnitt auf der A10 Tauernautobahn von km 33 bis km 42 (Abb. 50) erfüllt. Die Trennung der Abschnitte erfolgt durch etwa 500 m lange Tunnel, die eine Verschleppung des Taumittels eines Abschnittes in einen anderen verhindern, da in den Tunnel nicht gestreut wird. Die Messlänge der einzelnen Abschnitte beträgt zwischen 1,2 km und 2,5 km und ist damit ausreichend lang. Durch diese natürliche Trennung können zur gleichen Zeit verschiedene Streumittel und Streumengen ausgebracht werden und die Unterschiede in der Wirkung bei gleicher Verkehrsbelastung und Witterung untersucht werden. Lokale Unterschiede im Mikroklima (Ende von Lärmschutzwänden, Schneeeintrag durch Wien, Kunstbauten etc.) können jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden, ihr Einfluss ist aber bezogen auf die Gesamtstrecke der Teilabschnitte gering. Die Verkehrsmenge wurde über die automatische Zählstelle Golling der ASFINAG ermittelt.

Die Messfahrten wurden gezielt an Schneefalltagen durchgeführt, um die Auswirkungen von Schneefallintensität, Streumittelausbringung und Filmdicken auf die Griffigkeit zu untersuchen. Die drei Abschnitte wurden in einer durchgehenden Messfahrt aufgenommen und diese anschließend anhand der erkennbaren Übergänge bei Tunnelportalen in die Einzelabschnitte getrennt. Die Messfahrten wurden in Abstimmung mit den Winterdienstmitarbeitern so durchgeführt, dass eine Fahrt vor der Streufahrt und die weiteren Fahrten mit zunehmendem Zeitabstand nach der Streufahrt stattfanden. Damit wurde dem Umstand Rechnung getragen, dass der Streueinfluss mit der Zeit sukzessive abnimmt.

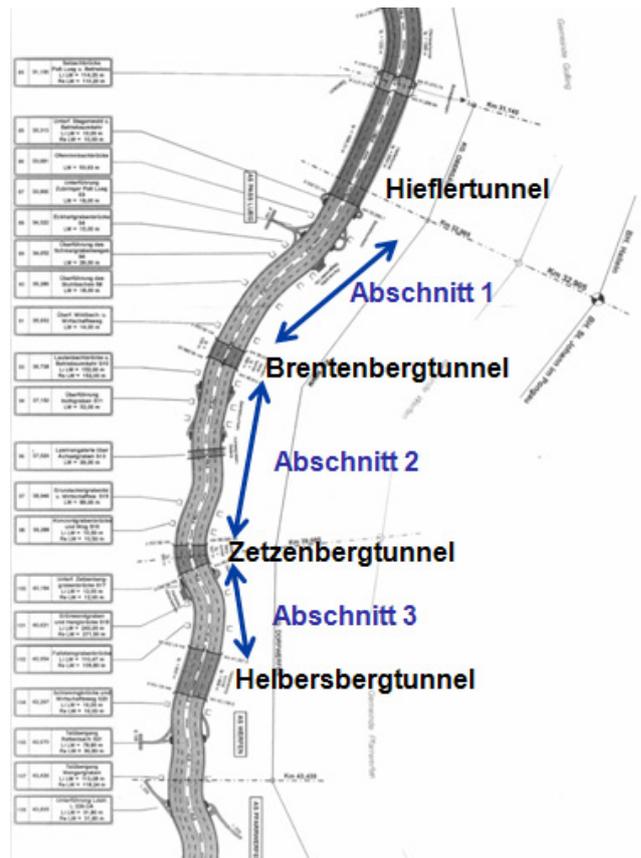


Abb. 50: Abschnittsbildung auf der Messstrecke an der A10 im Bereich der Anschlussstellen Pass Lueg - Werfen

Aufgrund der langen Messstrecke und der definierten Messgeschwindigkeit von 60 km/h ergibt sich ein Mindestabstand von 30 Minuten zwischen den Messfahrten. Das Ende des Messzyklus ist hingegen durch die nächste Streufahrt definiert. Da die Messungen unter fließendem Verkehr gemacht wurden, konnte nicht gezielt eine beliebig hohe Schneedecke und damit ein starker Griffigkeitsabfall zugelassen werden. Wie sich jedoch in den angeführten Beispielen zeigt, wird dieser Zustand selbst bei sehr engen Betreuungsintervallen schon bei mittlerer Schneefallintensität schnell erreicht. Zur Ausbringung der drei unterschiedlichen Solen (NaCl, CaCl, NaCl+Safecote) in der Feuchtsalzstreuung FS30 wurden drei Streufahrzeuge benötigt, welche die jeweilige Sole getankt hatten und nur einen Abschnitt streuten. Aufgrund dieser hohen logistischen Anforderungen und dem Ausbleiben signifikanter Unterschiede zwischen den Streumitteln wurden nur wenige Messfahrten mit diesem Aufwand betrieben.

### 5.4.1 Zusammenhang Griffigkeit - Streumittel

Zum Vergleich der Auswirkung auf die Griffigkeit wurden am 13.01.2010 (trockener Tag mit Reifbildungspotential) in den drei Abschnitten der Messstrecke eine Feuchtsalzstreuung FS30 bei gleicher Streumenge (Trockenanteil =70% NaCl) aber unterschiedlicher Solezusammensetzung gestreut. Der verwendete Soleanteil von 30% bestand aus reiner NaCl - Sole (20% Sättigung), reiner CaCl - Sole (23% Sättigung) und einer NaCl-Sole mit 10%iger Safecotebeimengung. Die Messungen fanden über einen Zeitraum von etwa neun Stunden statt, so dass auch eine mögliche früher nachlassende Wirkung eines Streumittels beurteilt werden konnte. Die Fahrbahntemperatur lag an diesem Tag bei etwa -10°C, die Lufttemperatur bei etwa -4°C. Im gesamten Messzeitraum wurde kein Niederschlag aber dafür eine geringfügige Reifbildung auf der Fahrbahn beobachtet.

Die über die gesamte Abschnittslänge gemittelten Griffigkeitswerte sind in Abb. 51 bis Abb. 53 dargestellt und weisen unabhängig vom eingesetzten Streumittel weitgehend den gleichen Verlauf auf. Die in den Abbildungen gewählte Form der Darstellung bezieht die durchgeführten Messungen jeweils auf die Erstmessung unmittelbar vor der Einsatzfahrt. Das Niveau der Griffigkeit ist aufgrund der weitgehend trockenen Fahrbahn mit einem Wert  $\mu \geq 0,8$  sehr hoch. Die zweite Messfahrt des Zyklus unmittelbar nach der Streufahrt bringt einen kleinen Einbruch in der Griffigkeit um etwa fünf Prozentpunkte bei jedem der angewendeten Streumittel. Danach kommt es zu keiner signifikanten Veränderung in der Griffigkeit bis zum Auftrocknen der Fahrbahn und dem damit verbundenen Griffigkeitsanstieg bei der letzten Messfahrt etwa neun Stunden nach der Einsatzfahrt.

Die geringfügigen Schwankungen der Griffigkeitswerte von Messfahrt zu Messfahrt lagen innerhalb der erwarteten Wiederholgenauigkeit. Im Gesamtbild zeigt sich, dass die Griffigkeit durch das Aufbringen des Taumittels etwas verringert wird, das Niveau der Griffigkeit jedoch so hoch bleibt, dass keine Gefährdung für den Straßennutzer eintreten kann. Zudem wirkt die Streuung einer möglichen Glättebildung aufgrund von Reif oder Niederschlag entgegen. Die drei getesteten Solemischungen zeigen keinen Unterschied in der Griffigkeitsentwicklung und können daher rein unter den Gesichtspunkten Tauwirkung und Kosten betrachtet werden. Zu einer Aussage über die Griffigkeit bei der Aufbringung der Solen bei einer reinen Solestreuung können diese Ergebnisse jedoch nicht herangezogen werden.

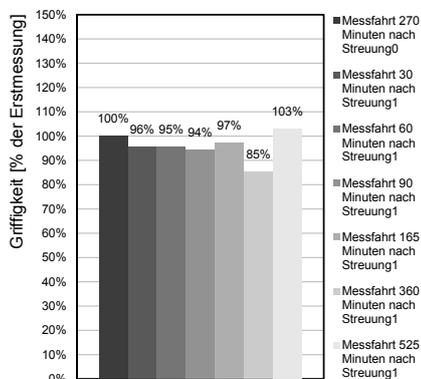


Abb. 51: Griffigkeit in Abschnitt 1 am 13.01.2010 Richtung Salzburg; NaCl (100% = 0,86)

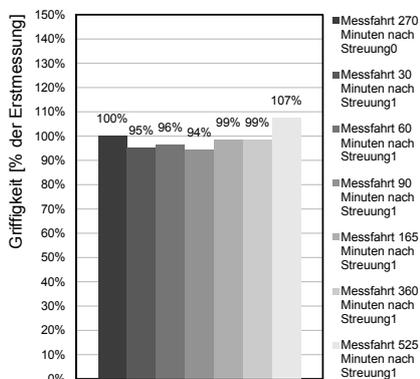


Abb. 52: Griffigkeit in Abschnitt 2 am 13.01.2010 Richtung Salzburg; CaCl (100% = 0,85)

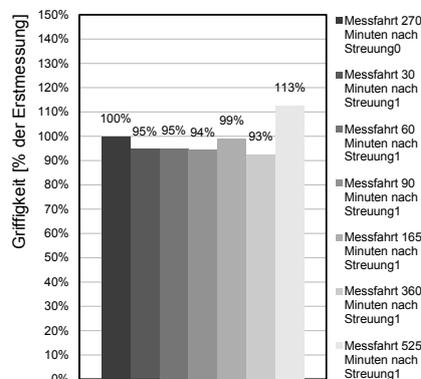


Abb. 53: Griffigkeit in Abschnitt 3 am 13.01.2010 Richtung Sbg; Safecote (100% = 0,84)

## 5.4.2 Auswirkungen des Niederschlags auf die Griffigkeit

Der Griffigkeitsbeiwert bleibt bei entsprechender Ausgangsgriffigkeit im feuchten Zustand auch für wechselnden Fahrbelag mit  $\mu \geq 0,4$  im Wesentlichen immer so hoch, das der gemäß StVO fahrende Straßennutzer die Kurven sicher durchfahren kann und einen entsprechenden Bremsweg vorfindet. Wird jedoch der Kontakt des Reifens mit der Fahrbahn teilweise oder ganz durch ein Zwischenmedium gestört, kann es zu einem deutlichen Griffigkeitsabfall  $\mu \leq 0,4$  kommen. Dieses Zwischenmedium ist in der Regel ein Niederschlag in Form von Regen oder Schnee bzw. Eis.

Im Falle von Wasser wird das Zwischenmedium weitgehend durch das Profil der Reifen verdrängt, wodurch fast immer eine noch ausreichende Kontaktfläche Fahrbahn-Reifen gegeben ist. Aquaplaning kann in der Regel nur bei großen Wasserfilmtiefen durch Spurrinnen und Geschwindigkeiten  $\geq 70$  km/h auftreten. Ein solcher Fahrbelagzustand ist potentiell gefährlich, kann jedoch in der Regel vom Straßennutzer aufgrund der Sprühfahnen der vorher fahrenden Fahrzeuge bzw. dem Fahrverhalten des Fahrzeugs erkannt werden. Zudem tritt ein solcher Fahrbelagzustand bei ausreichenden Entwässerungsverhältnissen meist nur während eines Starkregenereignisses auf, bei dem es fraglich ist, ob überhaupt die notwendigen Sichtweiten für eine Geschwindigkeit  $\geq 70$  km/h gegeben ist.

Bei einem Zwischenmedium aus Schnee ist eine Verdrängung allein durch das Reifenprofil nur begrenzt möglich und hängt u.a. von Schneekonsistenz, Schichtdicke, Profil etc. ab. Als Folge davon verringert sich die unmittelbare Kontaktfläche des Reifens mit der Fahrbahn während eines Schneefallereignisses sukzessive (Abb. 54). Bei trockener Fahrbahn ist die Kontaktfläche Reifen - Fahrbahn noch ungestört und damit die volle Übertragung großer Horizontalkräfte möglich. Füllt sich die Textur der Fahrbahn langsam mit dem Zwischenmedium, so wird diese Kontaktfläche des „Reifenlatsch“ reduziert [BLAB, 2001].

Wird die Menge des Zwischenmediums durch anhaltenden Niederschlag weiter erhöht oder ist die Fahrbahntextur weitgehend aufgefüllt, so verbleiben nur mehr die obersten Spitzen der Fahrbahntextur für die Kraftübertragung übrig. In diesem Fall muss die Geschwindigkeit bereits deutlich reduziert werden, um weiterhin eine sichere Fahrt zu ermöglichen. Bedeckt das Zwischenmedium die Fahrbahn gänzlich so kann im Fall von Schnee und Eis kein direkter Kontakt zwischen Reifen und Fahrbahn mehr hergestellt werden und die Griffigkeit fällt drastisch auf Werte  $\mu \leq 0,2$  ab. In diesen Fällen ist eine sichere Fahrt nur bei starker Geschwindigkeitsreduktion möglich.

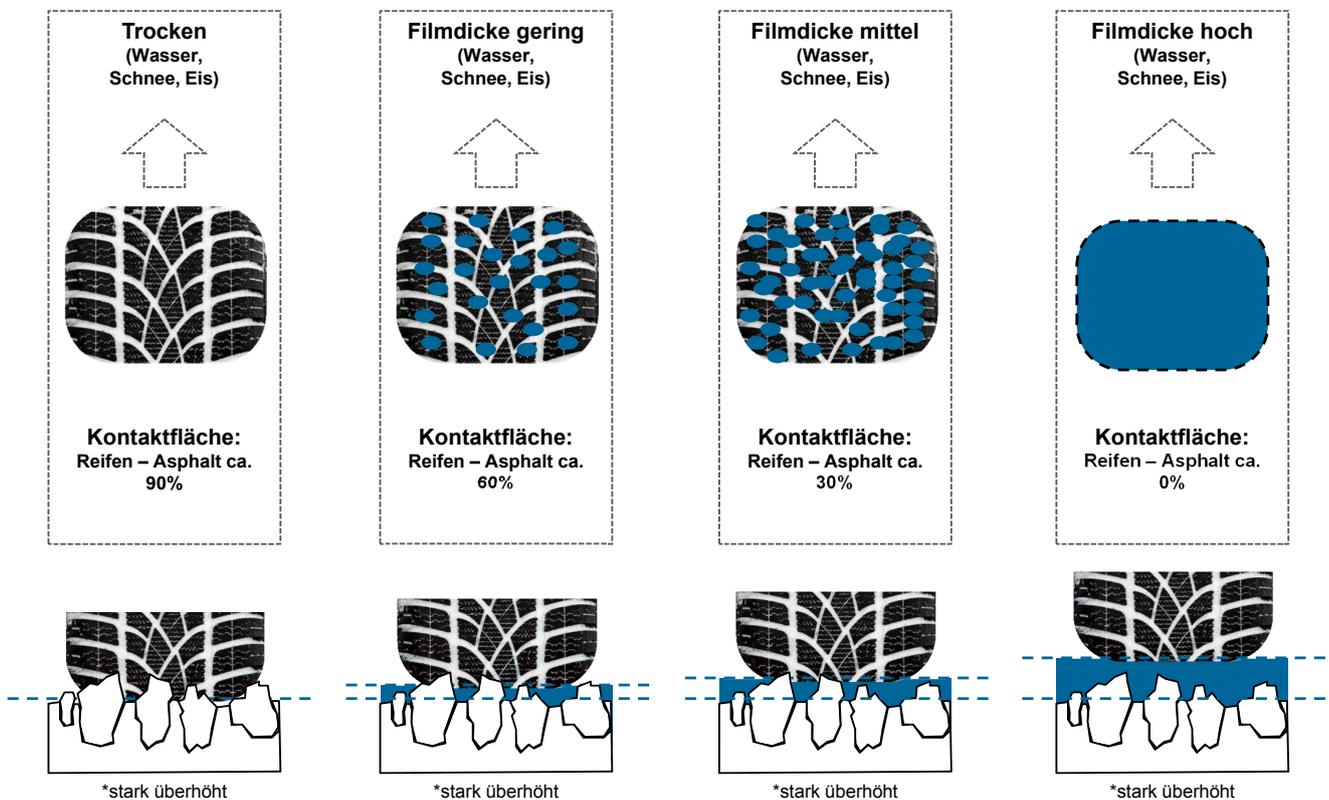


Abb. 54: Schematische Darstellung des Einflusses des Niederschlags und der damit verbundenen Texturfüllung auf die Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn und damit die Griffigkeit

Grundsätzlich wird in der Literatur zwischen Mikrotextur und Makrotextur unterschieden [z.B. MAURER, 2007], wobei es im vorliegenden Fall in Hinblick auf die Texturfüllung vor allem um die Makrotextur bzw. den Raum zwischen den Körnern und Reifen bzw. die daraus resultierende „Texturreserve“ geht. Auf Basis der Untersuchungen spielen die Texturreserve bei den üblichen großen Niederschlagsvolumina von Schneefällen nur bei Reifbildung bzw. bei einsetzendem Niederschlag eine wesentliche Rolle. Bei einer deutlich erkennbaren Textur reicht diese jedoch meist aus, um eine ausreichende Griffigkeit auch ohne Streuung bei Reifbildung zu gewährleisten. Für einsetzende Niederschläge definiert die Texturreserve den zeitlichen Spielraum des Winterdienstes bis zur vollständigen Füllung und dem damit einhergehenden drastischen Griffigkeitsabfall.

Für drei in Abb. 55 angeführten Wetterszenarien wurde Abschnitt 1 (SMA) von Kilometer 36,016 (Nordportal Brenntenbergstunnel) bis Kilometer 33,260 (Südportal Hieflertunnel) in Fahrtrichtung Salzburg als Vergleichsstrecke gewählt, da in diesem Abschnitt mit NaCl-Sole FS30 gestreut wurde und dies die gebräuchlichste Variante ist. Die Messlänge ist in der Auswertung auf 2.400 m beschränkt, da zu Anfang und Ende jeweils etwa 150 Meter ausgeschieden wurden, um für alle Messfahrten vollständige Aufzeichnungen zu erhalten. Die drei erfassten Wetterszenarien können nunmehr in Hinsicht auf Niederschlagsmenge und Griffigkeit analysiert werden. Während der Verlauf der Griffigkeit in 50-Meter-Mittelwerten dargestellt ist, sind die anderen Messdaten Mittelwerte über die gesamte Abschnittslänge. Die Werte für Fahrbahntemperatur, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Filmdicke stammen aus Mittelwerten der Vaisala-Messinstrumente, die am Messfahrzeug montiert waren. Die Niederschlagswerte sind von dem technischen Büro BlueSky Wetteranalysen aus Aufzeichnungen nahegelegener Wetterstationen ermittelt worden. Die Niederschlagsmengen sind in Millimeter angegeben und beziehen sich auf den Zeitraum der dargestellten Messfahrt zur vorangegangenen Messfahrt.

Bei der Auswertung der Versuchsdaten konnten drei wesentliche Szenarien ausgemacht werden. Die Szenarien salznanne Fahrbahn, Übergangszone und Schneefahrbahn weisen deutliche Unterschiede im Griffigkeitsverlauf auf (Abb. 55) die im Wesentlichen durch die Texturfüllung und Konsistenz des Zwischenmediums (Abb. 54) erklärt werden können. Die gemessenen Griffigkeitswerte für salznanne Fahrbahn zeichnet sich durch einen gleichmäßigeren Verlauf und hohe Griffigkeitsbeiwerte zwischen  $\mu = 0,75 - 0,85$  aus. Im Übergangsbereich kommt es durch die zunehmende Texturfüllung zu starken Schwankungen der Griffigkeit aufgrund lokal entstehender Glättstellen, die nur schwer erkennbar sind mit  $\mu = 0,51 - 0,84$ . Bei starkem Schneefall wurde hingegen trotz Streufahrt ein stark abfallender Griffigkeitsverlauf mit Werten  $\mu = 0,11 - 0,40$  festgestellt. Auch in diesem Fall weist der Griffigkeitsverlauf Schwankungen aufgrund der unterschiedlichen Texturfüllung auf. Die gemessenen Werte in diesem Szenario lagen noch deutlich über der einer reinen Schneefahrbahn, da noch keine durchgehende Schneedecke bestand.

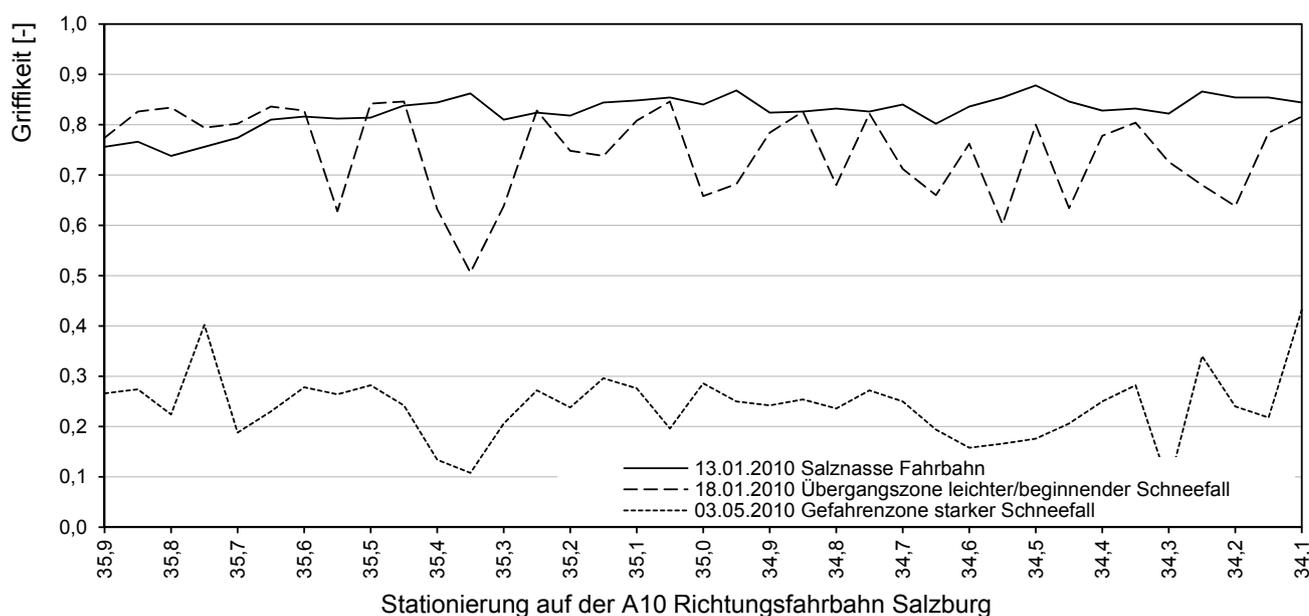


Abb. 55: Schematische Darstellung des Einflusses des Niederschlags und der damit verbundenen Texturfüllung auf die Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn und die resultierende Griffigkeit

### 5.4.2.1 Szenario: Salznasse Fahrbahn (13.01.2010)

Die Messfahrten am 13.01.2010 wurden in den frühen Morgenstunden in einer verkehrsschwachen Zeit durchgeführt. In diesem Zeitraum ist gewöhnlich auch mit der stärksten Reifbildung zu rechnen. Zudem war in dieser Nacht die Luftfeuchtigkeit mit etwa 90% ausreichend hoch, um ausreichend Feuchtigkeit für die Reifbildung zu liefern. Die Fahrbahn war demnach auch immer etwas feucht vom anfallenden Reif, es fiel jedoch kein weiterer Niederschlag. Eine lokale geringfügige Reduktion der Griffigkeit bei den Messfahrten 6,7 und 8 an einer Stelle hatte auf den gemittelten Griffigkeitswert praktisch keine Auswirkung (Abb. 56, oben, li). Bei der überwiegenden Anzahl der Messfahrten schwankt die Griffigkeit jedoch nur sehr gering, was durch den einheitlichen Fahrbahnbelag bedingt ist. An der Stelle der lokalen Griffigkeitsabfälle befinden sich eine Reihe kleiner Brücken oder Überführungen, die eine potentielle Gefahrenstelle bei Eisbildung darstellen. Über die gesamte Messstrecke gemittelt war die Filmdicke jedoch vernachlässigbar gering und betrug im Mittel max. 0,0035 mm und war auch in der grafischen Darstellung (Abb. 56, unten, li) kaum ablesbar.

Die erste Messfahrt war eine Nullmessung vor der Streuung, bei geringfügige Mengen an Restsalz von der Streuung am Abend des Vortages nicht auszuschließen waren. Die Messungen danach folgten in länger dauernden Zeitintervallen, um der aus den Modellüberlegungen stammenden logarithmischen Abnahmekurve der Restsalzmenge gerecht zu werden. Eine Abnahme der Griffigkeit analog zur Abnahme der Restsalzmenge (die bei diesen Messfahrten jedoch nicht erfasst wurde), konnte nicht festgestellt werden (= geringe Menge Zwischenmedium). Während der gesamten Morgenstunden blieb die Griffigkeit auf dem durchwegs hohen Niveau von etwa  $\mu = 0,8$ , wobei der einzige Ausreißer auf lokale Eisbildung zurückzuführen ist und mit einem stellenweisen Minimum von  $\mu_{GT} = 0,5$  immer noch der Griffigkeitsklasse „Gut“ entspricht (nach Umrechnung auf GripTesterwerte  $\mu_{RoadSTAR} = 0,67$ ).

Die dargestellten Mittelwerte (Abb. 56, rechts) der Wetterdaten zeigen einen konstanten Verlauf der Griffigkeit bei einer Niederschlagsmenge von 0 mm. Der Anstieg der Griffigkeit bei der letzten Messfahrt ist durch die Auftrocknung der Fahrbahn zu erklären, deren Temperatur sich dem Nullpunkt langsam nähert, während die Lufttemperatur schon bei  $>1^{\circ}\text{C}$  lag. Ein Einfluss der Temperatur auf das Ergebnis der Griffigkeitsmessungen ist nicht auszuschließen, liegt jedoch in einem Bereich, der im Vergleich zum Griffigkeitsabfall bei den Zwischenmedien Schnee/Eis nicht signifikanten ist. Der Abfall der relativen Luftfeuchtigkeit ist vor allem durch die höhere Sättigungskapazität der erwärmten Luft erklärt.

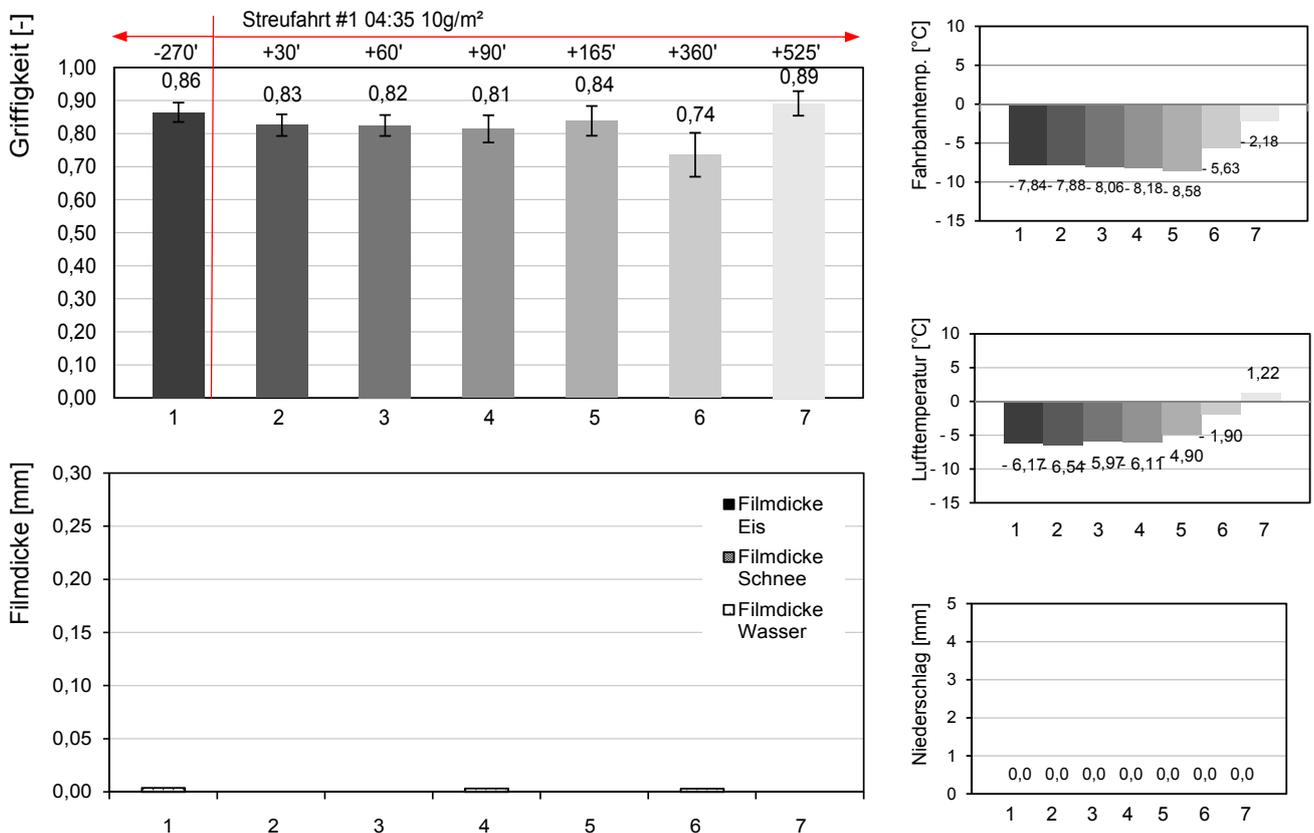


Abb. 56: Mittelwerte der Griffigkeit sowie Witterungsdaten vom 13.1.2010 in Fahrtrichtung Salzburg

Aus den Messungen folgt unmittelbar, dass keine Probleme mit der Griffigkeit bei üblicher Streuung auftreten, solange das Wasser auf der Fahrbahn nicht gefriert und eine gewisse Menge nicht überschreitet. Um das Frieren zu verhindern, muss die Salzkonzentration in dem Wasserfilm so hoch sein, dass die vorhandene Gefrierpunktabenkung ausreicht, um den Wasserfilm flüssig zu halten. Weiters bestätigen die Messungen, dass bei präventiver Streuung die Griffigkeit bei Reifbildung und ausreichender Texturtiefe üblicherweise nicht auf ein gefährliches Niveau absinkt. Gerade bei Reifbildung kann es jedoch zu lokalen Glättstellen in der Nähe von Gewässern oder bei geringer Texturtiefe kommen, da über den gesamten Betreuungsbereich nur sehr geringe Streumengen ausgebracht werden. Hier ist die Erfahrung des Winterdienstfahrers gefragt, der solche gefährlichen Stellen in der Regel kennt und dort gezielt eine höhere Streumenge ausbringen kann.

#### 5.4.2.2 Übergangszone Schneeregen, beginnender Griffigkeitsrückgang

Eine weitere Messreihe fand am 18.01.2010 bei Lufttemperaturen knapp über dem Gefrierpunkt und vorhergesagten Schneefällen statt. Bei den ersten beiden Messfahrten war noch leichter Schneefall bzw. Schneeregen vorherrschend, der im Laufe des Messzyklus abklang. Dieser Schneefall führte zu einer Verdünnung der auf der Straße befindlichen Sole sowie einer bedeutend stärkeren Filmdicke im Vergleich zur Reifbildung. Im Gegensatz zum vorangegangenen Beispiel der Reifbildung lag der Maximalwert der mittleren Filmdicke bei ca. 0,15 mm.

Zusätzlich waren bei den einzelnen Messfahrten deutliche Eis- bzw. Schneefilmdicken messtechnisch (Vaisala) bzw. visuell (Videokamera) erkennbar. Bei den Schneefilmdicken ist zu beachten, dass die Filmdicke in Flüssigkeitsäquivalenten in mm angegeben wird. Für die Ermittlung der tatsächlichen Schnehöhe ist diese gemessene Filmdicke mit dem Faktor 10 zu multiplizieren. Die einzelnen Messfahrten weisen sehr starke Schwankungen auf, welche auf die unterschiedlichen Witterungseinflüsse bei den jeweiligen Messfahrten zurückzuführen sind. Besonders das letzte Drittel der Messstrecke war von Einwehungen aus einem Seitental betroffen.

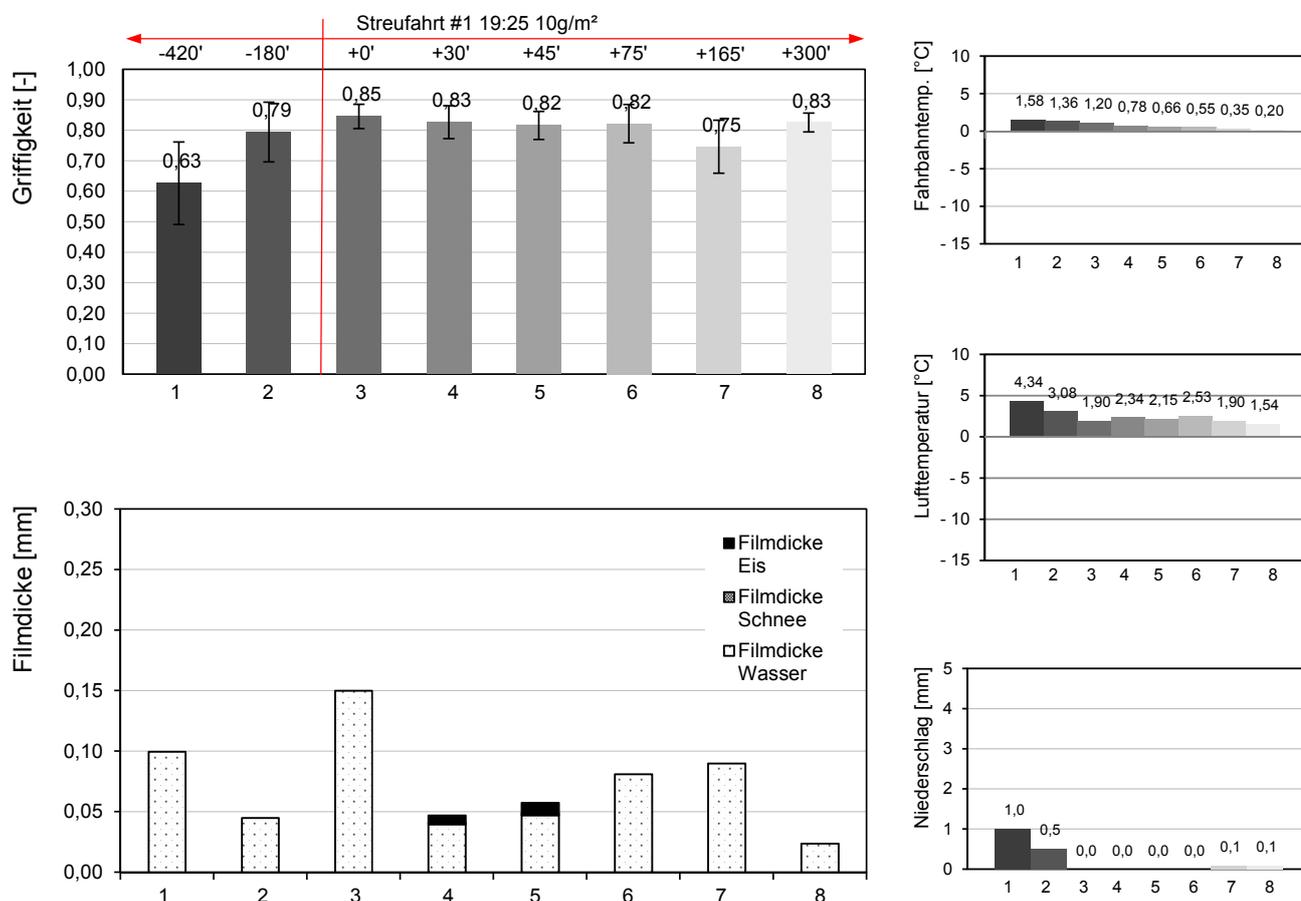


Abb. 57: Mittelwerte der Griffigkeit sowie Witterungsdaten vom 18.1.2010 in Fahrtrichtung Salzburg

Die erste Messfahrt um die Mittagszeit wies ein niedrigeres Griffigkeitsniveau aufgrund auslaufender Niederschläge mit einer Intensität von etwa 1 cm Schnee pro Stunde auf. Mit der schwächer werdenden Niederschlagsintensität stieg auch die gemessene Griffigkeit wieder an, da die Fahrbahn u.a. durch den Verkehr aufgetrocknet wurde. Aufgrund der nassen Fahrbahn, sinkender Temperaturen und weiterer vorausgesagter Niederschläge erfolgte unmittelbar vor der zweiten Messfahrt eine Streuung FS30 mit  $20\text{g/m}^2$  kurz nach Schichtbeginn um 19:00, um die Fahrbahn über Nacht eisfrei zu halten.

Der Temperaturbereich der Fahrbahn lag im Bereich um den Gefrierpunkt, der eine exakte Dosierung der Streumengen für Winterdienstfahrer erschwerte, weshalb diese gemäß Befragung meist aus Vorsicht zu erhöhten Streumengen tendieren. So wurden bei dieser Runde der Streufahrzeuge etwa in Richtung Villach  $10\text{g/m}^2$  gestreut und bei der Rückfahrt etwa eine halbe Stunde später in der Gegenrichtung schon  $20\text{g/m}^2$ . Bei diesen Temperaturen etwas über dem Gefrierpunkt kommt es gemäß den Auswertungen häufig zu starken Schneefällen, wobei hier die Wirkung der Streumittel noch hoch ist. Zusammen mit der Verdrängungswirkung des Verkehrs erreicht die Fahrbahn nach Ende des Niederschlagsereignisses daher meist rasch wieder ein hohes Griffigkeitsniveau. Bei weiter anhaltenden Niederschlägen hätte allerdings die Streuung größere Salzmengen auch kaum eine Verbesserung der Griffigkeit bewirkt, wie noch in Kap. 6.2 erläutert wird.

Interessant ist bei dieser Messreihe das an den Rohdaten (1-Meter-Werte) erkennbare lokale Absinken der Griffigkeit bei 6 von 8 Fahrten etwa bei Kilometer 34,0. An dieser Stelle befindet sich die Unterführung Zubringer Paß Lueg mit einer lichten Weite von 18 m. Hier hat sich offenbar durch die exponierte Lage der Fahrbahn und die fehlende Wärmekapazität des Untergrundes eine Stelle gebildet, in der die gestreute Tausalzmenge nicht ausreichend war. Diese Stellen können allerdings durch die Kenntnis des Fahrers über die zu betreuende Strecke und entsprechend angepassten Streumengen entschärft werden. Die in Abb. 57 dargestellten Mittelwerte der Griffigkeit über den gesamten Streckenabschnitt sind durch die Standardabweichungen ergänzt, welche die Tendenz hat, bei niedrigeren Mittelwerten höher zu sein als bei hohen Mittelwerten.

Dies zeigt die hohe Variabilität bei durch den Einfluss des Zwischenmediums entstehenden Griffigkeitsverlusten, welche durch die ungleichmäßige Verteilung des Zwischenmediums entlang der Messstrecke bedingt ist. Diese Abfolge von Stellen mit hoher und geringer Griffigkeit stellt den Übergang von einer sicher befahrbaren Straße zu einer gefährlichen Schnee- bzw. Eisfahrbahn dar. In der Praxis ist dieser Übergang durch das Auftreten von sichtbarem Schnee zwischen den Rollspuren gekennzeichnet. Bei weiter zunehmenden Schneefällen nimmt auch die Schneemenge in der Rollspur sukzessive bei gleichzeitig abnehmender Griffigkeit zu. In beiden Fällen spielt die Verfrachtung des Schnees durch den Wind eine wesentliche Rolle, wobei Verwehungen durch das gezielte Aufstellen von Schneezäunen verhindert werden können.

#### 5.4.2.3 *Gefahrenzone länger anhaltender Schneefall, glatte Fahrbahn*

Eine weitere Messreihe fand in der Nacht vom 04.03.2010 auf 05.03.2010 mit interessanten Ergebnissen zum Szenario „starker Schneefall“ statt. Die Schneefälle setzten gegen 23:00 Uhr am 04.03.2010 mit einer Intensität von  $0,5\text{mm/h}$  Wasseräquivalent (entspricht einer Schneefallmenge von  $5\text{mm/h}$ ) ein. Die Lufttemperatur lag um den Gefrierpunkt, die Fahrbahntemperatur bei etwa  $-2^\circ\text{C}$  und stellte damit eine typische Ausgangssituation für starke Schneefallereignisse in der Nacht dar.

Die erste Messfahrt fand unmittelbar vor der Räum- und Streufahrt um 03:00 Uhr in der Früh statt, bei der auf der Fahrbahn eine geschlossene Schneedecke von etwa 2 cm Dicke vorzufinden war. Die Filmdicken der Vaisalakamera zeigt zum Teil geringere Werte, da die vorhandene Schneedecke außerhalb der optisch erfassbaren Schichtdicke von etwa 1 cm lagen. Die dargestellten Schneefilmdicken sind in Flüssigkeitsäquivalenten angegeben und mit dem Faktor 10 für die Schneehöhe zu multiplizieren. Die in Abb. 58 dargestellten mittleren Griffigkeiten des ersten Abschnitts lagen alle deutlich unter dem Wert  $\mu = 0,5$  und schwanken wesentlich stärker als die Griffigkeitsverläufe auf trockener Fahrbahn. Im Vergleich zur teilbedeckten Schneefahrbahn zeigen sich jedoch zum Teil geringere Schwankungen. Diese geschlossene Schneedecke auf der Fahrbahn führt zu sehr niedrigen Werten der Griffigkeit von im Mittel  $\mu = 0,13$ , wobei in den Rohdaten auch Teilstrecken von bis zu 15 Meter Länge und einem  $\mu = 0,05$  gemessen wurden. In diesem Fall ist die Griffigkeit so gering, dass praktisch keine Horizontalkräfte mehr übertragen werden können.

Kurz nach der Räumung und dem Streuen von 10 g/m<sup>2</sup> Natriumchlorid verdoppelte sich die Griffigkeit auf  $\mu = 0,24$ , was analog zu den Versuchen auf dem Parkplatz weitgehend auf die Wirkung der rein mechanischen Räumung der Fahrbahn zurückzuführen ist, da die ausgebrachte Streumenge keinesfalls ausgereicht hätte, um den nach der Räumung verbleibenden Schnee sofort zu tauen. Nach einer Wirkzeit des Taumittels von etwa 25 Minuten verbessert sich die Griffigkeit noch weiter auf  $\mu = 0,37$  und damit mehr als das Dreifache des Ausgangswertes vor der Einsatzfahrt. In der Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen in Abb. 58 zeigt sich jedoch mit der Zunahme der Griffigkeit auch eine Zunahme der Schwankung durch eine ungleichmäßigere Verteilung und Zusammensetzung des Zwischenmediums. Bei weiter anhaltendem Schneefall von etwa 0,5 cm pro Stunde ist jedoch bereits 50 Minuten nach der Einsatzfahrt ein Absinken der Griffigkeit zu verzeichnen, da die Tauwirksamkeit nicht ausreicht und sich wieder eine Schneedecke ausbildet.

Trotz einer Lufttemperatur von ca. 0°C war die Temperatur des Niederschlags deutlich geringer, wodurch sich sehr harte Schneekristalle bilden, die nicht sofort an der Fahrbahn haften, sondern immer wieder durch den Fahrtwind des Verkehrs verweht werden. Aufgrund der weiter andauernden Schneefälle, dem verbleibenden Salz auf der Fahrbahn war die Textur der Fahrbahn rasch gefüllt und es bildete sich relativ rasch eine geschlossene Schneedecke mit fallweiser Eisbildung, welche auch nach den weiteren Räum und Streufahrten nicht hintangehalten werden konnte. In Fällen wie diesen mit Temperaturen um den Gefrierpunkt besteht eine erhöhte Gefahr des Anklebens von Schnee an der Fahrbahn mit Eisbildung, die nur durch eine zeitnah vor Niederschlagsbeginn stattfindende Streufahrt verringert werden kann.

Die Messreihe zeigt auch die Grenzen des Winterdienstes bzw. der Anwendung auftauender Streumittel und Streumengen mit Schneefallmengen > 0,5 mm/h auf. Bei dieser Schneefallintensität und Temperaturen von -2°C kann die mögliche Maximalmenge den Niederschlag gerade nicht mehr tauen. Liegt die Intensität der Schneefälle über diesen kritischen Werten oder die Temperatur darunter, kann eine schneefreie Fahrbahn auch bei minimalen Umlaufzeiten  $\geq 60$  Minuten und maximalen Streumengen von 40 g/m<sup>2</sup> nicht mehr gesichert werden. Bei gestaffelter überlappender Streufahrt könnte die Streumenge auf 80 g/m<sup>2</sup> erhöht werden, der entsprechende Mehraufwand an Personal und Gerät wäre nur an wenige Einsatztage im Jahr bedeutet.

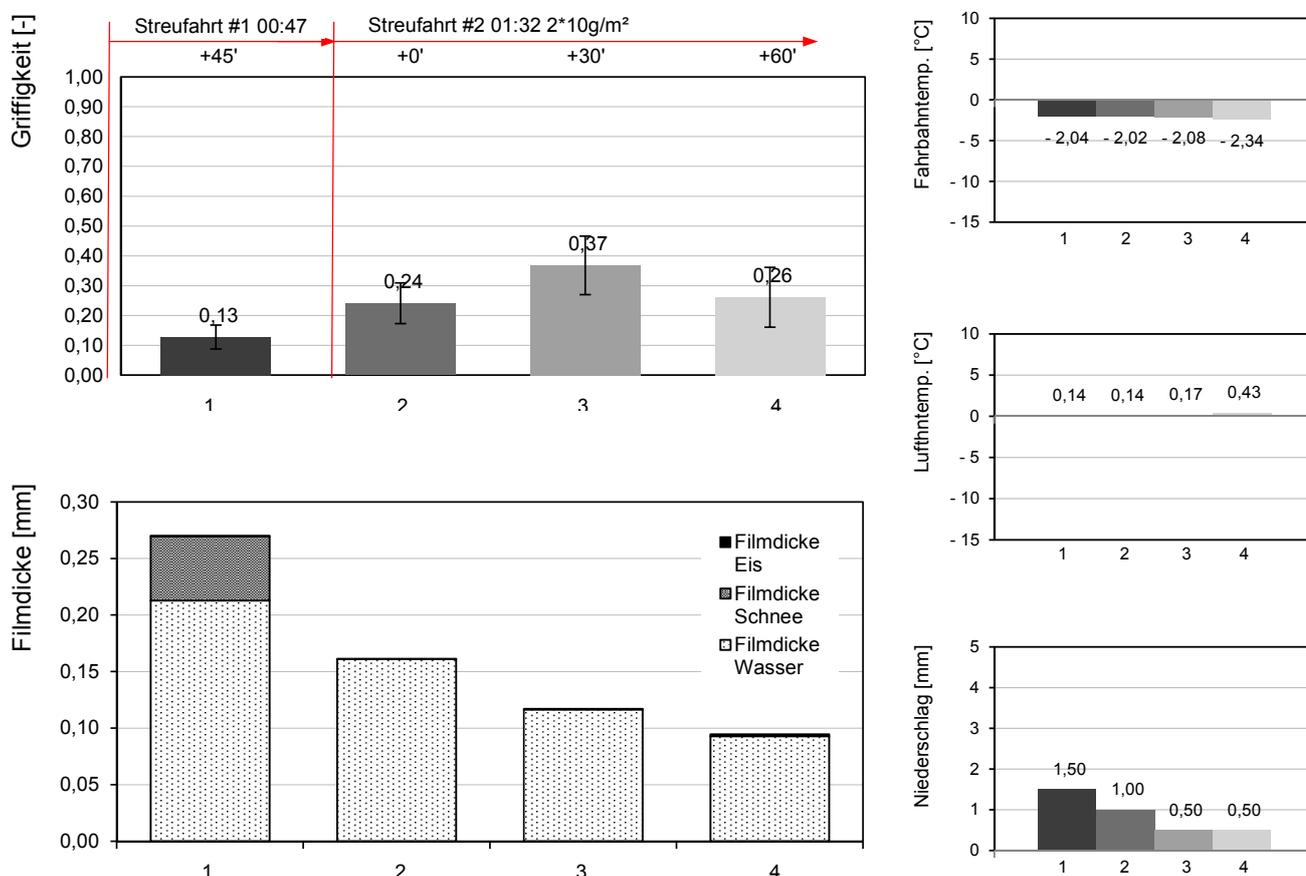


Abb. 58: Mittelwerte der Griffigkeit sowie Witterungsdaten vom 5.3.2010 in Fahrtrichtung Salzburg

## 5.5 Temperaturmessungen

Die Kenntnis der Fahrbahntemperatur in Abhängigkeit von der Lufttemperatur ist ein wichtiger Eingangsparameter für das entwickelte Streumodell (Kap 2.7), da sie ausschlaggebend für die Mindestkonzentration der Sole auf der Fahrbahn zur Verhinderung des Gefrierens ist. Die aus den Messfahrten gewonnenen Daten über die Fahrbahntemperatur sind für ein Temperaturmodell nicht ausreichend, da nur an wenigen Tagen gemessen wurde. Aufgrund der Schwierigkeiten in der Prognose von Bodentemperaturen unter sich ändernden Bedingungen wäre eine laufende Messung am Einsatzfahrzeug von Vorteil. Für eine erste Analyse standen jedoch Messdaten einer fest installierten Wetterstation in Golling zur Verfügung, die statistisch ausgewertet wurden. Die Wetterstation lieferte Daten für Lufttemperatur, Oberflächentemperatur, Bodentemperatur in mehreren Tiefen über den Zeitraum von einem Jahr. Auf Basis dieser Daten konnte der relative Verlauf der Bodentemperatur in Abhängigkeit von der Lufttemperatur z.B. für klaren Himmel bzw. bewölkt ausgewertet werden (Abb. 59/60).

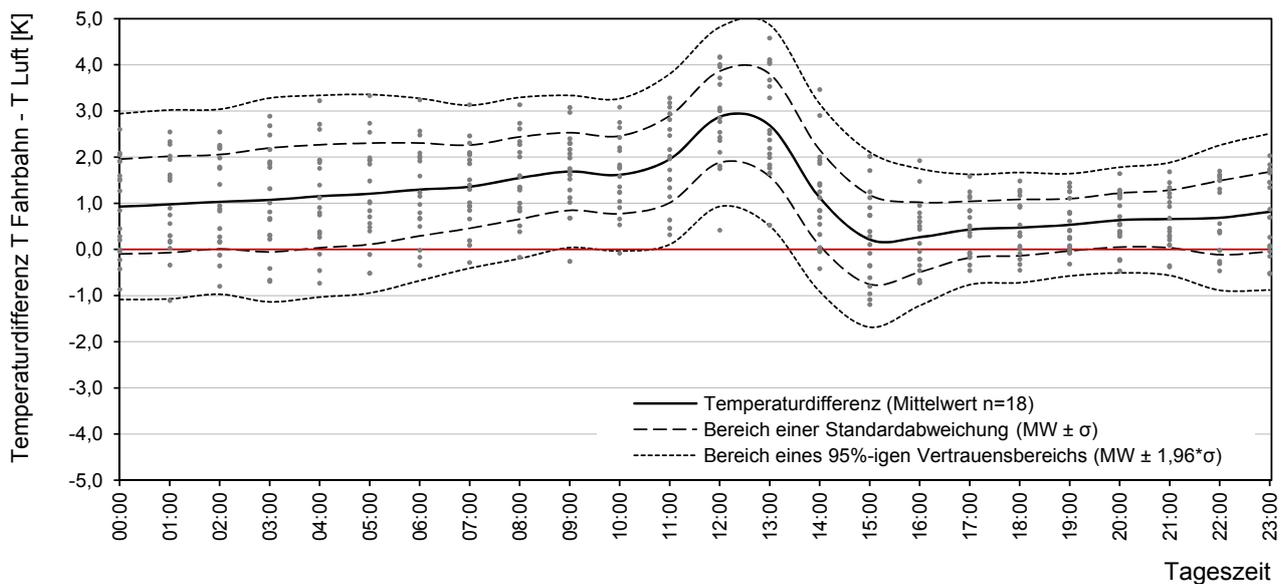


Abb. 59: Durchschnittliche Tagesganglinie der Temperaturdifferenz zwischen Fahrbahn und Luft im Jänner an trockenen/klaren Tagen mit deutlich erkennbarem Abfall am Nachmittag (n= 18)

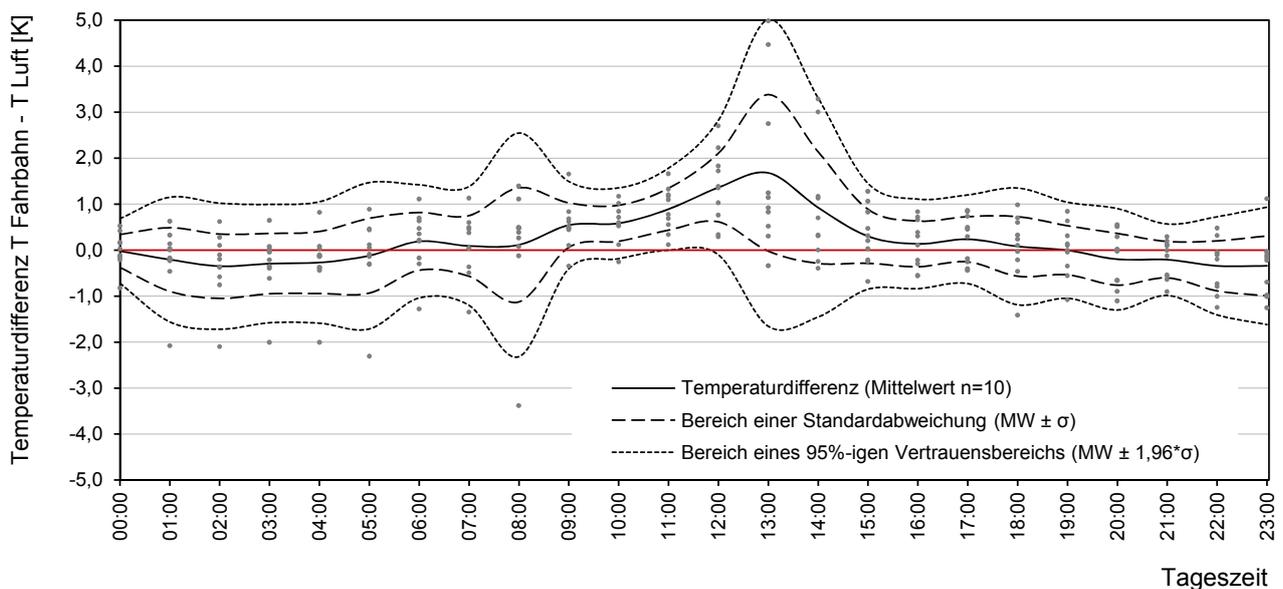


Abb. 60: Durchschnittliche Tagesganglinie der Temperaturdifferenz zwischen Fahrbahn und Luft im Jänner an feuchten/bewölkten Tagen mit deutlich geringeren Differenzen als an Trockentagen (n= 10)

Die Schwankungen der Temperaturen im Tagesverlauf nehmen von der Oberfläche mit zunehmender Tiefe ab [WISTUBA, 2003]. Die Fahrbahnoberflächentemperatur weist aufgrund des direkten Einflusses der Sonnenstrahlen die größten Schwankungen auf. In die weitere Analyse sind jedoch aufgrund der Datenlage nur die Lufttemperatur, als Eingabegröße in die Modellrechnung, und die Oberflächentemperatur zur Berechnung der notwendigen Solekonzentration einbezogen worden. Aus den Messdaten des gesamten Kalenderjahres 2009 wurden die Daten der Wintermonate Jänner, Februar, März, November und Dezember ausgewertet. Die Eingangsdaten lagen in einem Intervall von fünf Minuten vor und sind in den Abb. 59/56 als Stundenmittel dargestellt. Weiters erfolgte eine Trennung der Niederschlagstage von den Tagen ohne Niederschlag zur Trennung von zwei wichtigen Einflussgrößen:

- Die Wärmeenergie, die der Niederschlag während seiner Dauer der Fahrbahn entzieht bzw. zu führt bewirkt eine teilweise Angleichung der Fahrbahntemperatur an die Temperatur des Niederschlages und unterscheidet sich signifikant von Trockentagen mit/ohne Reifbildung
- Da der Himmel bei Niederschlägen bzw. Schneefällen bedeckt ist, kann auch der Einfluss der Strahlungsenergie der Sonne weitgehend ausgeschlossen werden. Eine Trennung von heiteren Tagen und Tagen mit Bewölkung ohne Niederschlag war aufgrund fehlender meteorologischer Messdaten nicht möglich. Für die Zwecke des Winterdienstes sind allerdings die Tage mit Niederschlag entscheidend, für welche die entsprechenden Daten vorlagen.

In Abb. 59 sind die Temperaturdifferenzen der trockenen Tage und in Abb. 60 jene der Niederschlagstage des Monats Januar 2009 dargestellt. Temperaturdifferenzen beziehen sich auf die Abweichung der Fahrbahntemperatur von der Lufttemperatur (positive Differenz = Fahrbahn wärmer). Die Zusammenhänge sind in allen anderen Monaten generell gleich, lediglich Temperaturniveau und Zeitpunkt der Aufwärmung durch die Sonneneinstrahlung verschieben sich. Über den angegebenen Konfidenzintervall in den Diagrammen kann die Streuung der Temperaturabweichung von jener der Fahrbahn bzw. die Zuverlässigkeit einer auf diesen Werten basierenden Prognose angegeben werden. Zusätzlich zu den Temperaturverläufen und Konfidenzintervallen sind auch alle Stundenmittel als Punkte aufgetragen, um die Abweichung einzelner Werte inkl. Messfehler nachvollziehbar abzubilden.

An trockenen Tagen (Abb. 59) ist ein klar erkennbarer Anstieg der Temperaturdifferenz in der Zeit der intensivsten Sonneneinstrahlung um die Mittagszeit zu erkennen. Über den gesamten Tagesverlauf fällt die Temperaturdifferenz insgesamt positiv aus d.h. die Fahrbahn ist durchgehend wärmer als die Luft. Im gesamten Jänner 2009 lag die geringste Temperaturdifferenz nur bei etwa  $-1,2^{\circ}\text{C}$ , womit die Gefahr von anfriерendem Niederschlag sehr gering war. Bei heiterem Wetter ist die Fahrbahntemperatur zu Mittag im Schnitt um knapp  $3^{\circ}\text{C}$  höher als die Lufttemperatur, sinkt dann jedoch rapide durch Verschattung der Fahrbahn bzw. generell durch den Sonnenuntergang ab. Aufgrund der gebirgigen Topografie und der damit schon um etwa 13:00 Uhr einsetzenden Verschattung in Golling kommt es zu einem starken Temperaturabfall in der Zeit danach bis in die Morgenstunden. Der starke Einfluss der Sonneneinstrahlung und des Windes kann durch bauliche Maßnahmen an einer Straße (z.B. Lärmschutz), Bewuchs, Topographie etc. große Unterschiede im Tagesverlauf verursachen. So trocknen etwa Strecken mit Lärmschutzwänden wesentlich langsamer als benachbarte Abschnitte auf.

Etwas anders sieht die Sache bei Niederschlagstagen im selben Zeitraum aus (Abb. 60). Hier bleibt die Differenz zwischen Luft- und Fahrbahntemperatur für das 95% Konfidenzintervall unter  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  mit Ausnahme der Mittagszeit von 11:00 - 15:00 Uhr. Um die Mittagszeit liegt die mittlere Fahrbahntemperatur im Mittel um  $1,0 - 1,5^{\circ}\text{C}$  höher als die der Umgebungstemperatur. Die im Vergleich zu trockenen Tagen wesentlich geringere Temperaturdifferenz an Niederschlagstagen zeigt, dass durch den Niederschlag (und fehlende Sonneneinstrahlung) eine weitgehende Angleichung der Temperaturen erfolgt.

Problematisch an Niederschlagstagen können aber z.B. beobachtete Ausreißer mit einer Temperaturdifferenz von etwa  $-3,5^{\circ}\text{C}$  sein, da diese Differenz im Winterdienst gleichbedeutend mit gefrierendem Regen bzw. Glatteisgefahr ist. Dies bedeutet, das Regen mit einer Temperatur um die  $0^{\circ}\text{C}$  auf eine wesentlich kältere Fahrbahn auftrifft und dort praktisch unmittelbar zu Eis gefriert. Diese schnell wachsende Eisdecke ist durch den Winterdienst kaum in den Griff zu bekommen und verlangt den präventiven Einsatz von hohen Streumengen bei möglichst kurzer Umlaufzeit und kann in Extremfällen bis zu temporären Sperren einzelner Straßenabschnitte führen. Weiters werden in solchen Fällen eine genaue Einsatzplanung anhand der Wetterprognosen sowie Glättewarnungen zielführend sein.

## 5.6 Restsalzmessungen Landesstraßen

### 5.6.1 Messgerät und Festlegung der Teststrecken

Die Bestimmung des Restsalzgehaltes wurde mit Verwendung des Gerätes SOBO20 durchgeführt, mit dem der Salzgehalt auf der Fahrbahn über eine elektrische Leitfähigkeitsmessung bestimmt wird. Durch das Niederdrücken des Messzylinders in einem abgeschlossenen Bereich werden etwa 40 ml Messflüssigkeit bestehend aus 15% Aceton und 85% destilliertem Wasser in eine Messkammer gedrückt. Diese löst das Salz von der Fahrbahn, welches über die erhöhte Leitfähigkeit der sich ergebenden Lösung gemessen werden kann. Mit Hilfe des in Abschnitt 4.7 erläuterten Zusammenhangs von Solekonzentration und Leitfähigkeit kann auf die sich auf der Fahrbahn befindliche Salzmenge in g/m<sup>2</sup> rückgerechnet werden.

Für die Ermittlung eines stabilen Messwertes sind mindestens 3 bzw. besser 5 Einzelmessung zielführend, um allfällige Schwankungen auszugleichen. Diese Schwankungen entstehen etwa durch die ungleichmäßige Verteilung des Salzes in Form von Streufahnen beim Ausbringen mit dem Streuteller, zufälligen Messungen auf einer Ansammlung von Salz in Texturvertiefungen oder in Bereichen besonderer Fahrbahnglätte. Die Aufteilung der Einzelmesspunkte erfolgt ausschließlich in der maßgebenden Rollspur, wobei die Einzelmessungen einen Abstand von ca. 0,75 m gemäß Abb. 61 aufweisen sollten. Die Restsalzmessungen in der Rollspur des ersten Fahrstreifens sind deshalb maßgebend, weil hier der Verkehrseinfluss und die resultierenden Salzverluste gemäß Vergleichsmessungen am größten sind und der Kontakt zwischen Reifen und Fahrbahn außer bei Überholvorgängen bzw. einspurigen KFZ in eben dieser Rollspur stattfindet.

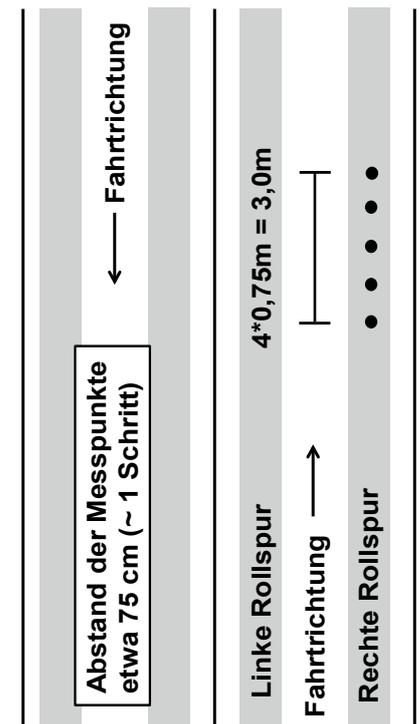


Abb. 61: Anordnung der Messpunkte auf der Fahrbahn

Aus der ersten Versuchen mit Restsalzmessungen im Winter 2009/10, der Modellentwicklung und theoretischen Überlegungen können die Anforderungen an eine ideale Teststrecke gemäß Abb. 62 formuliert werden, um alle maßgebenden Einflussfaktoren in einem Messdurchlauf berücksichtigen zu können. Diese Einflussgrößen sind:

- Makrotextur der Fahrbahn
- Mittlere Fahrgeschwindigkeit & Verkehrsstärke
- Steigungsverhältnisse
- Niederschlag/Witterung

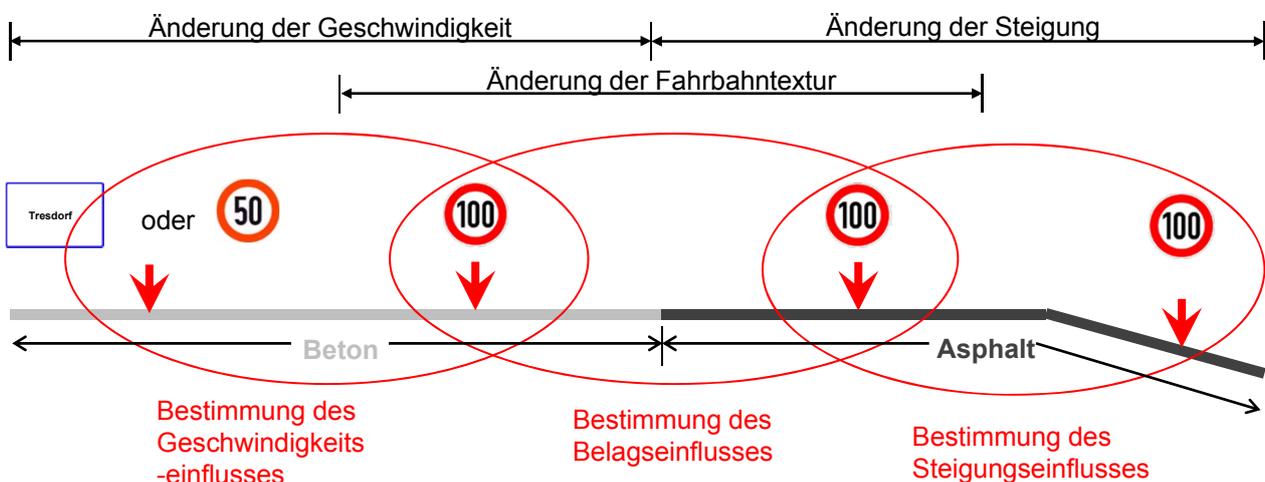


Abb. 62: Schema einer idealen Teststrecke auf der durch jeweils zwei nebeneinander liegende Messpunkte die Wirkung eines Einflussparameters (Geschwindigkeit, Belag, Steigung) bestimmt werden kann

Die Parameter Textur, Geschwindigkeit und Steigung sind relativ gleich bleibende Größen einer Strecke, die für die meisten Straßen A+S bzw. teilweise B+L aus Zustandserfassungen (z.B. Road-STAR) bekannt sind. Die Berücksichtigung der Verkehrsstärke durch die Wahl mehrerer Messstrecken mit unterschiedlichem DTV, sowie der Variation des Zeitpunktes des Messdurchlaufes kann unter Berücksichtigung der Verkehrsganglinie erfolgen. Niederschlag und Witterung spielen bei der Wahl der Teststrecke eine untergeordnete Rolle, da die Schwankung an einer Messstrecke groß genug sind, um alle notwendigen Wetterszenarien an einer beliebigen Teststrecke abzubilden. Die Parameter Makrotextur, Geschwindigkeit und Steigung sollten jedoch an der Messstrecke zumindest einmal wechseln, wobei die Gesamtlänge der Messstrecke 5 km nicht überschreiten sollte um den vorgegebenen Messintervall für Kurzzeit- und Langzeitmessungen einhalten zu können.

Bei der Auswertung der Daten werden jeweils zwei Messpunkte betrachtet, die sich durch Änderung nur eines Parameters unterscheiden. Bei drei zu untersuchenden Parametern würde dies sechs Messpunkte erfordern, deren Zahl durch doppelte Verwendung der beiden mittleren Messpunkte von sechs auf vier reduziert werden kann (Abb. 62). Die Abfolge des Verlaufes der Parameteränderungen an der Teststrecke ist nur symbolisch und kann variieren, die Bezeichnung „Beton“ und „Asphalt“ stehen in erster Linie für eine unterschiedliche Fahrbahntextur. Aus dem direkten Vergleich der Messwerte an zwei Messpunkten kann der Einfluss des einzigen abweichenden Parameters mittels Regressionsrechnung bestimmt werden.

Eine sehr gut geeignete Teststrecke wurde an der B6 von km 3 bis km 5 bei Korneuburg (NÖ) gefunden. In Abb. 63 ist diese Teststrecke mit den gewählten Messpunkten auf einer Karte dargestellt. Die Teststrecke beginnt ca. bei km 3,0 mit einer Geschwindigkeit von 100 km/h, neuer Asphaltdecke und einer Steigung bei Messpunkt A (~km 3,4). Im weiteren Verlauf flacht die Straße ab und hat bei Messpunkt B (~km 3,8) keine Längsneigung mehr, alle anderen Parameter sind jedoch gleich geblieben. Bei Messpunkt C (~km 4,5) befindet sich eine Ortseinfahrt mit entsprechender Geschwindigkeitsabnahme von 100 km/h auf 50 km/h, der Belag ist jedoch noch der gleiche wie im Überlandbereich. Kurz nach der Ortseinfahrt bei Messpunkt D (~km 4,6) folgt ein Fahrbahnwechsel auf eine alte Asphaltdecke mit geringer Makrotextur und deutlich weniger Texturtiefe als der Belag bei den Messpunkten A bis C.

Im Zuge der Untersuchungen wurden noch folgende weitere Teststrecken mit ähnlichen Voraussetzungen gesucht und zusammen mit den Straßen- bzw. Autobahnmeistern betreut.

- A21 km 0 - 10 ABM Alland
- A10 km 20 - 40 ABM Golling
- B311 km 5 - 8 SM Pongau
- B14 km 23 - 25 SM Tulln

An diesen fünf Teststrecken wurden im Winter 2010/11 systematische Restsalzmessungen von den jeweiligen Meistereien durchgeführt, koordiniert und die Messungen ausgewertet. Durch den Einsatz verschiedener Streumittel (Steinsalz, Siedesalz) bzw. Solen (NaCl, CaCl<sub>2</sub> und Supermix) in Trocken- und Feuchtsalzstreuung (FS30), konnte der Verlauf der Restsalzmengen bestimmt werden. Aufgrund der Schwierigkeiten die eine Messung unter starken Schneefällen in Bezug auf Verfügbarkeit der Mannschaft und Variabilität der Einsatzfahrten mit sich bringt, wurde ein Großteil der Messungen nur in Wetterszenarien mit präventiven Streuungen durchgeführt. Bei Schneefall konnte aufgrund der notwendigen Einsatzfahrten kein Personal für die Restsalzmessungen zu Verfügung gestellt werden.

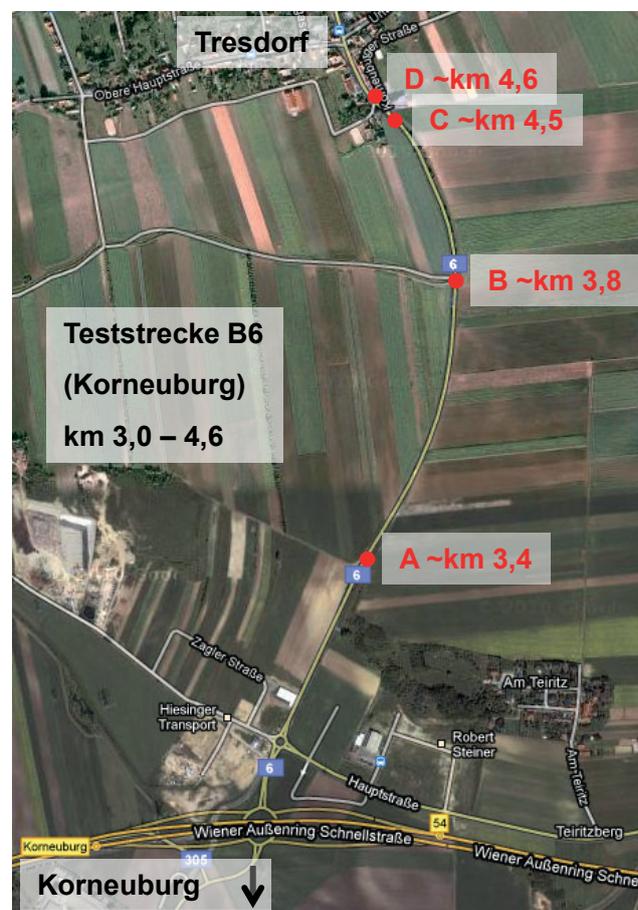


Abb. 63: Anordnung der Messpunkte an einer realen Teststrecke auf der B6 bei Korneuburg

## 5.6.2 Streuverluste unmittelbar nach der Ausbringung

Die aus der Literatur [z.B. ZULAUF, 1965; HAUSMANN, 2010] durch einzelne Messungen bekannten Rückgänge der Salzmenge auf der Straße unmittelbar nach der Streuung bzw. durch den Verkehr können durch die gegenständlichen Versuche der nun erstmals genauer quantifiziert werden. Bereits während der Ausbringung geht demnach ein Großteil des Salzes verloren bzw. bleibt nicht auf der Fahrbahn liegen. Als Ursache für diese Anfangsverluste werden Verwehungen des Salzes durch Luftströmungen angeführt. Diese sind als Wind ist entweder natürlicher Herkunft und tragen das Salz konstant an einen Straßenrand bzw. von der Fahrbahn oder werden durch Luftverwirbelungen nach dem Streufahrzeug sowie darauf folgender Fahrzeuge getragen. Diese vom Streufahrzeug und wenigen nachkommenden Fahrzeugen verursachten Luftverwirbelungen sind vor allem auf Autobahnen und Schnellstraßen ein Thema, wo höhere Streugeschwindigkeiten gefahren werden. Weitere Kriterien sind die Feuchtigkeit der Straße, Korngröße und Einsatz von Feucht- bzw. Trockensalzstreuung.

Für die Feststellung der Anfangsverluste unmittelbar nach der Streusalzausbringung werden die beiden Messungen unmittelbar vor bzw. nach einer Streufahrt herangezogen. Aus der Summe des ersten Messwertes plus Streumenge minus zweiten Messwert ergibt sich der Anfangsverlust. Die Auswertung der Messdaten erfolgt generell als relativer Prozentsatz von der ursprünglich eingestellten bzw. ausgebrachten Streumenge, um die Ergebnisse auf jede beliebige Streumenge skalieren zu können.

Die Mittelwerte der Anfangsverluste bezogen auf die eingestellte Streumenge beinhalten 47 Messungen innerhalb der ersten 150 KFZ. Die relativ geringe verbleibende Salzmenge bei einer eingestellten Streumenge von  $5 \text{ g/m}^2$  lässt sich auf ungleichmäßige Ausbringung und begrenzte Messbarkeit geringer Salzmengen zurückführen. Insgesamt zeigen aber alle Messungen bei unterschiedlichen eingestellten Streumengen von  $10 - 30 \text{ g/m}^2$  Anfangsverluste von ca. 70% d.h. die unmittelbar in der Rollspur verbleibende Restsalzmenge beträgt nur 30% der eingestellten Streumenge.

Da geringe Streumengen von z.B.  $5 \text{ g/m}^2$  vergleichsweise leicht in der Fahrbahntextur Platz haben, kommt es durch den Verkehr kaum zu einer gleichmäßigen Längsverteilung ausgehend von den am Streuteller ausgebrachten Streufahnen. Eine rasche, gleichmäßige Verteilung des Streusalzes ist folglich erst ab einer Streumenge von  $10 \text{ g/m}^2$  nach etwa 100 - 150 Fahrzeugen gegeben. In Hinblick auf die Wirkung des Winterdienstes sind aber vor allem die hohen nachgewiesenen Streuverluste problematisch, da dadurch nur ein Bruchteil der tatsächlichen Streumenge auch tauwirksam wird. Nachdem die meisten Streuungen präventiver Natur (bei meist trockener Fahrbahn) waren, kann aus den Messungen bei bereits feuchter Fahrbahn auf etwas geringere Anfangsverluste geschlossen werden.

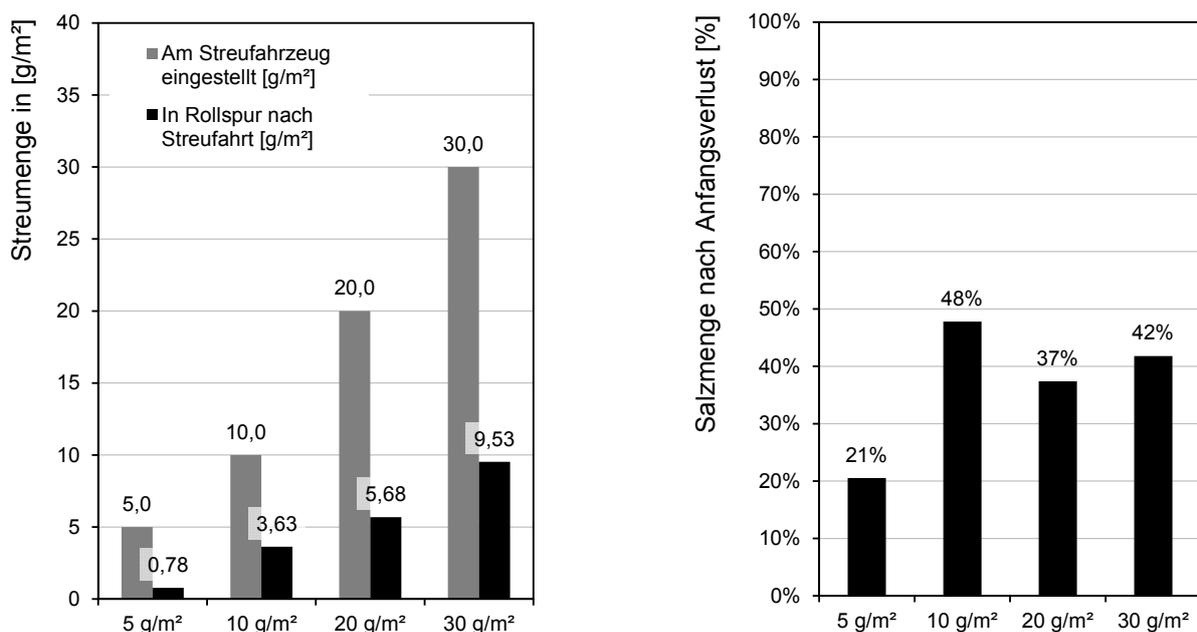


Abb. 64: Auswertung der Restsalzmessungen für den Anfangsverlust unmittelbar nach der Ausbringung. Vergleich zur eingestellten Streumenge und relativer Verlust in Prozent (n=47)

### 5.6.3 Streuverluste und weitere Austragung durch den Verkehr

Nach den hohen Anfangsverlusten unmittelbar während und nach dem Streuvorgang erfolgt eine langsamere Verfrachtung des Salzes mit asymptotischem Verlauf. Dabei findet vor allem die Verfrachtung des Salzes von den Rollspuren in die Randbereiche der Fahrbahn statt, wie sie auch bei der Splittstreuung erkennbar ist. Dieser Art der Salzverluste ist weitgehend zeitunabhängig und ist am besten auf die Anzahl der seit der Streufahrt gefahrenen Fahrzeuge zu beziehen. In Abb. 65 ist die gemessene relative Restsalzmenge auf der Fahrbahn bezogen auf die erste Restsalzmessung nach der Streufahrt und Anzahl der Fahrzeuge dargestellt.

Der in Abb. 65 dargestellte Zusammenhang basiert auf den normierten Werte von 266 Messserien a 5 Messwerten der relativen Restsalzmengen bezogen auf die Verkehrsstärke. Während die Anfangsverluste unmittelbar nach der Streuung bzw. 100 - 150 Überfahrten gemäß Kap. 5.6.2 bei durchschnittlich 70% lagen, verlaufen die späteren verkehrsabhängigen Verluste deutlich langsamer. So nimmt die Restsalzmenge nach z.B. 2.000 Überfahrten nochmals im Mittel um 35% ab. Für eine erste Streuung von z.B. 20 g/m<sup>2</sup> bedeutet dies, dass die Restsalzmenge auf der Fahrbahn aufgrund der Anfangsverluste im Schnitt nur mehr bei 20,0 x 0,7 = 6,0 g/m<sup>2</sup> liegt und nach 2.000 Überfahrten noch durchschnittlich 6,0 x 0,65 = 3,9 g/m<sup>2</sup> beträgt. Die gemessenen Werte zeigen eine hohe Bandbreite, was zeigt, dass noch andere Faktoren die Entwicklung der Restsalzmengen beeinflussen.

Starke Verluste und kein Restsalz kam bei den durchgeführten Messungen ausschließlich bei nasser Fahrbahn vor. Bei trockener bzw. feuchter Fahrbahn blieb immer ein gewisser Teil des ausgebrachten Salzes auf der Fahrbahn von ca. 0,5 g/m<sup>2</sup> bis 2 g/m<sup>2</sup> zurück. Bei trockener Witterung bleibt über längere Zeit eine geringe Menge an Restsalz in der Textur der Fahrbahn zurück, die bei Niederschlag als Taumittel zur Trennschichtbildung zu Verfügung steht. Erst durch Niederschlag bzw. Austragung wird das Salz zur Gänze von der Fahrbahn verfrachtet. Bei einer tieferen Fahrbahntextur und trockener Witterung kann daher auch nach ein bis zwei Tagen noch mit einer geringen Restsalzmenge auf der Fahrbahn gerechnet werden. Zusammengefasst zeigen die Messungen die geringste Abnahme der Restsalzmenge bei feuchter Fahrbahn (Klebewirkung), die höchsten Abnahmen bei nasser Fahrbahn (Verspritzen & Abschwemmen) und mittlere Abnahmen bei trockener Fahrbahn (Aufwirbelung).

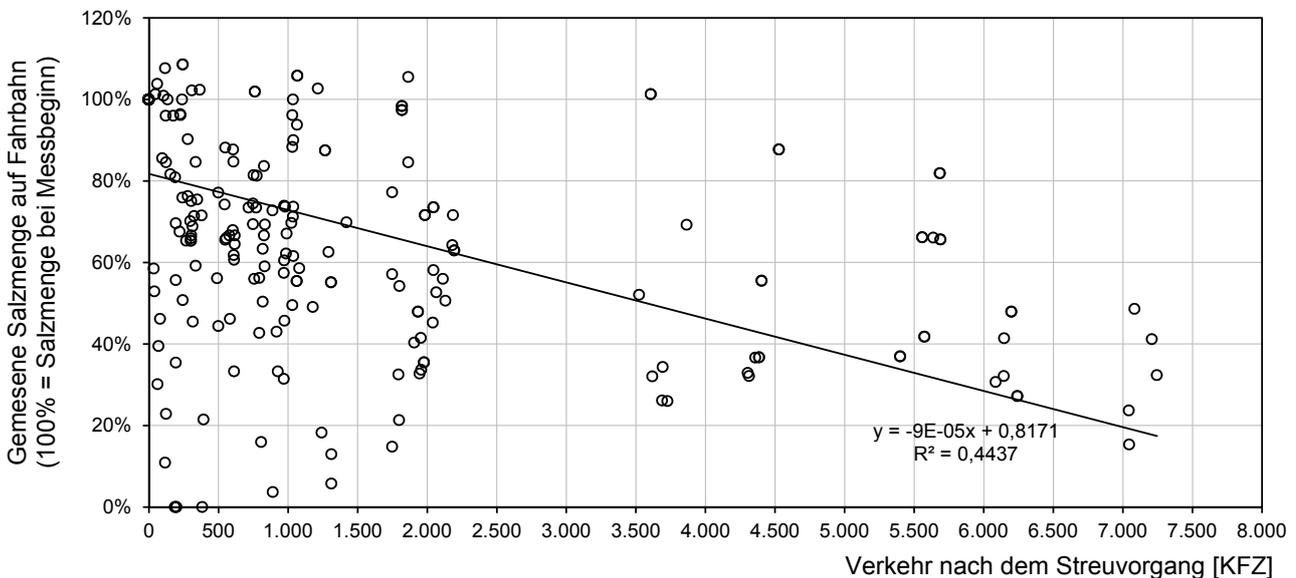


Abb. 65: Relative Restsalzmenge bezogen auf die verbleibende Restsalzmenge unmittelbar nach der Streuung nach Anzahl der Überrollungen (n=266)

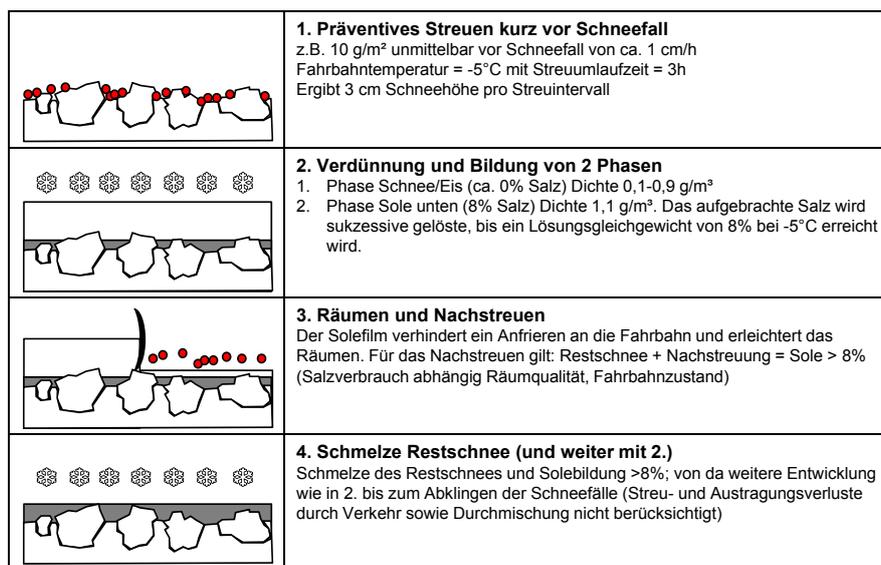
## 6. Zusammenfassung für Praxisanwender

### 6.1 Wirkmechanismen, Tauwirkung und Streuzyklus

Die allgemeine Wirkungsweise auftauender Streumittel wurde in Abschnitt 2.2 auf Seite 28 bereits erläutert, lässt jedoch den praktischen Einsatz der Erkenntnisse unerklärt. Im optimalen Fall ist auf der Fahrbahn bereits vor Beginn des Niederschlagsereignisses präventiv gestreut worden, um mit dem ersten Niederschlag eine Sole zu bilden, die einen Trennfilm entstehen lässt. Dieser Trennfilm wird bei anhaltendem Schneefall wiederum von Schnee zugedeckt, bleibt aber aufgrund der größeren Dichte darunter bestehen. Bei der nächsten Räumfahrt wird ein Großteil des Schneefilms mechanisch durch Pflugeinsatz von der Fahrbahn geräumt und der verbleibende Schnee durch Ausbringen geringer Streumengen (bei gutem Straßenzustand) von 5 bis 10 g/m<sup>2</sup> wieder angetaut. Dieser Vorgang kann für alle Fälle, bei denen keine schwarze Fahrbahn im Streuumlauf erzielbar ist so lange wiederholt werden, bis die Schneefälle enden. Danach kann durch eine größere Streuung der Restschnee beseitigt werden.

Der Trennfilm verhindert ein Anfrieren der Schneedecke bzw. einer Eisschicht an der Fahrbahn. Die Gefahr des Anhaftens wird durch die Temperaturdifferenz Luft-Schnee-Fahrbahn bestimmt, wobei vor allem die Kombination aus kalter Fahrbahn und wärmerem Niederschlag („Blitzzeit“) gefährlich ist. Durch diese Präventivstreuung und den Solefilm wird das Räumbild wesentlich verbessert, was auch die Streumenge beim nächsten Umlauf erheblich reduziert werden kann. Haben sich ausgeprägte Vereisungen und stark verdichtete Schneefahrbahnen einmal gebildet, so können diese gemäß den Tauversuchen auch durch hohe Streumengen auftauender Streumittel erst nach längerer Zeit getaut werden. In der Regel wird in solchen Fällen eine zusätzliche mechanische Beseitigung von Schneefahrbahn und Vereisung erforderlich, um eine sichere Fahrt der Straßennutzer gewährleisten zu können.

Die Darstellung des Wirkmechanismus der Präventivstreuung in Abb. 66 zeigt, wie wichtig ein gutes Räumbild für die Aufrechterhaltung des Trennfilms ist. Durch die begrenzte Wirkung von NaCl ist das Tauen großer Schneemengen, die aufgrund schlechter Räumung/Straßenzustand zurückbleiben, kaum noch möglich. Hier muss der Lösungsansatz in einer Verbesserung der Räumtechnologie wie etwa Nachräum- bzw. Matschleisten liegen, die übrigbleibende Schneereste hinter dem Pflug noch weitgehend beseitigen können. Ein spezielles Problem in Bezug auf die erreichbare Räumqualität bereiten Spurrinnen, da diese von herkömmlichen Pflugscharen nicht ausreichend ausgeräumt werden können. So ist es selbst ohne Berücksichtigung der Streuverluste z.B. bei 1 cm Spurrinnentiefe und einer Fahrspurweite von 1 m bei Temperaturen unter -2°C praktisch nicht möglich, den nach der Räumung verbleibenden Schnee selbst mit der Maximalstreumenge von 40 g/m<sup>2</sup> wegzutauen. Die nach dem Räum- und Streuvorgang anfallenden Neuschneemengen sind dabei noch gar nicht berücksichtigt.



Legende: Streusalz Schneefall Schnee/Eis Sole

Abb. 66: Wirkmechanismus der Präventivstreuung in vier Phasen

## 6.2 Grenzen der Tauwirkung und Sinnhaftigkeit hoher Streumengen

Aus den Ergebnissen der Laborversuche zur Eutektik und den physikalischen Zusammenhängen können die theoretischen Grenzen der mit üblichen Taumitteln erreichbaren Tauwirksamkeit gezeigt werden. Legt man die während dieses Forschungsprojekts gewonnenen Erkenntnisse über die Zusammenhänge Solekonzentration - Gefrierpunkt zusammen mit möglichen Streumengen und Niederschlagsmengen ergibt sich das in Abb. 67 dargestellte Bild der möglichen Schneetauwirksamkeit. Die abgebildeten Grenzen sind auf die tatsächlich vorhandene Salzmenge in  $\text{g}/\text{m}^2$  bezogen und berücksichtigen noch nicht die Austragungsverluste in der Streuung sowie durch Verkehr und Witterung. Die Berechnung basiert auf den Kap. 4.3 angeführten Formeln, aus welcher sich die notwendige Solekonzentration für die jeweilige Fahrbahntemperatur berechnen lässt. Die vorhandene Konzentration ergibt sich aus angegebener Salzmenge und Niederschlagsmenge (in Abb. 67 als Schneehöhe dargestellt).

Es ist deutlich zu erkennen, dass die noch taubare Schneefallmenge bei Temperaturen von weniger als  $-2,5^\circ\text{C}$  selbst bei der Ausbringung der Maximalstreumenge von  $40 \text{ g}/\text{m}^2$  nur noch knapp  $1 \text{ cm}$  beträgt. Berücksichtigt man, dass es nach der Einsatzfahrt weiter schneit und das übliche Intervall der Einsatzfahrten auf Landesstraßen 3 bis 5 Stunden beträgt, so liegt die bewältigbare Schneefallintensität bei gerade einmal  $0,3 \text{ cm}/\text{h}$  bzw.  $0,2 \text{ cm}/\text{h}$ . Die Kombination aus Schneefallmengen und Temperaturen innerhalb eines Umlaufintervalls oberhalb der  $40 \text{ g}/\text{m}^2$  - Linie gemäß Abb. 67 können nicht getaut werden und verbleiben als Schnee auf der Fahrbahn. Wird dennoch versucht, die anfallenden Schneemengen zu tauen, ergeben sich erhebliche Mehrkosten für den Straßenbetreiber. Zudem bildet sich durch die hohe Salzmenge eine große Menge Schneematsch, die in der Regel bei weiterer Verdünnung durch anhaltenden Niederschlag oder ein Absinken der Temperatur wieder zu Eis gefriert. Im Gegensatz zu einer gut erkennbaren Schneedecke ist ein beginnendes Gefrieren für den Lenker kaum erkennbar, weshalb eine Anpassung der Fahrweise nicht im selben Ausmaß möglich ist.

Eine weitere Gefahr für den Straßennutzer entsteht bei Auftrocknung großer Solemengen, aus denen je nach Temperatur unterschiedliche Kristalle auf der Fahrbahn entstehen. Trocknet die Straße bei Temperaturen über  $0^\circ\text{C}$  auf, so entstehen Halit-kristalle aus reinem  $\text{NaCl}$ , die jedoch eine glatte Oberfläche bilden und die Textur der Straße verschließen. Im Falle eines erneuten Niederschlags stehen diese Kristalle erneut zur Verfügung, wobei die glatten Oberfläche bei Befeuchtung entsprechend rutschig wird. Geschieht die Auftrocknung jedoch bei Temperaturen unter  $0^\circ\text{C}$  so entsteht das als Hydrohalit bekannte Dihydrat  $\text{NaCl}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , das im Gegensatz zu Halit nicht unmittelbar als tauwirksame Substanz zu Verfügung steht, jedoch bei Temperaturen über  $0^\circ\text{C}$  wieder in  $\text{NaCl}$  und Wasser zerfällt. Kann eine schnee- und eisfreie Fahrbahn daher nicht zuverlässig im Streuintervall sichergestellt werden, sind höhere Streumengen nicht zielführend und sollten daher vermieden werden.

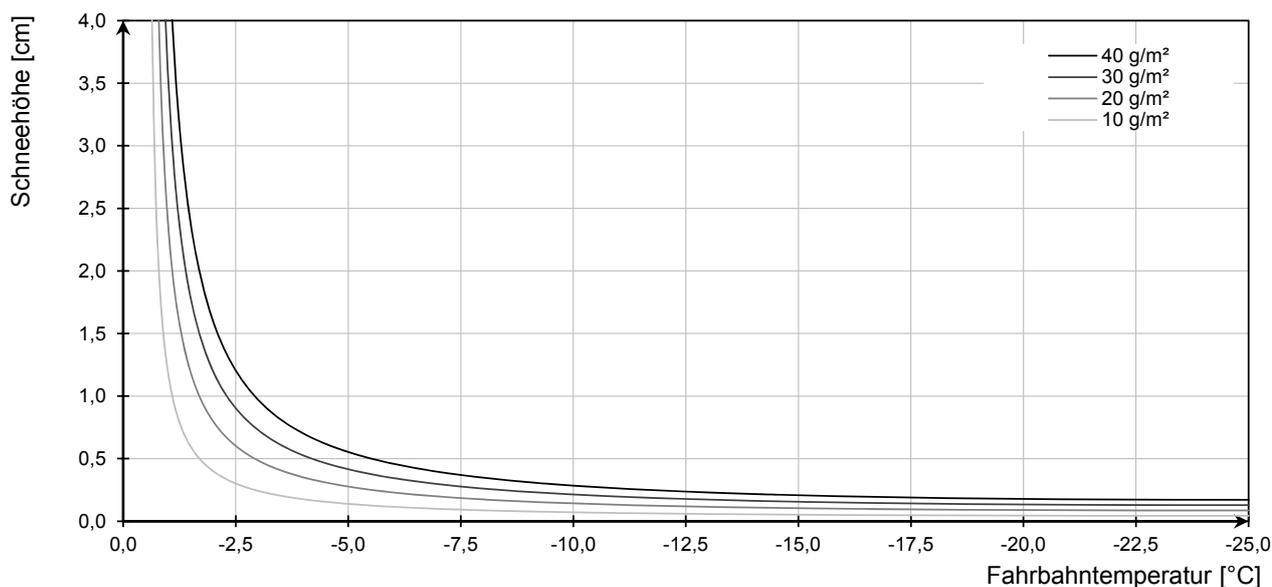


Abb. 67: Im Streuumschritt theoretisch taubare Schneemenge nach Fahrbahntemperatur ohne Streuverluste (Berechnungsbasis: Zusammenhang Gefrierpunkt - Konzentration gemäß Eutektik in Kap. 4.3; Konzentration = Streumenge / Niederschlagsmenge)

### 6.3 Ergebnisorientierte Begrenzung der Streumengen

Bei starken Schneefällen und tiefen Temperaturen ist eine durchgehend schnee- und eisfreie Fahrbahn gemäß Kap. 6.2 nicht erzielbar. Die Folge starken Schneefalls ist sowohl bei niedrigen wie hohen Streumengen mit einer schneebedeckten Fahrbahn weitgehend gleich und damit nur mit reduzierter Geschwindigkeit befahrbar. Da aber durch den Einsatz hoher Streumengen zusätzliche Gefahren entstehen und die Kosten steigen, sich aber am Ergebnis nichts ändert, ist von hohen Streumengen bei starken Schneefällen abzuraten. Vielmehr ist auf ein sauberes Räumbild und die Erhaltung des Trennfilms durch Streumengen von etwa 10 g/m<sup>2</sup> bis zum Ende der Schneefälle zu achten. Nach dem Ende der Schneefälle kann durch eine entsprechende Räumung und Streuung von z.B. 30 - 40 g/m<sup>2</sup> der verbleibende Schnee auf der Fahrbahn beseitigt werden.

Eine für den Straßennutzer problematische Situation kann an Schnittpunkten der Betreuungsgebiete verschiedener Meistereien mit unterschiedlicher Winterdienststrategie und Durchführungszeitpunkt entstehen. Die daraus resultierenden plötzlichen Unterschiede des Fahrbahnzustandes bei gleichen Bedingungen treffen den Straßennutzer meist unvorbereitet und stellen dadurch ein gewisses Gefahrenpotential dar. Daher sollte darauf geachtet werden, die Winterdienststrategie benachbarter Straßenmeistereien möglichst aufeinander abzustimmen und zudem die Schnittstellen in der Betreuung nur an übersichtliche, wenig gefährdete Stellen zu legen.

Die Unterschiede in Winterdienststrategien und Streumengen zeigt sich an der Auswertung der Streuung der ausgebrachten Streumengen im Vergleich zur gefallenen Schneemenge gemäß Abb. 68. Mit zunehmender Schneefallhöhe steigt auch die Streumenge bei entsprechender Schwankungsbreite. Um die Nahtstellenproblematik in den Griff zu bekommen, gilt es die Streumengen zu vereinheitlichen (Verengung des Konfidenzintervalls) und die Streufahrten zeitlich aufeinander abzustimmen. Auf diese Weise kann auch das Problem der großen Streumengen an wenigen Winterdiensttagen in den Griff bekommen werden, in dem z.B. als die Grenze der nur begrenzt bewältigbaren täglichen Schneefallmengen bei 5 cm angesetzt wird und auf eine Mindeststreuung von ca. 10 g/m<sup>2</sup> bis zum Ende der Schneefälle umgestellt wird.

Aus der Analyse der Häufigkeit von Starkschneefällen bei tiefen Temperaturen gemäß Kap. 3.4 ist mit solchen Ereignissen nur äußerst selten zu rechnen. Um auch für diese wenigen Winterdiensttage eine schnee- und eisfreie Fahrbahn durchgehend gewährleisten zu können, müsste die übliche Personal- und Geräteausstattung vervielfacht werden. Ein solcher Aufwand wird jedoch in der Regel nicht im Einklang mit den Prinzipien der sparsamen und zweckmäßigen Verwendung der knappen öffentlichen Mittel bzw. einem effizienten und umweltfreundlichen Winterdienst stehen.

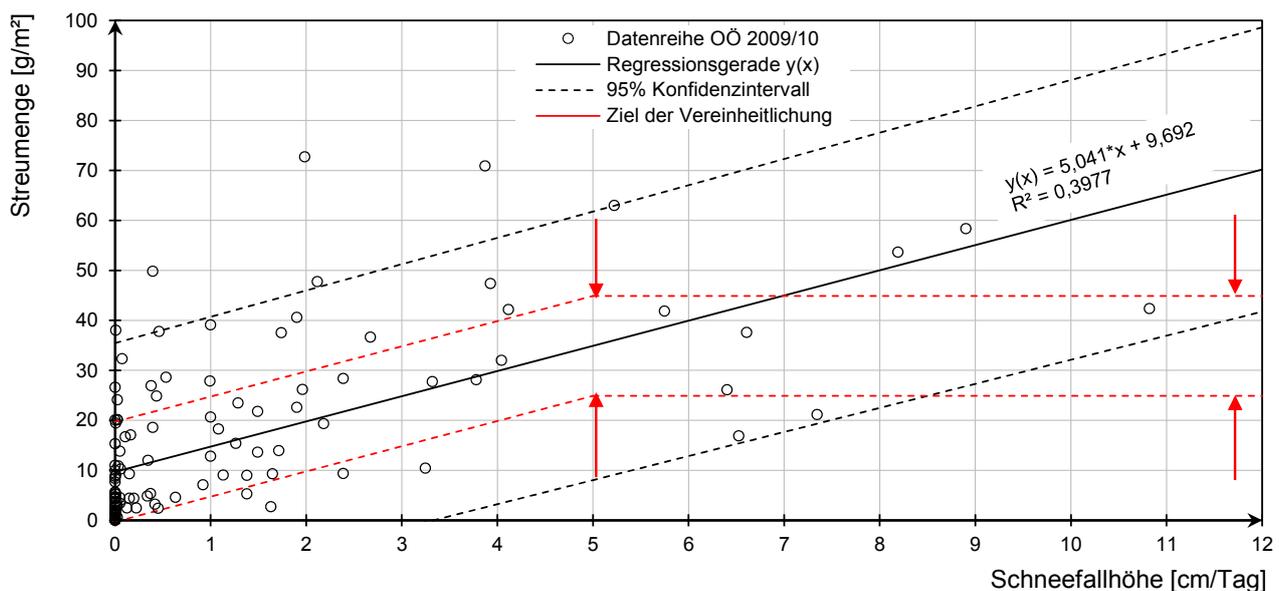


Abb. 68: Auswertung ausgebrachter Streumengen in g/m<sup>2</sup> und Tag nach Schneefallhöhe in cm pro Tag mit Darstellung der Ziele einer einheitlicheren Streuung und Begrenzung der Streumengen an Tagen mit Starkschneefällen > 5 cm/Tag

## 6.4 Optimierung der Streufahrten

Die Streufahrten (vor allem jene der Präventivstreuung) werden in der Regel zu Tageszeiten mit wenig Verkehr, möglichst in den frühen Morgenstunden bzw. am frühen Nachmittag vor dem Berufsverkehr durchgeführt, um Verkehrsbehinderungen hintanzuhalten. Bei Schneefall kann auf den Verkehr nur begrenzt Rücksicht genommen werden, da der Schnee von der Fahrbahn entfernt werden muss und vorgeschriebene Streuintervalle einzuhalten sind. Bei der Optimierung der Streufahrten sind daher einige Randbedingungen zu beachten.

Die Reichweite der Streufahrzeuge hängt vom Volumen der Salz- und Soletanks sowie der Streugeschwindigkeit in Verbindung mit der Streuumschwindigkeit (z.B. Straßen L+B: max. 5h) ab. Bei einer vorgegebenen maximalen Streuumschwindigkeit wird die Reichweite durch die Streugeschwindigkeit bestimmt. Bei hoher Streugeschwindigkeit kann innerhalb einer fixen Zeitspanne eine längere Strecke betreut werden als bei geringer Geschwindigkeit. Gemäß Abb. 69 o, li wird bei Streugeschwindigkeiten von 30 km/h die Reichweite bis 10 g/m<sup>2</sup> durch die Geschwindigkeit bestimmt, darüber durch das Volumen der Salz bzw. Soletanks. Alle in Abb. 69 angeführten Salz- bzw. Solemengen beziehen sich auf die tatsächlich ausgebrachte tauwirksame Substanz. Eine effektive Streumenge von 5,0 g/m<sup>2</sup> in der Feuchtsalzstreuung mit FS30 entspricht damit einer Streueinstellung von 6,5 g/m<sup>2</sup>.

Eine reine Solestreuung (FS100) weist zwar deutlich geringere Streu- und Austragungsverluste auf, ist aber derzeit in Österreich aufgrund der geringen Wirkung bei stärkeren Schneefällen sowie der geringen effektiven Streumengen und der vergleichsweise geringen Reichweite des bestehenden Fuhrparks nicht zielführend. Die Reichweite in Abhängigkeit vom mitgeführten Salz- bzw. Solevolumen ist in Abb. 69 o, re dargestellt, wobei ein typisches großes Streufahrzeug mit 5,8 m<sup>3</sup> Salzbehälter und 3.000 Liter Soletank als Basis herangezogen wurde. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Reichweite bei hohen Soleanteilen stark eingeschränkt ist. Das Mitführen größerer Soletanks ist zwar möglich, erfordert jedoch eine Umstellung auf größere Trägerfahrzeuge, was neben den Mehrkosten auch zu Problemen auf kommunalen Straßen führen kann. Die Kapazität der üblichen Salzbehälter und Soletanks ist so gewählt, dass für Feuchtsalzstreuung FS30 bzw. FS40 ein Optimum erreicht wird. Bei anderen Anfeuchtungsgraden wäre eine Anpassung notwendig.

Da die Anzahl der Fahrzeuge je Straßenmeisterei begrenzt ist und sich an dem Bedarf bei höheren Streumengen (starke Schneefälle, Engpassleistung, Streuumschwindigkeit) orientiert, ist generell eher langsamer zu fahren, da bei Streumengen über 10 g/m<sup>2</sup> die Tankgröße und nicht die Geschwindigkeit eine limitierende Größe für Reichweite und den Streuumschwindigkeit darstellt (Abb. 69 oben). Zudem können die Verwehverluste bei geringen Streugeschwindigkeiten (ca. 30 km/h) deutlich reduziert werden. Die Anzahl der erforderlichen Streufahrzeuge hängt von der Länge des betreuten Streckennetz und der Streugeschwindigkeit der Streufahrzeuge im Netz sowie den in Engpasssituationen notwendigen effektiven Streumengen ab.

Nachdem die Niederschlags- und Streumengen von Straßenmeistereien im alpinen Raum größer sind und Schneefälle häufiger vorkommen, werden auch mehr Streufahrzeuge & Personal benötigt. Gemäß Abb. 69 u, li wirkt sich die Art der verwendeten Sole nicht auf die Anzahl der notwendigen Fahrzeuge aus. Eine Änderung des Soleanteils von FS30 auf FS50 wirkt sich jedoch stark auf die Reichweite und die Anzahl der Fahrzeuge aus, die benötigt wird um ein Streckennetz innerhalb der Umlaufzeiten zu streuen. Dieser Anstieg kann durch den Bau von Silos an mehreren Stellen innerhalb des Betreuungsnetzes zu einem Großteil wett gemacht werden, wodurch aber Zusatzkosten für das Errichten der Silos entstehen und die Verladezeit weiterhin höher bleibt, als bei geringerem Soleanteil.

Die Einheitskosten der Streufahrten in Euro pro Kilometer beinhalten einen Fixkostenanteil für Personal und Streugerät und einen variablen Anteil nach Streumenge, die spätestens ab Streumengen >10 g/m<sup>2</sup> vergleichsweise den größten Anteil ausmachen und proportional mit der effektiven Streumenge ansteigen. Die Kostenunterschiede von FS30 sind je nach Soletyp bei geringen Streumengen vergleichsweise gering, summieren sich aber in einer Wintersaison mit durchschnittlich 130 Winterdiensttagen. Anhand der Einheitskosten für verschiedene Solen in Abb. 69 u, re können die jährlichen Kosten basierend auf der ausgebrachten Salzmenge und gefahrenen Kilometern über längere Zeiträume abgeschätzt werden. Der flächendeckende Einsatz alternativer Streumittel bzw. Soletypen wie z.B. Safecote oder Calciumchlorid erscheint aufgrund der höheren Kosten und begrenzten zusätzlichen Wirkung mit dem gegenwärtigen Kenntnisstand als nicht wirtschaftlich.

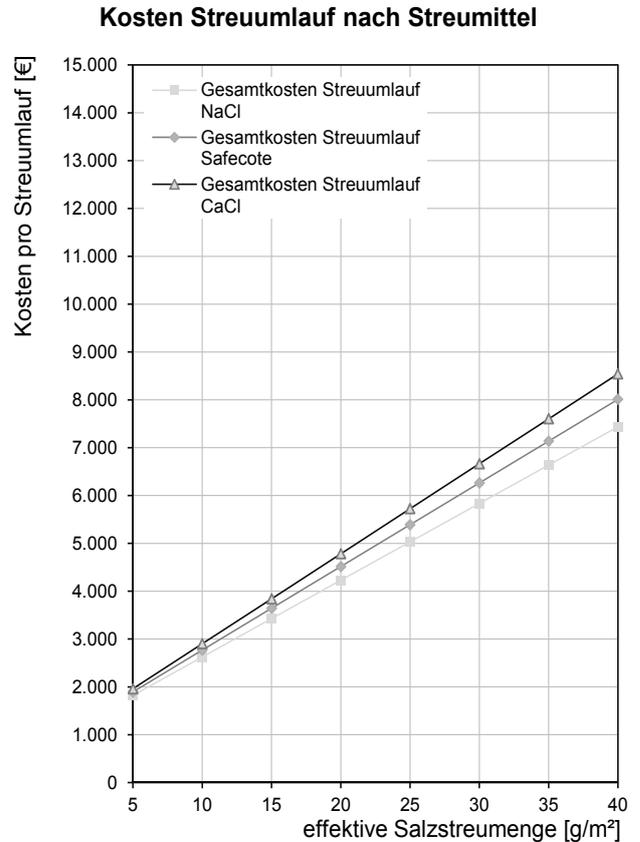
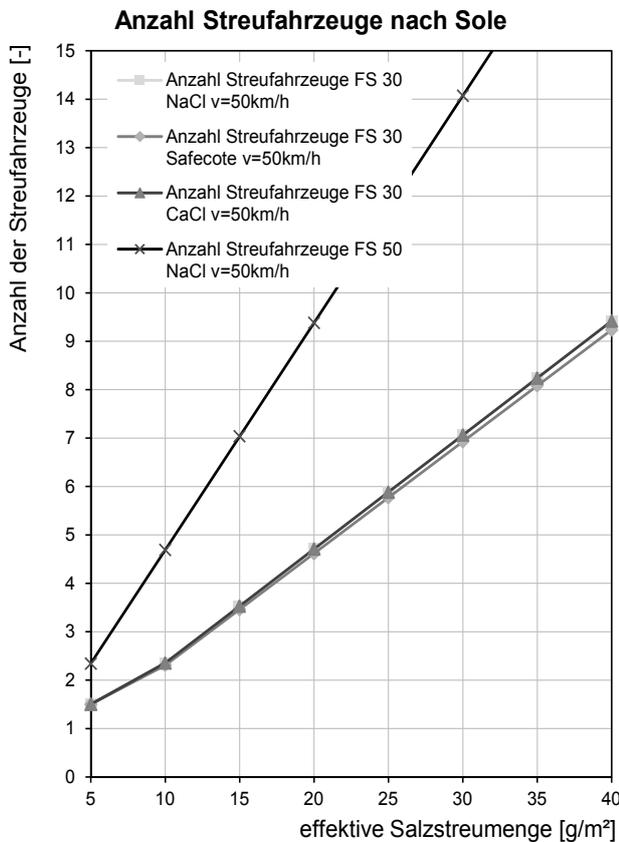
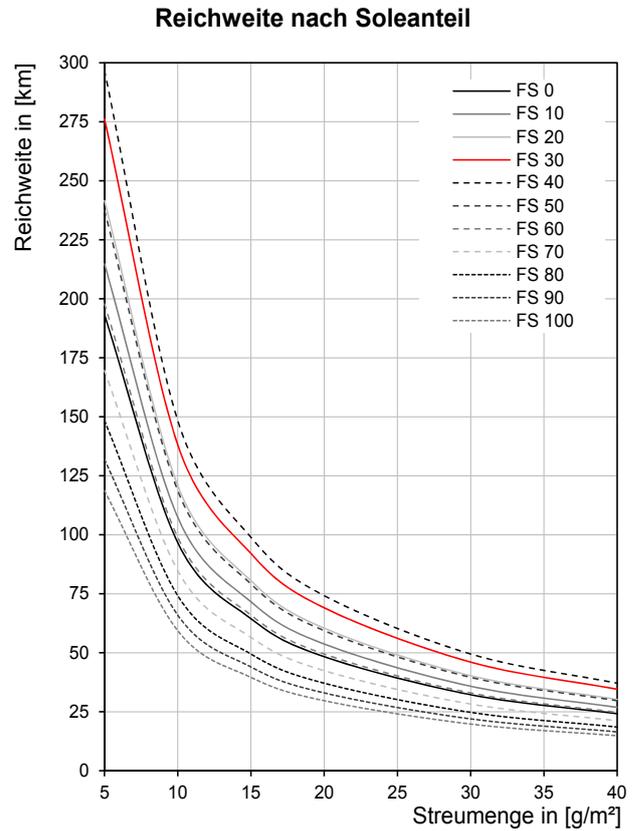
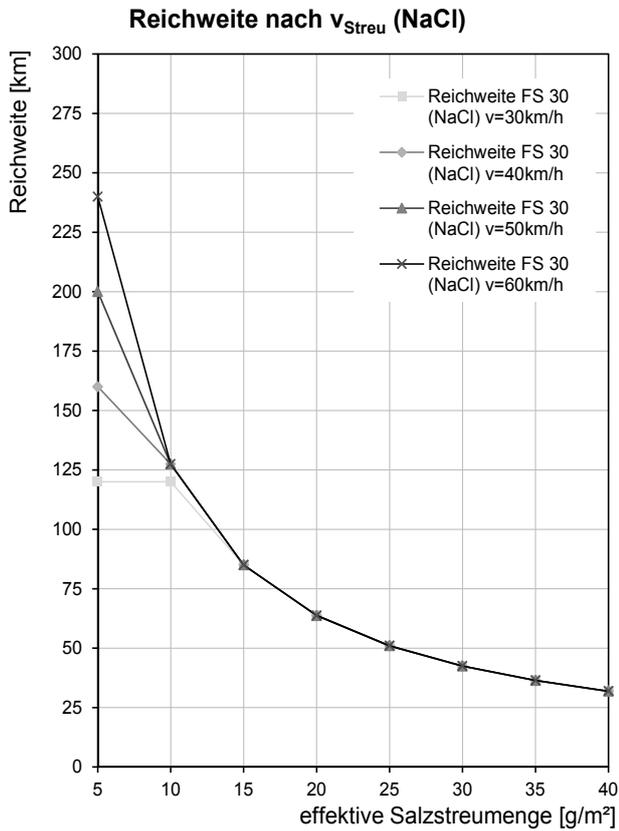


Abb. 69: Zusammenstellung Einsatzdaten: Reichweite und Einheitskosten eines Streufahrzeuges sowie Anzahl Streufahrzeuge und Gesamtkosten Streuumlauf (Berechnungsbasis: 300 km Fahrstrecke; 5,8 m<sup>3</sup> Salztank; 3.000 l Soletank; 4h Umlaufzeit)

## 6.5 Streuempfehlungen Winterdienstpersonal

Aus den bestehenden gesetzlichen Grundlagen und Normen, den Befragungen der Winterdienstverantwortlichen sowie den bisherigen Untersuchungen und Ergebnissen des Streumodells können die in der Folge dargestellten Streugrundsätze abgeleitet werden:

- Auf Autobahnen, Schnellstraßen und deren Netzschlüsse ist ein Betreuungsintervall (Umlaufzeit) von max. 3h im Zeitraum 0 - 24 Uhr einzuhalten (Kategorie A).
- An hochrangigen Landesstraßen mit einem JDTV > 5.000 KFZ/24h ist ein Betreuungsintervall von max. 5h im Zeitraum 4 - 22 Uhr einzuhalten (Kategorie B).
- An Landesstraßen mit einem JDTV von 1.000 - 5.000 KFZ/24h ist ein Betreuungsintervall von max. 5h im Zeitraum 5 - 20 Uhr einzuhalten (Kategorie C).
- An untergeordneten Landesstraßen mit einem JDTV < 1.000 KFZ/24h ist ein Betreuungszeitraum von 8 – 20 Uhr einzuhalten (Kategorie D).
- Feuchtsalzstreuung weist geringere Streuverluste und ein besseres Streubild als Trockensalzstreuung auf und ist bevorzugt anzuwenden [BADEL 2007, S. 28].
- Die taubare Schneemenge ist aus physikalischen Gründen begrenzt, weshalb bei starken Schneefällen und tiefen Temperaturen eine schnee- bzw. eisfreie Fahrbahn auch in sehr kurzen Streuintervallen (<60 min) nicht aufrechterhalten werden kann.
- Werden die Streuintervalle dennoch weiter verkürzt, steigen die Kosten ohne wesentliche Verbesserung des Straßenzustandes an.
- Es ist daher nur so viel Salz auszubringen, wie tatsächlich notwendig ist. Größere Streumengen führen zu überproportional höheren Kosten, ohne dass dadurch die Fahrbahnverhältnisse entscheidend verbessert werden.
- Die Streufahrten sind zeitlich so zu legen, dass die Strecke schon vor Beginn eines Niederschlagsereignisses ausreichend gestreut wurde (ca. 5 - 10 g/m<sup>2</sup> präventives Streuen max. 1 - 2 h vor Niederschlag).
- Festgefahrener Schnee bzw. Eis auf der Fahrbahn kann allein durch Ausbringen von Streusalz nicht ausreichend schnell entfernt werden. Die Beseitigung muss daher grundsätzlich zuerst mechanisch vor dem Streuen erfolgen.

Ausgehend von diesen Streugrundsätzen und der zentralen Frage wann gestreut werden muss und welche Streumittel bzw. Streumengen erforderlich sind, wurden standardisierte Streuempfehlungen erarbeitet. In der Zusammenstellung in Abb. 70 sind diese Fahrbahnsituationen anhand typischer Fotos illustriert und zusammen mit Winterdienst- und Fahrempfehlungen übersichtlich zusammengestellt. Sie beschreiben gut erkennbare Fahrbahnsituationen und Wetterentwicklungen als Ausgangsbasis für die Wahl der Winterdienststrategie bzw. der Streumenge.

Die Streuempfehlungen können die Fachkenntnis und Eigenverantwortung des Streupersonals sowie die Anpassung der Streumengen an örtliche bzw. besondere Erfordernisse (z.B. auf Brücken, Drainasphalt etc.) nicht ersetzen. Sie können jedoch helfen, die optimale Streustrategie im Winterdienst für die jeweiligen Verhältnisse auf der Straße zu finden und einen einheitlicheren und damit für den Straßennutzer besser vorhersehbaren Fahrbahnzustand zu schaffen. Die fünf unterschiedenen Fahrbahnzustände werden weiters in mehrere Witterungsszenarien unterteilt und entsprechende Empfehlungen abgegeben. Zudem ist für die einzelnen Szenarien noch ein Griffigkeitsbereich angegeben, der für diese Situationen typisch ist und zeigt, wo eine Anpassung der Fahrweise notwendig wird.

Unabhängig von den Streuempfehlungen ist bei Fahrbahntemperaturen unter 0°C unmittelbar vor Einsetzen eines Niederschlags ein präventiver Streuumlauf mit ca. 5 g/m<sup>2</sup> bis 10 g/m<sup>2</sup> durchzuführen, um den in Kap. 6.1 beschriebenen Trennfilm zu erzeugen. Wird diese Präventivstreuung nicht zeitgerecht durchgeführt, sind in der Regel deutliche Erhöhungen der notwendigen Streumengen erforderlich, um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. Zudem wird durch diese Präventivstreuung ein möglicher Gefriervorgang entscheidend verzögert, was dem Winterdienst ein entsprechendes Zeitfenster für weitere Räum- und Streuumläufe gibt. Bei schlechtem Straßenzustand bzw. Spurrinnen kann es zudem zielführend sein die Streumenge für die Präventivstreuung noch etwas anzuheben.

Fotodokumentation	Fahrbahnzustand	Winterdienstempfehlung
	<p><b>Trockene Fahrbahn:</b></p> <hr/> <p>Keine Reifglätte zu erwarten  Fahrbahntemperatur: -30°C bis +60°C  Hohe Griffigkeit, <math>\mu = 0,6 - 1,0</math></p> <hr/> <p>Reifglätte möglich bzw. zu erwarten  (üblicherweise ab 2 - 4 Uhr)</p>	<p><b>Minimalstreuung nur bei Reifglätte:</b></p> <hr/> <p>Streuung nicht erforderlich</p> <hr/> <p>Präventive Streuung 5 – 10* g/m<sup>2</sup>  bei einsetzender Reifbildung</p>
	<p><b>Feuchte oder nasse Fahrbahn:</b></p> <hr/> <p>Fahrbahntemperatur &gt; 0° C  Mittlere Griffigkeit, <math>\mu = 0,4 - 0,7</math></p> <hr/> <p>Fahrbahntemperatur ≤ 0° C  Feuchte Fahrbahn  Mittlere Griffigkeit, <math>\mu = 0,2 - 0,6</math></p> <hr/> <p>Fahrbahntemperatur ≤ 0° C  Nasse Fahrbahn  Sehr geringe Griffigkeit, <math>\mu = 0,1 - 0,6</math></p>	<p><b>Streuung nur bei Minusgraden:</b></p> <hr/> <p>Streuung nicht erforderlich  (Temperaturverlauf beobachten!)</p> <hr/> <p>Präventive Streuung 5 – 10* g/m<sup>2</sup>  vor einsetzender Glättebildung</p> <hr/> <p>Streuung von 20 – 40* g/m<sup>2</sup> vor  Eisbildung wichtig  Bei Glatteisgefahr Warnmeldung geben!</p>
	<p><b>Schnee auf der Fahrbahn:</b></p> <hr/> <p>Kein Schneefall  Rollspur schneefrei  Mäßige Griffigkeit, <math>\mu = 0,3 - 0,5</math></p> <hr/> <p>Schneefall weniger als 0,5 cm/Umlauf  Geringe Griffigkeit, <math>\mu = 0,2 - 0,4</math></p> <hr/> <p>Schneefall mehr als 0,5 cm/Umlauf  Schnee bleibt in Rollspur liegen  Geringe Griffigkeit, <math>\mu = 0,2 - 0,4</math></p>	<p><b>Räumen und Streuen nach Situation:</b></p> <hr/> <p>Räumen und Streuen mit 10 – 20* g/m<sup>2</sup>,  damit Restschnee getaut wird</p> <hr/> <p>Räumen und Streuen mit 10 – 20* g/m<sup>2</sup></p> <hr/> <p>Räumen u. Streuen 10 g/m<sup>2</sup> (Trennfilm!)  bis Ende der Schneefälle, danach  Räumen und Streuen mit 10 – 20* g/m<sup>2</sup></p>
	<p><b>Schnee in der Rollspur:</b></p> <hr/> <p>Kein Schneefall  Fahrbahn schneebedeckt  Geringe Griffigkeit, <math>\mu = 0,2 - 0,3</math></p> <hr/> <p>Schneefall weniger als 0,5 cm/Umlauf  Geringe Griffigkeit, <math>\mu = 0,2 - 0,3</math></p> <hr/> <p>Schneefall mehr als 0,5 cm/Umlauf  Sehr geringe Griffigkeit, <math>\mu = 0,1 - 0,3</math></p>	<p><b>Räumen und Streuen nach Situation:</b></p> <hr/> <p>Räumen und Streuen mit 20 – 30* g/m<sup>2</sup>,  damit Restschnee getaut wird</p> <hr/> <p>Räumen und Streuen mit 20 – 30* g/m<sup>2</sup></p> <hr/> <p>Räumen u. Streuen 10 g/m<sup>2</sup> (Trennfilm!)  bis Ende der Schneefälle, danach  Räumen und Streuen mit 20 – 30* g/m<sup>2</sup></p>
	<p><b>Eisglätte auf der Fahrbahn:</b></p> <hr/> <p>Kein Niederschlag,  Fahrbahntemperatur ≤ 0°C.  Sehr geringe Griffigkeit, <math>\mu = 0,05 - 0,2</math></p> <hr/> <p>Eisglätte und weiterer Niederschlag  (Schnee oder Regen)  Sehr geringe Griffigkeit, <math>\mu = 0,05 - 0,2</math></p>	<p><b>Streuen nach Bedarf:</b></p> <hr/> <p>Präventive Streuung falls möglich,  Streuung mit Maximalmenge an  kritischen/eisigen Stellen, Nachstreuen  nach Bedarf</p> <hr/> <p>Streuen mit Maximalmenge bis zur  Beseitigung der Glätte  Ggf. Sperre des Straßenabschnittes.  Verkehrsfreigabe nach Sperre erst bei  ausreichender Griffigkeit</p>

\* Bei hoher Verkehrsmenge und schlechtem Straßenzustand ist die Streumenge im oberen Bereich der angegebenen Bandbreite zu wählen.

Abb. 70: Typische Wettersituationen, Fahrbahnzustand und Winterdienstempfehlung für das Winterdienstpersonal auf Landes- und Gemeindestraßen übersichtlich zusammengestellt

## 6.6 Ermittlung der erforderlichen Streumengen

Ausgehend von dem in Abb. 13 auf Seite 42 sizzierten Modell kann die Streumenge angegeben werden, die theoretisch notwendig ist um die Fahrbahn über den Zeitraum eines ganzen Streuumlaufes frei von Schnee und Eis zu halten. Im Wesentlichen geht es darum, den Gefrierpunkt des Solefilms auf der Fahrbahn unter der Fahrbahntemperatur zu halten, um eine Eisbildung sowie daraus resultierende Straßenglätte wirkungsvoll zu verhindern.

Die Fahrbahntemperatur in den üblicherweise maßgebenden Morgen- und Abendstunden liegt in der Regel 0,0°C bis 2,0 °C über der Lufttemperatur. Durch den Verkehrseinfluss kommt es zusätzlich zu einem Wärmeeintrag im befahrenen Bereich von ca. 0,001°C je Kfz und Stunde je Fahrspur. An stark befahrenen Straßen kann es dadurch zu einer Erhöhung der Temperatur um bis zu +2,0 °C kommen. Die Fahrbahntemperatur kann mit Sensoren in Fahrzeug und Fahrbahn oder einer Thermokamera zuverlässig bestimmt werden. Ausgehend von der vorhandenen Fahrbahntemperatur und Niederschlagsmenge ergibt sich die erforderliche Restsalzmenge zur Absenkung der Gefrierpunkttemperatur unter die Fahrbahntemperatur gemäß den Diagrammen in Abb. 71 und Abb. 72.

Anhand von zwei Beispielen wird nun in der Folge der Zusammenhang von Niederschlagsmenge, Solekonzentration, Gefrierpunkt erläutert, aus dem sich die notwendige Streumenge ermitteln lässt. Für eine Niederschlagsmenge von 0,1 bzw. 0,2 mm im Streuintervall (0,1 bzw. 0,2 cm Schnee) sowie eine Fahrbahntemperatur von -4,0 °C kann eine erforderliche Restsalzmenge von 5,5 g/m<sup>2</sup> bzw. 11,3 g/m<sup>2</sup> aus Abb. 71 abgelesen werden, die nach der Umlaufzeit noch notwendig ist, um den während dieser Zeit gefallenen Schnee zu tauen.

Da diese Salzmenge noch am Ende des Streuintervalls zu Verfügung stehen muss, um ein Gefrieren zuverlässig zu verhindern, sind auch noch die Streu- und Austragungsverluste zu berücksichtigen, um auf die erforderliche Streumenge zu kommen. Die voraussichtliche Anzahl der KFZ kann aus der Tagesganglinie des Verkehrs und den Zeitpunkten der Streuungen ermittelt oder überschlägig abgeschätzt werden.

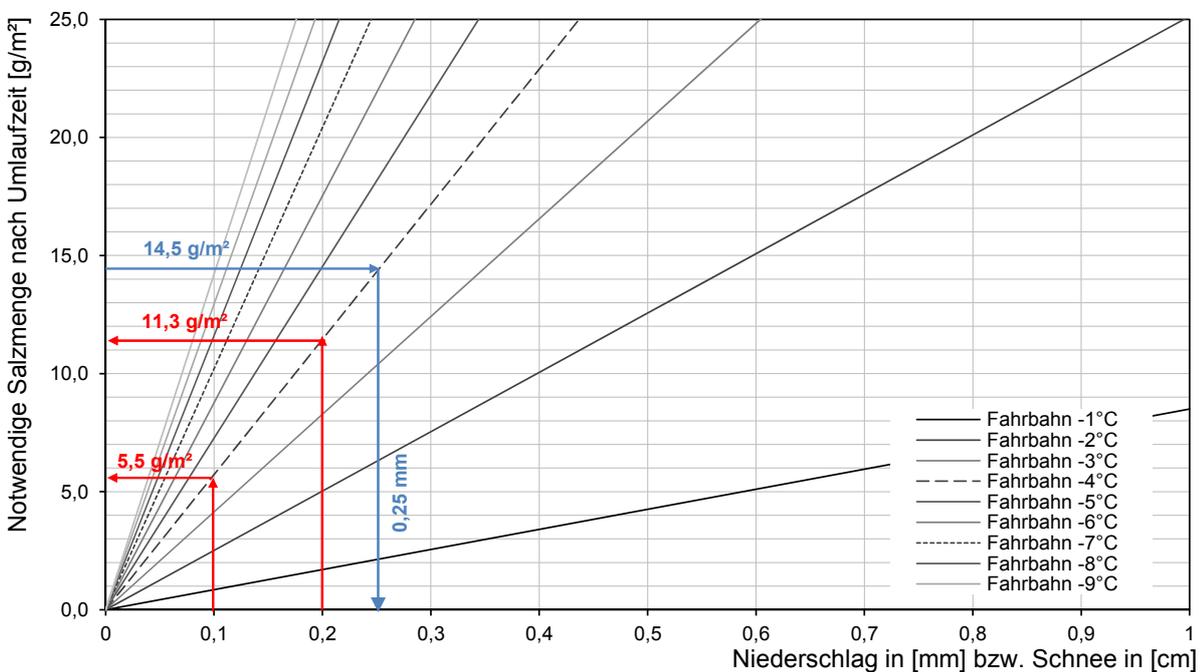


Abb. 71: Ermittlung der erforderlichen Restsalzmenge am Ende des Streuintervalls auf Basis der Fahrbahntemperatur und prognostizierten Niederschlagsmenge mit Hilfe eines Diagrammes

$$SK_{NaCl} = 0,0005177 * GP_{NaCl}^3 - 0,01698 * GP_{NaCl}^2 - 1,714 * GP_{NaCl} - 0,8468$$

Formel 08:

Solekonzentration  
SK      Konzentration [%]  
GP      Gefrierpunkt [°C]

Für eine typische Streuumschleifezeit von 5 Stunden und eine Verkehrsbelastung von 200 bzw. 500 KFZ in der Fahrspur ergibt sich eine maßgebende Verkehrsbelastung von 1.000 bzw. 2.500 KFZ im Streuintervall. Auf Basis der maßgebenden Verkehrsbelastung im Streuintervall und der erforderlichen Restsalzmenge am Ende des Streuintervalls kann die erforderliche Streumenge zu Beginn des Streuintervalls mit ca. 15 bzw. 33 g/m<sup>2</sup> aus Abb. 72 abgelesen werden.

Der umgekehrte Weg in der Ermittlung der Streumengen bzw. möglichen Beherrschbarkeit eines Niederschlagsereignisses ist ebenso denkbar. Für den Extremfall eines besonders intensiv betreuten Autobahnabschnittes mit einer minimalen Umlaufzeit von 60 Minuten sowie einem Verkehr von 1.000 Kfz/h und der Maximalstreumenge von 40 g/m<sup>2</sup> ergibt sich aus Abb. 72 eine Restsalzmenge von ca. 14,5 g/m<sup>2</sup>. Für eine Fahrbahntemperatur von -4,0 °C ergibt sich mit dieser Restsalzmenge aus Abb. 71 eine gerade noch beherrschbare Niederschlagsmenge von 0,25 mm. Berücksichtigt man noch die Temperaturreserve aus dem Wärmeeintrag des Verkehrs von 0,001 x 1.000 Kfz/h = +1,0 °C, so ergibt sich eine gerade noch beherrschbare Niederschlagsmenge von 0,35 mm bzw. 0,35 cm Schnee in der Umlaufzeit von einer Stunde.

Für die Witterungsszenarien trocken bzw. Reif kann üblicherweise mit Niederschlagssummen zwischen 0,05 bis 0,1 mm/h zwischen 02:00 und 04:00 Uhr gerechnet werden, die durch geringe zeitnahe ausgebrachte Streumengen gut beherrschbar sind. Niederschlagsmengen größer als 0,5 mm Wasser bzw. 5 mm Schnee innerhalb eines Streuintervalls sowie Fahrbahntemperaturen unter -5°C sind aufgrund der begrenzten Tauwirkung und den geringen verbleibenden Restsalzmengen kaum noch mit den üblichen Streustrategien beherrschbar. Insgesamt sind solche extremen Niederschlagsereignisse mit einem regional unterschiedlichen Anteil von 5 - 10% der Winterdiensttage jedoch die Ausnahme. In diesen Fällen ist die Anwendung der Präventivstreuung und darauf folgenden Minimalstreuung Räumen bis zum Ende der Schneefälle am wirtschaftlichsten. Nach Ende der Schneefälle kann der verbleibende Restschnee durch Ausbringung größerer Streumengen getaut werden. Weiters wird es in solchen Fällen sinnvoll sein, die Straßennutzer über Radio und TV rechtzeitig zu informieren.

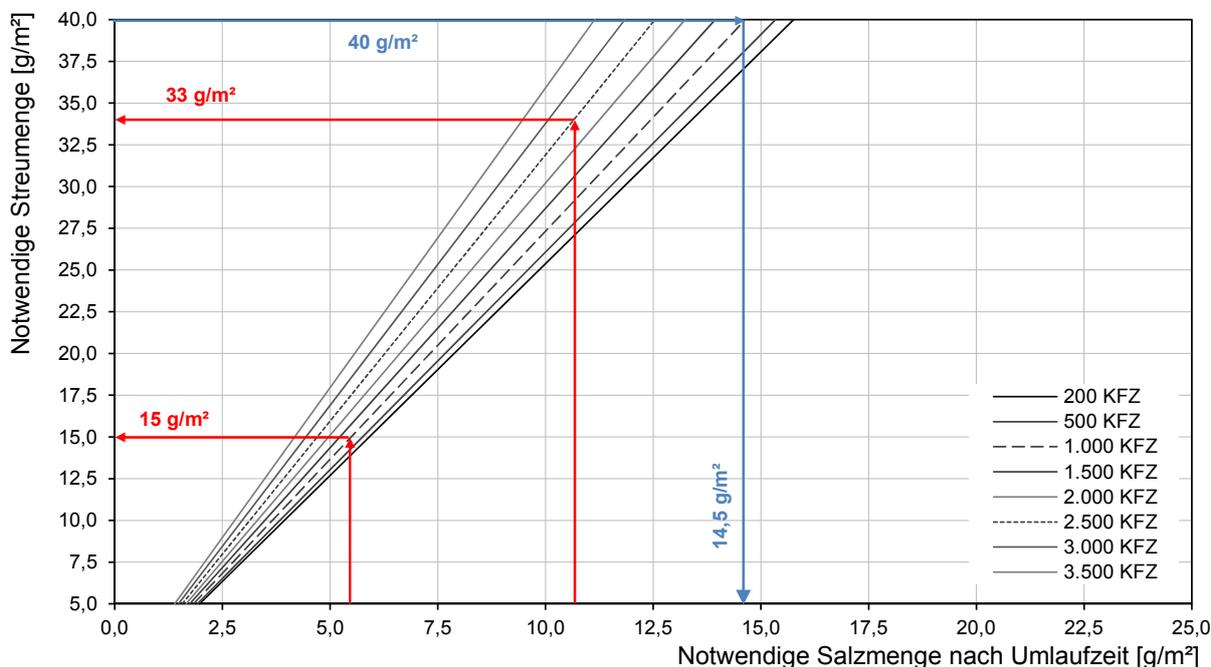


Abb. 72: Ermittlung der notwendigen Streumenge am Beginn des Streuintervalls über die erforderliche Restsalzmenge und KFZ im Streuintervall. Der Anfangsverlust wird mit 50% der Streumenge berücksichtigt, die Verkehrsverluste ergeben sich gemäß Formel 09 auf Basis der Restsalzmessungen

$$RSM = (KFZ * -7 * 10^{-5} + 0,802) * SM * AV$$

Formel 09:	Verkehrsverluste
RSM	Restsalzmenge [g/m <sup>2</sup> ]
KFZ	Verkehrsmenge [KFZ-E]
SM	Streumenge [g/m <sup>2</sup> ]
AV	Anfangsverlust [%]

## 6.7 Tauwirksamkeit von Streusalz nach Schneefall, Temperatur und Verkehr

Die in Kap. 6.6 gezeigte Methode zur Ermittlung der erforderlichen Streumenge auf Basis der beiden Diagramme erlaubt eine exaktere Ermittlung der Streumenge, um die Straße während der gesamten Umlaufzeit frei von Schnee und Eis zu halten. Die Berücksichtigung aller notwendigen Einflussfaktoren erfordert die Arbeit mit mindestens zwei aufeinanderfolgenden Diagrammen und ist vergleichsweise kompliziert. Um diesen Nachteil zu vermeiden und trotzdem die Einflüsse von Niederschlag und Verkehr berücksichtigen zu können, wurde die in Abb. 73 dargestellte Tabelle entwickelt.

Der Einfluss der Niederschlagsmenge ist in vier Kategorien von kaum wahrnehmbarem Schneefall und Reifbildung bis zu Starkschneefällen in Form einer quantitativen und qualitativen Beschreibung berücksichtigt. Gerade beim Niederschlag bietet sich eine solche Kategorisierung an, weil dieser in der Regel von den Fahrern aufgrund der tatsächlichen Situation vor Ort eingeschätzt werden muss. Um die Tabelle flexibel zu halten, sind die Werte der Schneefallmenge und der Verkehrsbelastung auf die gesamte Umlaufzeit bezogen. Bei einer typischen Umlaufzeit von drei Stunden auf einer zweispurigen Straße mit einer Verkehrsbelastung von 500 KFZ/h in eine Fahrtrichtung ist die Verkehrsmenge in der Tabelle demgemäß mit 1.500 KFZ/Umlauf zu rechnen. Aufgrund der Unsicherheiten ist der Temperatureintrag durch Verkehr von ca.  $0,0015^{\circ}\text{C}/\text{KFZ}/\text{h}$  als „Reserve“ nicht enthalten. Bei in der Regel gleichbleibenden Räumrouten und Verkehrsbelastungen ist die für einen Abschnitt geltende Verkehrsstärke für den Fahrer auf den betreffenden Abschnitten gleichbleibend und einfach zu bestimmen. Die Fahrbahntemperatur kann aus der Wetter- bzw. Lufttemperaturprognose abgeschätzt, oder mit einem preisgünstigen Infrarotsensor einfach ermittelt werden.

Die farbigen Bereiche von Grün über Gelb nach Rot definieren die Kombinationen aus Niederschlagsmenge, Fahrbahntemperatur und Verkehrsbelastung, für die ein vollständiges Tauen der gefallenen Schneemenge im Streuumlauf mit einer Streufahrt noch möglich ist. In den grauen Bereichen ist eine schnee- und eisfreie Fahrbahn über die gesamte Umlaufzeit selbst mit der Maximalstreumenge von  $40\text{g}/\text{m}^2$  nicht mehr möglich. In diesem Fall wird durch die hohe Streumenge nur mehr Schneematsch geschaffen, der weniger griffig ist, als eine frische Schneefahrbahn. Durch einen Strategiewechsel hin zur Präventivstreuung mit ca.  $10\text{g}/\text{m}^2$  kann üblicherweise ein Trennfilm erzeugt werden, der bei jedem Umlauf durch Räumen und Streuen von  $10$  bis  $20\text{g}/\text{m}^2$  bis zum Ende der Schneefälle zu erneuern ist. Nach Abklingen der Schneefälle kann im letzten Umlauf geräumt und der verbleibende Restschnee mit Streumengen von  $20$  bis  $30\text{g}/\text{m}^2$  getaut werden.

Durch die physikalisch gegebene Tauwirkung von Natriumchlorid  $\text{NaCl}$  ist eine schwarze Fahrbahn in der gesamten Umlaufzeit nur bei Temperaturen knapp unter  $0^{\circ}\text{C}$  und geringen Schneefallmengen im Streuumlauf erreichbar. Hier ist das Schaffen und Erhalten einer Trennschicht zwischen Fahrbahn und Schnee durch Räumen und Streuen von etwa  $10\text{g}/\text{m}^2$  die bessere Strategie. Erst nach Abklingen des Schneefalls kann durch Räumen und Streuen der Schnee nachhaltig getaut werden. Bei sehr tiefen Temperaturen (unter  $-10^{\circ}\text{C}$ ) und Schneefall kann aufgrund der stark begrenzten Tauwirksamkeit auf das Ausbringen von Streusalz verzichtet werden.

## Tauwirksamkeit von Streusalz in Abhängigkeit von Niederschlag, Fahrbahntemperatur und Verkehr

Durch die physikalisch gegebene Tauwirkung von Natriumchlorid NaCl ist eine schwarze Fahrbahn in der gesamten Umlaufzeit nur bei Temperaturen knapp unter 0°C und geringen Schneefallmengen im Streuumlauf erreichbar. Hier ist das Schaffen und Erhalten einer Trennschicht zwischen Fahrbahn und Schnee durch Räumen und Streuen von etwa 10 g/m<sup>2</sup> die bessere Strategie. Erst nach Abklingen des Schneefalls kann durch Räumen und Streuen der auf der Fahrbahn verbleibende Schnee nachhaltig getaut werden. Bei sehr tiefen Temperaturen und Schneefall kann aufgrund der stark begrenzten Tauwirksamkeit auf das Ausbringen von Streusalz während des Schneefalls verzichtet werden, sofern entsprechende Räumfahrten durchgeführt werden.

Niederschlag 0,0 mm bis 0,25 mm - Schneehöhe 0,0 cm bis 0,25 cm Reifbildung bzw. gerade wahrnehmbarer Schneefall		Fahrbahntemperatur in °C												
		-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10			
Streuemenge in [g/m <sup>2</sup> ]		5	16	26	36	10	10	10	10	10	10	10	10	10
KFZ in der Umlaufzeit	250	6	16	27	37	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	500	6	17	28	39	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	1.000	6	18	30	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	1.500	6	19	31	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	2.000	7	20	33	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2.500	7	21	35	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
3.000	8	23	37	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
3.500	8	24	40	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
4.000	8	24	40	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	

Niederschlag 0,25 mm bis 0,5 mm - Schneehöhe 0,25 cm bis 0,5 cm gerade wahrnehmbarer Schneefall		Fahrbahntemperatur in °C											
		-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10		
Streuemenge in [g/m <sup>2</sup> ]		11	32	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
KFZ in der Umlaufzeit	250	11	33	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	500	12	34	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	1.000	12	36	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	1.500	13	38	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	2.000	14	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2.500	14	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
3.000	15	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
3.500	16	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
4.000	16	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	

Niederschlag 0,5 mm bis 0,75 mm - Schneehöhe 0,5 cm bis 0,75 cm leichter Schneefall		Fahrbahntemperatur in °C											
		-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10		
Streuemenge in [g/m <sup>2</sup> ]		16	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
KFZ in der Umlaufzeit	250	17	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	500	17	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	1.000	18	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	1.500	19	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	2.000	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2.500	22	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
3.000	23	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
3.500	24	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
4.000	24	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	

Niederschlag 0,75 mm bis 1 mm - Schneehöhe 0,75 cm bis 1 cm leichter bis mäßiger Schneefall		Fahrbahntemperatur in °C											
		-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10		
Streuemenge in [g/m <sup>2</sup> ]		22	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
KFZ in der Umlaufzeit	250	22	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	500	23	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	1.000	24	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	1.500	26	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	2.000	27	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2.500	29	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
3.000	31	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
3.500	33	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
4.000	33	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	

Abb. 73: Darstellung der Grenzen der Tauwirksamkeit von Streusalz auf Basis des Streumodells mit den Einflussgrößen Niederschlagsmenge, Fahrbahntemperatur und Verkehr während eines Streuumlaufes

## 6.8 Dokumentation Winterdienst

Bei Schadenersatzansprüchen gegen die Straßenverwaltung ist eine lückenlose Aufzeichnung unabdingbar, um die ordnungsgemäße Durchführung des Winterdienstes nachzuweisen. Dazu sind über die Winterdienstesätze sowie alle wichtigen Vorkommnisse gemäß RVS - Arbeitspapier 21 „Einweisungsunterlagen für das Winterdienstpersonal“ folgende Protokolle und Aufzeichnungen zu führen:

- Fahrtenbücher
- Winterdienst - Einsatzberichte
- Tagesberichte (Personaleinsatz)
- Tachographen - Scheiben oder Aufzeichnungen sowie Daten aus Fahrerkarten
- Besondere Vorkommnisse (Journal - Protokolle)
- Wetterberichte
- Bestell- und Liefernachweise sowie Prüfatteste der Streumittel
- Räum- und Streupläne
- Straßenzustandsberichte und Streumengenempfehlung lt. Diagrammen

Diese Protokolle dienen einerseits der Dokumentation von Winterdienstesätzen (insbesondere bei allfälligen Haftungsfragen) und sind bei entsprechender Detailinformationen auch Datengrundlage für Kostenrechnungen und diverse Winterdienststatistiken (Materialverbrauch, Einsatzdaten etc.). Wenn die notwendigen Voraussetzungen vorhanden sind, können die Berichte und Daten auch vollautomatisch elektronisch erfasst werden und eine weitere Auswertung der erfassten Daten automatisiert geschehen. Die Protokolle sind in den jeweiligen Straßenmeistereien mindestens 4 Jahre aufzubewahren (Verjährungsfrist von 3 Jahren für Schadenersatzansprüche gemäß ABGB §1489). Nicht ordnungsgemäß im Protokoll vermerkte Ausfahrten können bei eventuellen späteren Verfahren nicht bzw. nur sehr schwer nachgewiesen werden. Im Straßenzustandsbericht sind für Hauptverkehrsstraßen, deren Fahrbahnzustand und die jeweiligen Winterdienstmaßnahmen festzuhalten. Diese Informationen sind gemäß dem Meldeplan oder nach Anforderung an die zuständigen Stellen (Exekutive und Verkehrsredaktionen) weiterzuleiten.

# 7. Verkehrssicherheit und Fahrempfehlungen

## 7.1 Rechtliche Grundlagen und fahrdynamische Prinzipien

Den rechtlichen Rahmen für das Zusammenspiel von Autofahrer und Straßenbetreiber bilden in Österreich zwei Paragraphen, die einerseits vom Betreiber eine Erhaltungspflicht der Straße und andererseits eine Selbstverantwortung des Autofahrers fordern. Aufgrund der offenen Formulierungen in beiden Paragraphen besteht ein entsprechend großer Auslegungsspielraum.

In §1319a ABGB, ist die Haftung des Wegehalters bei Tötung oder Verletzung von Menschen bzw. Beschädigung von Sachen geregelt. Der Wegehalter ist für die sichere Benutzbarkeit bzw. rechtzeitige Sperre einer Straße verantwortlich und kann bei fahrlässigem Verhalten in Schadensfällen haftbar gemacht werden. Ob der Zustand eines Weges mangelhaft ist, richtet sich danach, was nach der Art des Weges, besonders nach seiner Widmung, für seine Anlage und Betreuung angemessen und zumutbar ist. Auf den Straßen B, L und G kann der Straßenhalter nur bei grober Fahrlässigkeit zu Schadenersatzzahlungen verpflichtet werden, während dies auf Autobahnen und Schnellstraßen aufgrund der Bemaßung durch die ASFINAG schon bei leichter Fahrlässigkeit möglich ist.

Im Gegensatz regelt §20 der STVO 1964 i.d.g.F. die Selbstverantwortung des Bürgers, der seine Fahrweise bzw. Fahrgeschwindigkeit an die gegebenen Straßenzustände anzupassen hat. Der Autofahrer ist demnach verpflichtet, seine Fahrgeschwindigkeit insbesondere den Straßen-, Verkehrs- und Sichtverhältnissen, sowie den Eigenschaften von Fahrzeug und Ladung anzupassen. Bei winterlichen Verhältnissen muss der Straßennutzer mit einer Schneefahrbahn und schlechteren Straßenverhältnissen bzw. während eines Schneefalls zusätzlich noch mit schlechteren Sichtverhältnissen rechnen.

Für den Straßennutzer ergeben sich mit abnehmender Griffigkeit z.B. aufgrund einer Schnee-/Eisfahrbahn vor allem zwei problematische Situationen. Eine davon ist der verlängerte Bremsweg gemäß Abb. 74, der besonders auf Autobahnen aufgrund der hohen gefahrenen Geschwindigkeiten und vielfach schlechten Sicht bei diesen Verhältnissen problematisch ist. Die bei diesen Verhältnissen regelmäßig auftretenden Massenkarambolagen, vor allem zu Beginn der Wintersaison belegen diese Problematik deutlich.

Die zweite Problematik ist die der Kurvenfahrt, bei der sich die mögliche Kurvengeschwindigkeit mit einer Abnahme der Griffigkeit deutlich reduzieren. In Abb. 71 ist die maximale Geschwindigkeit mit der der Kreisbögen mit einem Radius von 200 m ( $V_{85} = 80$  km/h) bzw. 800 m ( $V_{85} = 130$  km/h) und einer Querneigung der Fahrbahn von 7,0% noch durchfahren werden können. Ausgehend vom Mindestradius der Projektierung gemäß RVS 03.03.23 kann daher eine sichere Kurvenfahrt bei Schnee- und Eisfahrbahn ohne Reduktion der Geschwindigkeit nicht an allen Straßenabschnitten gewährleistet werden. Die Problematik der Grenzzadien ist eher auf Landesstraßen ein Thema, da hier im Gegensatz zu Autobahnen in der Vergangenheit auch mit engeren Radien geplant wurde und kaum vergleichbare Leiteinrichtungen bestehen.



Abb. 74: Typische Bremswege bei durch Niederschlag veränderter Griffigkeit (Beispiel)

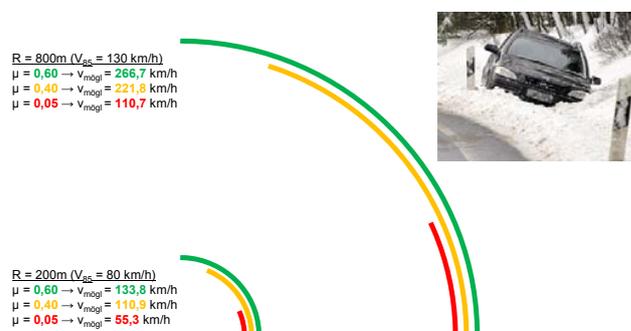


Abb. 75: Grenzgeschwindigkeiten für eine sichere Kurvenfahrt nach Griffigkeit für Radien von 200m und 800m

## 7.2 Fahrempfehlungen Straßenbenutzer

Das Netz der Landes- und Gemeindestraßen in Österreich ist üblicherweise so geplant und gebaut, dass sowohl bei trockener oder nasser Fahrbahn und Einhaltung der Geschwindigkeitsbeschränkungen Unfälle aufgrund mangelnder Griffbarkeit vergleichsweise selten sind. Bei Schnee- oder Eisglätte sowie engen Kurven und unübersichtlichen Stellen ist hingegen eine Geschwindigkeitsreduktion und vorsichtige, vorausschauende Fahrweise in jedem Fall erforderlich, um eine sichere Fahrt zu gewährleisten.

Passend zu den Empfehlungen für Winterdienstmitarbeiter gemäß Kap. 6.5 erlaubt Abb. 76 eine gute Einschätzung der Situation für den Straßennutzer und erleichtert damit eine angepasste Fahrweise gemäß §1319a ABGB bzw. §20 STVO. Der Straßennutzer kann die Fahrbahnverhältnisse anhand der Referenzbilder einschätzen und die erforderliche Reduktion der Geschwindigkeit vornehmen. Zusätzlich sind noch die vorhandenen Sichtweiten und lokalen Verhältnisse eigenverantwortlich zu beachten. Die fünf grundsätzlich zu unterscheidenden Fahrbahnzustände sind:

- **Trockene Fahrbahn:** Bei trockener Fahrbahn ohne Niederschlag ist im Winter üblicherweise keine Einschränkung der zulässigen Geschwindigkeit aus Sicht des Fahrbahnzustandes erforderlich. Bei Verwendung von Sommerreifen statt Winterreifen kann eine Geschwindigkeitsreduktion aufgrund des schlechteren Haftverhaltens der Reifen notwendig sein. An exponierten Stellen (z.B. Brücken) muss bei Temperaturen unter 0°C jedoch mit Reifbildung gerechnet werden, während an exponierten Stellen die Gefahr von Schneeverwehungen besteht.
- **Nasse Fahrbahn:** Bei nasser Fahrbahn und Plusgraden ohne Sprühfahnenbildung sind üblicherweise keine bis geringfügige Reduktionen der Geschwindigkeit erforderlich. Bei Sprühfahnenbildung besteht Aquaplaninggefahr (Geschwindigkeitsreduktion < 70 km/h ist empfehlenswert). Bei nasser Fahrbahn und tiefen Temperaturen besteht akute Glatteisgefahr. Zudem ist diese nur schwer von einer nassen Fahrbahn zu unterscheiden und damit eine Reduktion der Geschwindigkeit unbedingt notwendig.
- **Schnee neben Rollspur:** Sind keine weiteren Schneefälle zu erwarten und die Rollspur ist schneefrei bzw. trocken bis leicht feucht, so reicht üblicherweise eine Reduktion der zulässigen Geschwindigkeit um 20 bis 30% aus. Bleibt der Schnee jedoch aufgrund anhaltender Schneefälle sukzessive in der Rollspur liegen, ist mit Glättegefahr zu rechnen und die Geschwindigkeit ist gemäß den Verhältnissen deutlich zu reduzieren.
- **Schnee in Rollspur:** Ist bereits so viel Schnee gefallen, dass er die Rollspur bedeckt, so ist die zulässige Fahrgeschwindigkeit auf Landes- und Gemeindestraßen um ca. 40 bis 50% zu reduzieren, sofern der Schnee noch nicht festgefahren ist (Grip Winterreifen). Auf Autobahnen und Schnellstraßen ist die Geschwindigkeit auf etwa 70 km/h zu begrenzen, um den Bremsweg nicht zu groß werden zu lassen. Bei anhaltenden Schneefällen und Schnee in der Rollspur ist die Geschwindigkeit entsprechend der eingeschränkten Sichtweite zu verringern (Fahren auf halbe Sicht).
- **Eisglätte auf der Fahrbahn:** Bei Eisglätte auf der Fahrbahn sind die Einsatzkräfte zu informieren und vorhandene Fahrbeschränkungen einzuhalten. In Ausnahmefällen bzw. an Gefahrenstellen ist nach Möglichkeit im Schritttempo aus der Gefahrenzone zu fahren. Aufgrund der extrem niedrigen Griffbarkeit ist die Geschwindigkeit auf jeden Fall bereits vor der Eisfläche zu vermindern. Brems- und Lenkmanöver auf einer geschlossenen Eisdecke sind mit normalen Winterreifen weitgehend unmöglich. Eisglätte durch gefrierenden Regen ist durch den Winterdienst schwer in Griff zu bekommen, da die anfallende Niederschlagsmenge im Vergleich zur maximal ausbringbaren Salzmenge hoch ist. Bei Gefahr eines gefrierenden Niederschlags (Warnung von Straßenbetreiber oder Verkehrsfunk), muss im entsprechenden Gebiet die Geschwindigkeit auf das Niveau des Szenarios „Schnee in Rollspur“ reduziert werden.

Diese Empfehlungen sind so gehalten, dass die eine sichere Fahrt bei den dargestellten Verhältnissen aufgrund der Geschwindigkeitsreduktion auch unter ungünstigen Verhältnissen gegeben ist. Erfolgt eine Dokumentation von Unfällen unmittelbar nach dem Unfallereignis z.B. über Fotos und Beschreibung von Fahrbahnzustand, Fahrzeug und Sichtverhältnissen, kann auch nachträglich eine ungefähre Einschätzung der erforderlichen Geschwindigkeit bzw. für den Unfall erforderlichen Mindestgeschwindigkeit erfolgen.

Fotodokumentation	Fahrbahnzustand	Fahrempfehlungen
	<p><b>Trockene Fahrbahn:</b></p> <p>Keine Reifglätte zu erwarten Fahrbahntemperatur: -30°C bis +60°C Hohe Griffigkeit</p> <p>Reifglätte möglich bzw. zu erwarten (üblicherweise ab 2 - 4 Uhr)</p>	<p><b>Keine Einschränkungen zu erwarten:</b></p> <p>Keine Einschränkung bei der zulässigen Geschwindigkeit aus Sicht des Fahrbahnzustands erforderlich.</p> <p>Geschwindigkeitsreduktion an exponierten Stellen (z.B. Brücken)</p>
	<p><b>Feuchte oder nasse Fahrbahn:</b></p> <p>Fahrbahntemperatur &gt; 0° C Hohe Griffigkeit</p> <p>Fahrbahntemperatur ≤ 0° C Feuchte Fahrbahn Geringe Griffigkeit bei Eisbildung</p> <p>Fahrbahntemperatur ≤ 0° C Nasse Fahrbahn Sehr geringe Griffigkeit bei Eisbildung</p>	<p><b>Lokale Eisglätte bei Minusgraden:</b></p> <p>Reduktion der Geschwindigkeit besonders bei Spurrinnen (&lt; 70 km/h)</p> <p>Glatteisgefahr, erhöhte Vorsicht, Geschwindigkeitsreduktion um ca. 50% an exponierten Stellen</p> <p>Glatteisgefahr, erhöhte Vorsicht, starke Geschwindigkeitsreduktion um ca. 70% an exponierten Stellen</p>
	<p><b>Schnee auf der Fahrbahn:</b></p> <p>Kein Schneefall Rollspur schneefrei Mittlere/Geringe Griffigkeit</p> <p>Schneefall Schnee bleibt in Rollspur liegen Geringe Griffigkeit Sichtweite eingeschränkt!</p>	<p><b>Angepasste Fahrweise:</b></p> <p>Angepasste Fahrweise. Reduktion der Geschwindigkeit um ca. 20 bis 30%</p> <p>Angepasste Fahrweise an die Verhältnisse, Reduktion der Geschwindigkeit um ca. 30 bis 40% Sichtweite beachten!</p>
	<p><b>Schnee in der Rollspur:</b></p> <p>Kein Schneefall Fahrbahn schneebedeckt Geringe Griffigkeit</p> <p>Schneefall Schnee bleibt in Rollspur liegen Sehr geringe Griffigkeit Sichtweite eingeschränkt!</p>	<p><b>Angepasste Fahrweise:</b></p> <p>Angepasste Fahrweise, Reduktion der Geschwindigkeit um ca. 40 bis 50%</p> <p>Angepasste Fahrweise, Reduktion der Geschwindigkeit um ca. 60 bis 70% Sichtweite beachten!</p>
	<p><b>Eisglätte auf der Fahrbahn:</b></p> <p>Kein Niederschlag, Fahrbahntemperatur ≤ 0°C. Sehr geringe Griffigkeit</p> <p>Eisglätte und weiterer Niederschlag (Schnee oder Regen) Sehr geringe Griffigkeit</p>	<p><b>Besondere Vorsicht, Schritttempo:</b></p> <p>Fahrbeschränkungen bis zur Beseitigung der Eisglätte einhalten, Ggf. an Gefahrenstellen im Schritttempo weiterfahren.</p> <p>Besondere Vorsicht, Eis unterhalb einer Schneedecke ist nicht zu erkennen und daher besonders gefährlich. Angepasste Fahrweise, Reduktion der Geschwindigkeit auf Schritttempo</p>

Abb. 76: Typische Fahrbahnzustände und Fahrempfehlung für die Nutzer von Landes- und Gemeindestraßen



## 8. Empfehlungen für weitere Untersuchungen

### 8.1 Optimierung der Streuereinstellungen

Die im Forschungsprojekt durchgeführten Restsalzmessungen fanden praktisch ausschließlich in der Rollspur statt, um die Verkehrsverdrängung zu erfassen. Die hohen Verluste bereits unmittelbar nach der Streufahrt (vgl. Kapitel 5.6.2) weisen darauf hin, dass das Streusalz durch die Luftverwirbelungen des Fahrtwindes an die Randbereiche der Straße verfrachtet wird. Um diese Verfrachtung zu reduzieren, kann u.a. die Streubreite verringert werden. In diesem Fall kann der auftretende Fahrtwind das Salz nicht im selben Ausmaß über die Fahrfläche hinausragen. Die insgesamt geringere Streumenge bei gleicher eingestellter Streumenge je  $m^2$  ist in diesem Fall zu berücksichtigen.

Konkrete Empfehlungen zu reduzierter Streubreite können jedoch erst nach Untersuchungen der Querverteilung der Restsalzmenge getroffen werden. Dazu können die in Abb. 61 dargestellten Messpunkte um weitere Punkte in Fahrbahnmitte, Fahrstreifenmitte, Seitenstreifen etc. erweitert werden. Im Rahmen dieser Restsalzmessungen können auch reine Solesprühergeräte auf Anfangs-

und Verkehrsverluste von Tausalz getestet werden. Im Zuge dieses Messprogrammes sollte auch eine Untersuchungen zur möglichen Reduktion der Fahrbahngriffigkeit durch die Sole durchgeführt werden.

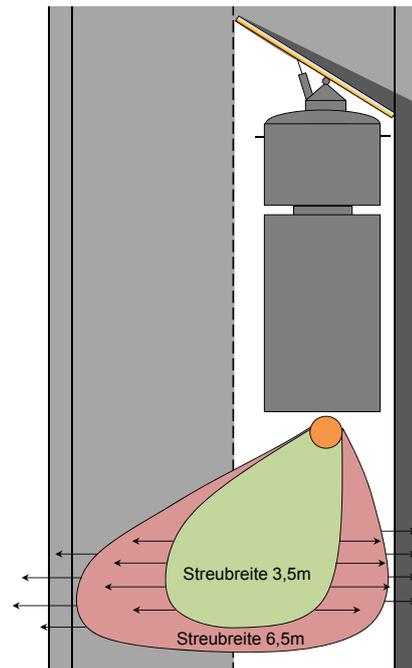


Abb. 77: Auswirkungen einer Streubreitenreduzierung auf die Verteilung von Tausalz auf der Fahrbahn

### 8.2 Weiterentwicklung und Validierung des entwickelten Streumodells

Die in der Modellskizze (Abb. 13) dargestellte Berechnung der Filmdicke ist für die Ermittlung der Solekonzentration und damit des Gefrierpunktes von wesentlicher Bedeutung und basiert auf nicht durch eigene Versuche verifizierten Literaturangaben [HAUSMANN, 2009]. Die Abschätzung der Filmdicke in der Rollspur soll in einem ersten Schritt auf Basis von physikalischen Modellen (Abfluss- und Verdunstungsrechnungen) und Literaturrecherche stattfinden. Das so erstellte Filmdickenmodell kann dann durch Feldmessungen der Filmdicken kalibriert und validiert werden.

Die Feldmessungen der Filmdicke müssen aufgrund der für statistische Auswertungen erforderlichen Datenbasis und geringen Häufigkeit optimaler Bedingungen (definierter Niederschlag) möglichst automatisiert erfolgen. Damit eine Korrelation zwischen Filmdicke und Niederschlagsintensität hergestellt werden kann, ist eine enge Zusammenarbeit mit einem Wetterdienst erforderlich. Die Messung der Filmdicke erfolgt durch Bodensensoren bzw. optische Messgeräte (z.B. Vaisala DSC 111). Ein Zusatznutzen dieser Untersuchungen liegt im Vergleich verschiedener Messsysteme, der eine Aussage über die Qualität der gemessenen Daten erlaubt. Dies kann in der Folge auch der Qualität des Winterdienstes zugute kommen.



Abb. 78: Verteilung von Schneematsch durch den Verkehrseinfluss

### 8.3 Ausblick Simulationstool Winterdienst

Mit der Verifizierung der Filmdickenberechnung gemäß des in Kapitel 2.8 vorgestellten Streumodells kann das Zusammenwirken von Schneefall und Winterdienst auf die Fahrbahngriffigkeit mathematisch beschrieben werden. Damit ist es möglich, unterschiedliche Streustrategien für beliebige Wetterszenarien zu simulieren und neben der Straßenverfügbarkeit bzw. den erwarteten Fahrbahnzuständen auch die anfallenden Kosten z.B. in einem Simulationstool für den Winterdienst abzuschätzen.

Dazu müssen in einem ersten Schritt Streurouten angelegt werden, die für die Berechnungen in einzelne Abschnitte unterteilt werden. Den einzelnen Abschnitten werden Informationen wie Verkehrsbelastung, mittlere Fahrgeschwindigkeit, Deckschichttyp etc. zugeordnet. Um eine einfache Handhabung zu gewährleisten, sollten die Streurouten mittels GPS - Aufnahme bzw. direkt auf einer Übersichtskarte festgelegt bzw. zusammen mit den Abschnittsinformationen z.B. wie in Abb. 79 darstellbar sein. Für eine einfache Verwaltung bereits eingetragener Routen muss zudem eine Anpassung per „drag-and-drop“ jederzeit möglich sein.

Das entwickelte Streumodell kann den erwarteten Straßenzustand auf Basis der Abschnittsinformationen und beliebiger Wetterdaten abschätzen. Für die festgelegten Routen sollten in einem solchen Tool alle für die Region typischen Wetterszenarien simulierbar sein, um eine Optimierung von Streuzeitpunkt und -menge in Hinblick auf Winterdienstkosten und Straßenverfügbarkeit zu ermöglichen. Auch bestehende bzw. geplante Streurouten sollten mittels der Simulation auf logistische Engpässe hin untersuchbar sein. In diesem Sinne wäre ein solches Tool eine wesentliche Hilfe bei der Standortoptimierung von Straßenmeistereien, Stützpunkten und Streumittelagern.

Wird das entwickelte Streumodell in einem solchen Simulationstool in einem nächsten Schritt mit Echtzeitdaten aus Wetterprognosen, Straßentemperatursensoren am Fahrzeug, Informationen von Glättemeldeanlagen etc. versorgt, könnte das Winterdienstpersonal mit Echtzeitprognosen der Streumengen unterstützt werden. Durch eine Zusammenarbeit mit Herstellern von Streugeräten könnte eine Schnittstelle entwickelt werden, mit der die Einsatzdaten ebenfalls in Echtzeit analysierbar sind. Die so gewonnenen Einsatzdaten sollten zentral gespeichert werden und wären so im Bedarfsfall rasch abrufbar. Zudem könnte auf Basis dieser Daten ein einheitliches Benchmarking des Winterdienstes erfolgen, mit dem eine noch gezieltere Einsatzplanung ermöglicht würde.

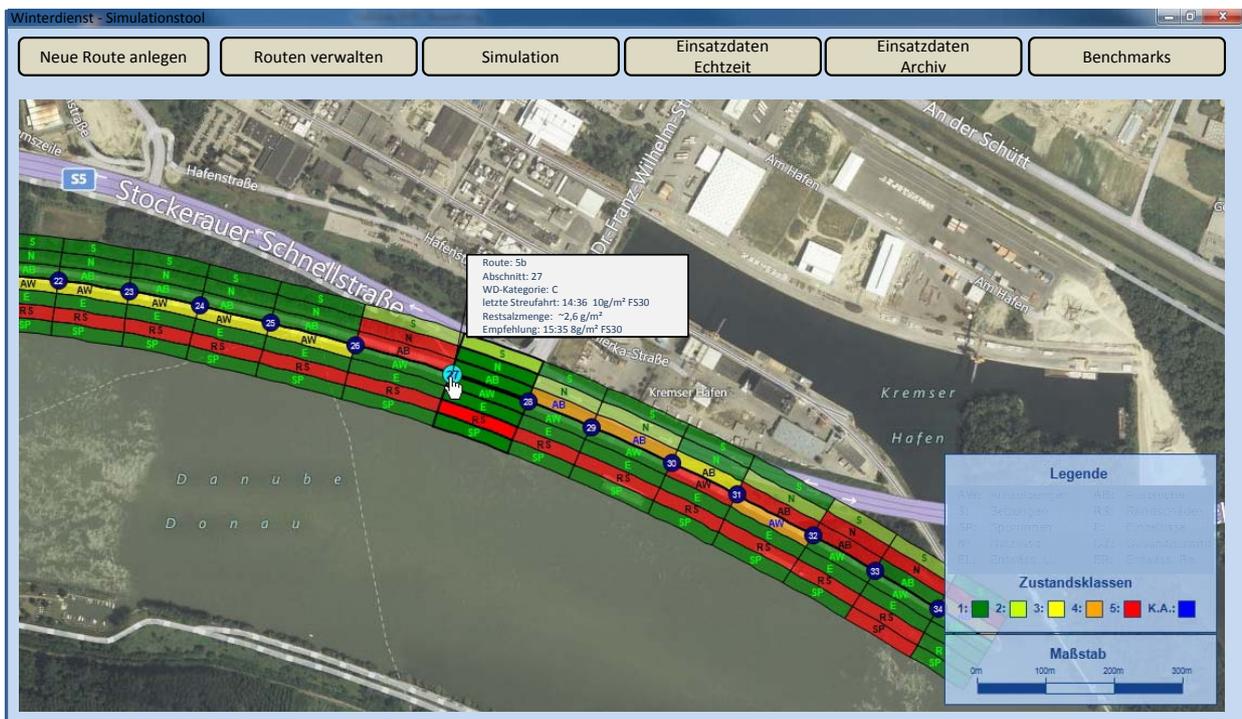


Abb. 79: Skizze eines möglichen Software - Tools für die Routenverwaltung, Simulation, Echtzeitdatenerfassung und Benchmarking im Winterdienst

## 9. Anhang

### 9.1 Kurzfassung für das Winterdienstpersonal

#### **Wie ist die richtige Streumenge in der jeweiligen Situation zu erkennen?**

Für das Winterdienstpersonal wurden klar erkennbare Fahrbahnzustände, Wettersituationen und Winterdienstempfehlungen definiert. Auf dieser Basis kann schon während der Kontroll- bzw. Streufahrt eine fundierte Einschätzung der Situation und Winterdiensterefordernisse erfolgen.

#### **Was sind generelle Grundsätze für den Einsatz von Streusalz?**

- Wetter und Verkehr sind die Hauptfaktoren für die Bestimmung der Streumenge und die Dauer von Streuintervallen (vgl. RVS 12.04.12).
- An hochrangigen Landesstraßen mit einem JDTV > 5.000 KFZ/24h ist ein Betreuungsintervall von 3 - 5 h von 4 - 22 Uhr einzuhalten (Kategorie B)
- An Landesstraßen mit einem JDTV von 1.000 - 5.000 KFZ/24h ist ein Betreuungsintervall von 3 - 5 h von 5 - 20 Uhr einzuhalten (Kategorie C)
- An untergeordneten Landesstraßen mit einem JDTV < 1.000 KFZ/24h ist ein Betreuungsintervall 1 - 2 mal täglich einzuhalten (Kategorie D)
- Die Minimalstreumenge liegt bei 5 g/m<sup>2</sup>, alles darunter ist nicht wirksam und aufgrund der Gerät- & Personalkosten unwirtschaftlich.
- Es ist nur so viel Salz auszubringen, wie tatsächlich notwendig ist, mehr kann unter Umständen auch zu Glatteisbildung führen.
- Die Streufahrten sind zeitlich so legen, dass die Strecke schon vor Beginn eines Niederschlagsereignisses ausreichend gestreut wurde (ca. 5 - 10 g/m<sup>2</sup> präventives Streuen max. 1 - 2 h vor Beginn des Niederschlagsereignis).
- Durch Streusalz können nur begrenzte Mengen an Schnee getaut werden. Liegt die Schneefallmenge darüber (>0,5 cm/Stunde), kann eine schneefreie Fahrbahn mit den zur Verfügung stehenden Streumengen und Streuumläufen in der Regel nicht erzielt werden.
- In diesen Fällen kann jedoch durch eine geringe Streumenge von 10 - 15 g/m<sup>2</sup> ein Anfrieren des Schnees an der Fahrbahn verhindert und die spätere Räumung erleichtert werden.
- Festgefahrener Schnee bzw. Eis auf der Fahrbahn kann durch Ausbringen von Streusalz nicht ausreichend schnell entfernt werden. Die Beseitigung muss daher zusätzlich mechanisch erfolgen.
- Die meisten kritischen Fahrbahnsituationen (z.B. Schneefahrbahn) kann der Autofahrer erkennen und muss seine Geschwindigkeit entsprechend verringern (§1319a ABGB, §20 STVO).

#### **Wie viel Schnee kann mit 40 g/m<sup>2</sup> Streusalz getaut werden?**

Die Menge an Schnee, die mit Natriumchlorid (NaCl) getaut werden kann, ist abhängig von der Fahrbahntemperatur und den Streuverlusten. Bei -1,5°C Fahrbahntemperatur und der maximalen Streumenge von 40g Salz pro m<sup>2</sup> kann theoretisch eine Schneefallmenge von 1 cm (1.000 g/m<sup>2</sup>) gemäß Abb. 73 gerade noch getaut werden. Bei einer Fahrbahntemperatur von -5°C sinkt die taubare Schneemenge bereits auf ca. 0,35 cm ab. Unter Berücksichtigung der Streuverluste durch Verwehung direkt bei der Ausbringung reduziert sich die tatsächlich taubare Schneemenge auf weniger als die Hälfte der obigen Werte.

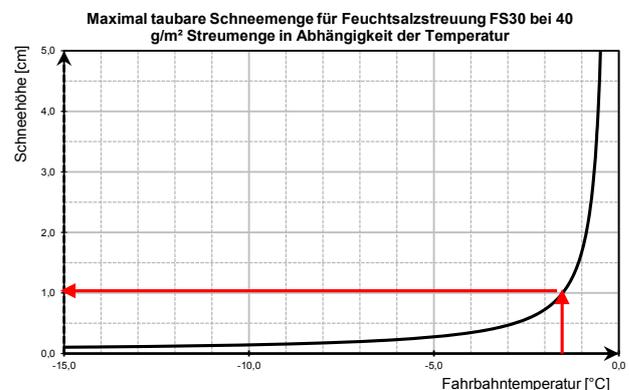


Abb. 80: Taubare Schneemenge bei FS30 und Maximalstreumenge von 40 g/m<sup>2</sup> in Abhängigkeit von der Fahrbahntemperatur

### Warum ist zeitnahes Streuen wichtig?

Der Verkehr trägt das gestreute Tausalz aus der Rollspur auf andere Fahrbahnteile aus, von wo es durch die Entwässerung mit dem Schmelzwasser abrinnt. Als Folge davon nimmt die auf der Fahrbahn verbleibende Restsalzmenge mit der Zeit ab, der Gefrierpunkt des Niederschlags auf der Fahrbahn steigt dadurch an.

Gemäß Abb. 81 beträgt die Restsalzmenge auf der Fahrbahn bei Streuung von 40 g/m<sup>2</sup> unmittelbar nach dem Streuvorgang ca. 16 g/m<sup>2</sup> und sinkt nach 2.000 Fahrzeugen auf ca. 7 g/m<sup>2</sup> ab. Aufgrund der Abnahme der Restsalzmenge kurz nach der Streuung ist der Streuvorgang möglichst knapp vor dem Niederschlagsereignis durchzuführen, damit eine möglichst große Restsalzmenge für den Tauvorgang zur Verfügung steht.

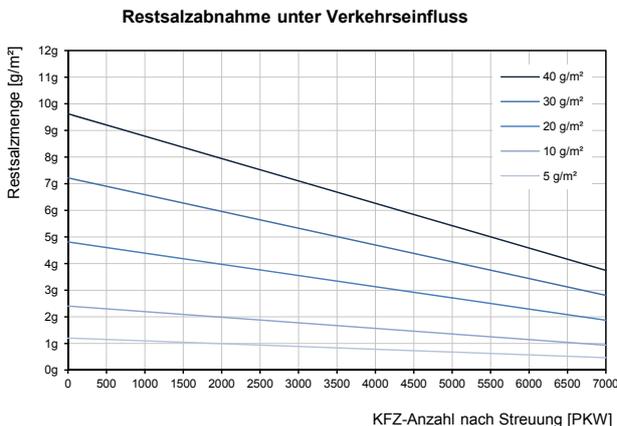


Abb. 81: Restsalzabnahme unter Verkehrseinfluss für Streumengen von 5 - 40 g/m<sup>2</sup>

### Wann kommt es zu Reifbildung?

Bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit und einem ungünstigen Verhältnis zwischen Luft- und Fahrbahntemperatur setzt sich Feuchtigkeit aus der Luft an der Oberfläche ab. Durch starken Wind wird mehr feuchtigkeitshaltige Luft über die Oberfläche bewegt, was zu einer verstärkten Reifbildung beiträgt. Für die Reifbildung sind die Faktoren relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Fahrbahntemperatur und Lufttemperatur maßgebend. Die Prognose von Reifbildung ist schwierig, da besonders Windgeschwindigkeit und Fahrbahntemperatur lokal starken Schwankungen unterliegen können. Die typische Reifmenge bei starker Reifbildung liegt bei ca. 50 - 100 g/m<sup>2</sup>.

Häufig tritt die Kombination aus wenig Verkehr und ungünstigen Wetterverhältnissen in den frühen Morgenstunden auf. Beginnende Reifbildung kann der Streckendienst an nicht befahrenen Teilen der Fahrbahn (z.B. Pannestreifen) erkennen. Ab diesem Zeitpunkt muss die Reifbildung genau beobachtet werden, um Streufahrten mit einer Streumenge von etwa 5 - 10 g/m<sup>2</sup> bei einsetzender Reifbildung durchführen zu können.

### Warum ist eine präventive Streufahrt schon vor einem Niederschlag notwendig und wie hilft sie bei Extremschneefällen?

Um ein „Ankleben“ des Schnees auf der Fahrbahn bzw. eine Eisbildung zu verhindern, muss ein dünner Solefilm auf der Fahrbahn vorhanden sein. Dieser Solefilm erleichtert die folgende Räumung und muss durch Streuen von ca. 10 g/m<sup>2</sup> erneuert werden (Abb. 82). Bei schlechtem Fahrbahnzustand/Räumleistung oder an exponierten Stellen (z.B. Brücken) ist diese Menge entsprechend zu erhöhen.

Bei Schneefallmengen von größer als 0,5 cm pro Stunde führen Streumengen von mehr als 10 - 15 g/m<sup>2</sup> zu Schneematsch und erhöhter Gefahr von Eisplattenbildung, da auch mit der Maximalstreumenge von 40 g/m<sup>2</sup> in der Regel keine ausreichende Tauwirksamkeit im Streuintervall mehr erzielt werden kann. Eine schneefreie Fahrbahn ist erst nach Ende der Schneefälle durch konsequentes Räumen und Streuen erreichbar.

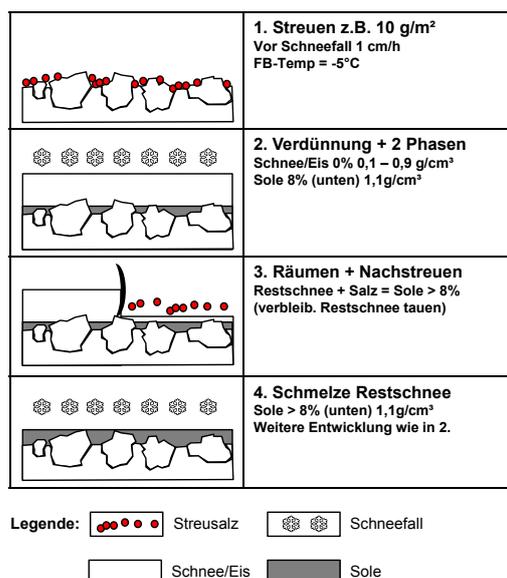


Abb. 82: Wirkmechanismus Präventivstreuung und erforderliche Nachstreumenge

## 9.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 01: Unterschiedliche Anforderungen von Nutzern, Umwelt, Gesellschaft und Straßenbetreiber an den Winterdienst, der im Überlappungsbereich aller vier Interessensgruppen durchgeführt werden soll	19
Abb. 02: Herstellung einer Verbindung zwischen Reifen und Fahrbahn durch eine Eisschicht mittels Streusplitt [NUTZ, 2010]	22
Abb. 03: Austragung von Splitt und Salz aus der Radspur in nicht befahrene Bereiche der Fahrbahn bzw. die Umgebung	22
Abb. 04: Wärmebildaufnahmen und zugehörige Temperaturprofile des Tauvorgangs einer Schneedecke nach manueller NaCl - Aufbringung über einen Zeitraum von vier Minuten.	23
Abb. 05: Eutektisches Diagramm einer Natriumchloridsole in Abhängigkeit von Konzentration und Temperatur wobei der Aggregatzustand im hellen Bereich flüssig, im dunklen fest ist [nach LIGHT, 2007]	25
Abb. 06: Zusammenhang zwischen Gefrierpunkt und Konzentration erläutert anhand von zwei Beispielen (Für die Berechnung vgl. Abschnitt „4.3 Gefrierpunkt und eutektisches Diagramm“ auf Seite 55)	28
Abb. 07: Mechanismen der Verteilung und des Abtransportes von Wasser & Salz von der Fahrbahn durch die Querneigung der Fahrbahn und den Einfluss des Verkehrs	29
Abb. 08: Eckdaten und Illustration der wesentlichen Arten der Schneeräumung (Pflügen, Schleudern, Fräsen)	30
Abb. 09: Varianten von Räumfahrten auf Straßen mit einem oder mehreren Richtungsfahrstreifen und einem oder mehreren Räumgeräten (gestaffelt)	31
Abb. 10: Streuteller für die Feuchtsalzstreuung typischerweise mit FS0 - FS30 (Aebi-Schmidt)	32
Abb. 11: Kombiwet mit vergrößertem Soletank und Zusatzausstattung für Feuchtsalzstreuung und reine Solestreuung (Küpper-Weisser)	32
Abb. 12: Ausbringung einer bekannten Streumittelmenge und Messung der verbleibenden Restsalzmenge mit dem Saugspülgerät der BAST [HAUSMANN, 2010]	37
Abb. 13: Skizze des Streumodells der TU Wien als Basis für die Untersuchung der Wirkmechanismen im Rahmen der Forschungsprojekte „Feuchtsalzstreuung“ & „Safecote & Griffigkeit“ [NUTZ, 2010]	42
Abb. 14: Netzlängen, Anzahl der Straßenmeistereien und Betreuungsbereich einzelner Meistereien sowie Betreuungslänge je Personal und Gerät für den Winterdienst auf Straßen G, B+L sowie A+S in Österreich	43
Abb. 15: Ausgaben für Streusalz der Länder je Saison in Euro je Fahrstreifenkilometer basierend auf jährlichen Salzverbrauchszahlen und Salzkosten von durchschnittlich 90 Euro pro Tonne	45
Abb. 16: Anzahl der Winterdienstage je Winter getrennt nach Bundesländern bzw. ASFINAG	45
Abb. 17: Durchschnittliche tägliche Streumenge in Gramm je Winterdienstag und Quadratmeter [g/m <sup>2</sup> d]	45
Abb. 18: Fragebogenauswertung der typischen Wetterszenarien und deren Häufigkeit sowie zugehörige minimalen, mittleren und maximalen Streumengen (n=20)	47
Abb. 19: Auswertung der Schneefallereignisse in Österreich je Wintersaison nach Höhenlage, mittlerer Tagestemperatur und Schneefallmenge vom 01. November 2005 bis 31. März 2010	49
Abb. 20: Summenkurve von Salzverbrauch und Schneefallhöhe nach Winterdienstagen im Land OÖ 2009/10 Gesamte WD-Tagen = 121, gesamter Salzverbrauch 73.345 t	51
Abb. 21: Streumenge in g/m <sup>2</sup> und Tag je Schneefallhöhe in cm pro Tag im Winter 2009/10 in Oberösterreich mit Regressionsgeraden und 95% Konfidenzintervall	51
Abb. 22: Sieblinien von Natriumchlorid verschiedener Hersteller und Grenzwerte gemäß RVS 12.04.16	54
Abb. 23: Klimaschrank mit Eingriffshandschuhen und Sichtfenster, Innenmaße: 1200x1020x600	55
Abb. 24: 3 Probekörper mit definierter Solekonzentration und Messfühler im Klimaschrank	56
Abb. 25: Gefrierpunktbestimmung mit Haltepunkten (Software ElproLOG ANALYZE 3.62)	56
Abb. 26: Messpunkte und daraus errechnete Gefrierpunktkurven von Natriumchlorid (NaCl) und Kalziumchlorid (CaCl <sub>2</sub> ). Die angegebenen Formeln gelten bis zum eutektischen Punkt bei 23,4% Konzentration und -22,6°C für NaCl bzw. bis zum Ende des Messbereichs von -35,0°C für CaCl <sub>2</sub> mit R <sup>2</sup> > 0,992	57
Abb. 27: Messpunkte und daraus errechnete Gefrierpunktkurven von reinem Safecote und Mischungen aus 10% Safecote mit 90% NaCl-Sole (23% Konzentration). Die angegebenen Formeln gelten für den gesamten möglichen Mischungsbereich von 0 bis 100% mit R <sup>2</sup> > 0,997	57
Abb. 28: Versuchsgeräte und im Klimaschrank des Instituts für Verkehrswissenschaften	58

Abb. 29: Thermografische Aufnahmen über den Verlauf des Tauvorganges einer Eisplatte (d=20 cm) im Klimaschrank innerhalb von 144 Minuten	59
Abb. 30: Messpunkte aus den Laborversuchen und Trendlinien der Tauwirksamkeit von Natriumchlorid mit Korngröße 2,0 mm - 3,15 mm in Abhängigkeit der Versuchstemperatur (-2,5°C, -5,0°C und -7,5°C)	61
Abb. 31: Messpunkte aus den Laborversuchen und Trendlinien der Tauwirksamkeit von Natriumchlorid bei gleicher Versuchstemperatur (-7,5°C) aber Korngruppen 0,5 mm und 2 - 3,15mm sowie Tauwirkungsquotienten TQ1 und TQ2	61
Abb. 32: Darstellung der errechneten Tauwirksamkeitskurven für die 6 Kombinationen aus Temperatur und Korngröße, die in den Laboruntersuchungen betrachtet wurden	61
Abb. 33: Anfangstauquotient TQ1 für Korndurchmesser 0,5 mm und 2,0 mm bei Versuchstemperaturen von -2,5°C, -5,0°C und -7,5°C	62
Abb. 34: Endtatauquotient TQ2 für Korndurchmesser 0,5 mm und 2,0 mm bei Versuchstemperaturen von -2,5°C, -5,0°C und -7,5°C	62
Abb. 35: Anfangstauquotient TQ1 bei Versuchstemperaturen von -2,5°C, -5,0°C und -7,5°C für verschiedene Korndurchmesser	63
Abb. 36: Endtatauquotient TQ2 bei Versuchstemperaturen von -2,5°C, -5,0°C und -7,5°C für verschiedene Korndurchmesser	63
Abb. 37: Grundriss und Schnitte einer Eisplatte bei fortschreitender Einwirkungsdauer von feinkörnigem Salz (0,5 mm links) und grobkörnigem Salz (3 mm rechts)	64
Abb. 40: Arbeitsschritte bei Versuchsdurchführung: Probekörper wiegen - Sole mittels Spritze aufbringen - Definierte Zeit einwirken lassen - Abgießen und getautes Eis und Sole abwiegen	65
Abb. 38: Querschnitt der verwendeten Probekörper mit Prüfgut (Sole) zur Untersuchung der Tauwirksamkeit flüssiger Taumittel	65
Abb. 39: Probekörper nach der Versuchsdurchführung (vorne mit Restspuren von Safecote)	65
Abb. 41: Messpunkte aus den Laborversuchen und Trendlinien der Tauwirksamkeit einer 20-%igen Natriumchloridsole in Abhängigkeit von der Versuchstemperatur (-2,5°C, -5,0°C und -10,0°C)	67
Abb. 42: Messpunkte aus den Laborversuchen und Trendlinien der Tauwirksamkeit von NaCl-Sole mit einer Konzentration von 10%, 16% und 20% bei einer Versuchstemperatur von -2,5°C	67
Abb. 43: Darstellung der errechneten Tauwirksamkeitskurven und zugehörigen Formeln sowie Bestimmtheitsmaß $R^2$ für die getesteten Solen (NaCl 20%, CaCl 23%, Safecote 10% und Supermix) bei -5,0°C	67
Abb. 44: Zusammenhang Horizontalkraft H & Vertikalkraft N bei einem Griffigkeitswert von $\mu=0,7$	71
Abb. 45: Theoretische Mindestbremswege ( $t_r + t_a = 1s$ ) je nach Griffigkeitswerten mit Darstellung für typische trockene und nasse Fahrbahn sowie Schnee- und Eisfahrbahn (Berechnung mit Längsneigung $s=0\%$ )	73
Abb. 46: Maximale theoretische Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Griffigkeitswerte für einen gegebenen Kurvenradius, die jedoch aufgrund von Fahrfehlern, Unebenheiten und fahrdynamischen Einflüssen praktisch kaum erreichbar ist (Berechnung mit Querneigung $q=7,0\%$ )	73
Abb. 47: Messanordnung für die Feldmessungen von Griffigkeit und Filmdicke	74
Abb. 48: Thermografie des geräumten Streifens vor der Streuung (oben) und nach der Streuung (unten) mit klar erkennbaren Streufahnen	76
Abb. 49: Mittlere Griffigkeit einer geräumten und gestreuten Fahrbahn sowie einer Schneefahrbahn mit einer Länge von etwa 40 Metern	76
Abb. 50: Abschnittsbildung auf der Messstrecke an der A10 im Bereich der Anschlussstellen Pass Lueg - Werfen	77
Abb. 51: Griffigkeit in Abschnitt 1 am 13.01.2010 Richtung Salzburg; NaCl (100% = 0,86)	78
Abb. 52: Griffigkeit in Abschnitt 2 am 13.01.2010 Richtung Salzburg; CaCl (100% = 0,85)	78
Abb. 53: Griffigkeit in Abschnitt 3 am 13.01.2010 Richtung Sbg; Safecote (100% = 0,84)	78
Abb. 54: Schematische Darstellung des Einflusses des Niederschlags und der damit verbundenen Texturfüllung auf die Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn und damit die Griffigkeit	79
Abb. 55: Schematische Darstellung des Einflusses des Niederschlags und der damit verbundenen Texturfüllung auf die Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn und die resultierende Griffigkeit	80
Abb. 56: Mittelwerte der Griffigkeit sowie Witterungsdaten vom 13.1.2010 in Fahrtrichtung Salzburg	81

Abb. 57: Mittelwerte der Griffigkeit sowie Witterungsdaten vom 18.1.2010 in Fahrtrichtung Salzburg	82
Abb. 58: Mittelwerte der Griffigkeit sowie Witterungsdaten vom 5.3.2010 in Fahrtrichtung Salzburg	84
Abb. 59: Durchschnittliche Tagesganglinie der Temperaturdifferenz zwischen Fahrbahn und Luft im Jänner an trockenen/klaren Tagen mit deutlich erkennbarem Abfall am Nachmittag (n= 18)	85
Abb. 60: Durchschnittliche Tagesganglinie der Temperaturdifferenz zwischen Fahrbahn und Luft im Jänner an feuchten/bewölkten Tagen mit deutlich geringeren Differenzen als an Trockentagen (n= 10)	85
Abb. 62: Schema einer idealen Teststrecke auf der durch jeweils zwei nebeneinander liegende Messpunkte die Wirkung eines Einflussparameters (Geschwindigkeit, Belag, Steigung) bestimmt werden kann	87
Abb. 61: Anordnung der Messpunkte auf der Fahrbahn	87
Abb. 63: Anordnung der Messpunkte an einer realen Teststrecke auf der B6 bei Korneuburg	88
Abb. 64: Auswertung der Restsalzmessungen für den Anfangsverlust unmittelbar nach der Ausbringung. Vergleich zur eingestellten Streumenge und relativer Verlust in Prozent (n=47)	89
Abb. 65: Relative Restsalzmenge bezogen auf die verbleibende Restsalzmenge unmittelbar nach der Streuung nach Anzahl der Überrollungen (n=266)	90
Abb. 66: Wirkmechanismus der Präventivstreuung in vier Phasen	91
Abb. 67: Im Streuumlauf theoretisch taubare Schneemenge nach Fahrbahntemperatur ohne Streuverluste (Berechnungsbasis: Zusammenhang Gefrierpunkt - Konzentration gemäß Eutektik in Kap. 4.3; Konzentration = Streumenge / Niederschlagsmenge)	92
Abb. 68: Auswertung ausgebrachter Streumengen in g/m <sup>2</sup> und Tag nach Schneefallhöhe in cm pro Tag mit Darstellung der Ziele einer einheitlicheren Streuung und Begrenzung der Streumengen an Tagen mit Starkschneefällen > 5 cm/Tag	93
Abb. 69: Zusammenstellung Einsatzdaten: Reichweite und Einheitskosten eines Streufahrzeuges sowie Anzahl Streufahrzeuge und Gesamtkosten Streuumlauf (Berechnungsbasis: 300 km Fahrstrecke; 5,8 m <sup>3</sup> Salztank; 3.000 l Soletank; 4h Umlaufzeit)	95
Abb. 70: Typische Wettersituationen, Fahrbahnzustand und Winterdienstempfehlung für das Winterdienstpersonal auf Landes- und Gemeindestraßen übersichtlich zusammengestellt	97
Abb. 71: Ermittlung der erforderlichen Restsalzmenge am Ende des Streuintervalls auf Basis der Fahrbahntemperatur und prognostizierten Niederschlagsmenge mit Hilfe eines Diagrammes	98
Abb. 72: Ermittlung der notwendigen Streumenge am Beginn des Streuintervalls über die erforderliche Restsalzmenge und KFZ im Streuintervall. Der Anfangsverlust wird mit 50% der Streumenge berücksichtigt, die Verkehrsverluste ergeben sich gemäß Formel 09 auf Basis der Restsalzmessungen	99
Abb. 73: Darstellung der Grenzen der Tauwirksamkeit von Streusalz auf Basis des Streuomodells mit den Einflussgrößen Niederschlagsmenge, Fahrbahntemperatur und Verkehr während eines Streuumlaufes	101
Abb. 74: Typische Bremswege bei durch Niederschlag veränderter Griffigkeit (Beispiel)	103
Abb. 75: Grenzgesehwindigkeiten für eine sichere Kurvenfahrt nach Griffigkeit für Radien von 200m und 800m	103
Abb. 76: Typische Fahrbahnzustände und Fahrempfehlung für die Nutzer von Landes- und Gemeindestraßen	105
Abb. 77: Auswirkungen einer Streubreitenreduzierung auf die Verteilung von Tausalz auf der Fahrbahn	107
Abb. 78: Verteilung von Schneematsch durch den Verkehrseinfluss	107
Abb. 79: Skizze eines möglichen Software - Tools für die Routenverwaltung, Simulation, Echtzeitdatenerfassung und Benchmarking im Winterdienst	108
Abb. 80: Taubare Schneemenge bei FS30 und Maximalstreumenge von 40 g/m <sup>2</sup> in Abhängigkeit von der Fahrbahntemperatur	109
Abb. 81: Restsalzabnahme unter Verkehrseinfluss für Streumengen von 5 - 40 g/m <sup>2</sup>	110
Abb. 82: Wirkmechanismus Präventivstreuung und erforderliche Nachstreumenge	110

### 9.3 Quellen und Literaturhinweise

ASI - Austrian Standards Institute, Wien.

ISO 6227:1982 09 01 (1982): Chemical products for industrial use -- General method for determination of chloride ions -- Potentiometric method.

BADEL T 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, 1998.

BADEL T H.: „Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen“. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen BAST, Bergisch Gladbach, 2007.

BLAB R.: „Analytische Methoden zur Modellierung der Verformungseigenschaften flexibler Fahrbahnaufbauten“. Habilitation TU Wien, Schriftenreihe des Instituts Heft Nr. 11, Wien, 2001.

DURTH W., HANKE H.: „Handbuch Straßenwinterdienst“. Kirschbaum Verlag, Bonn, 2004.

FSV - Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien.

RVS 02.01.22 (2010): Nutzen-Kosten-Untersuchungen im Verkehrswesen.

RVS 03.03.23 (2001): Trassierung - Linienführung.

RVS 12.04.12 (2010): Winterdienst - Schneeräumung und Streuung.

RVS 12.04.16 (2011): Winterdienst - Streumittel.

RVS 13.01.15(2006): Bauliche Straßenerhaltung - Beurteilungskriterien für messtechnische Zustandserfassung mit dem System RoadSTAR

GARRICK N., NIKOLAIDIS N., LUO J.: „A portable method to determine chloride concentration on roadway pavements“. Report prepared for The New England Transportation Consortium, Storrs, 2002.

GSV (Güteschutzverband der österreichischen Kies-, Splitt- und Schotterwerke): „Richtlinie Streusplitt“. Wien, 2007.

HAGAN P.: „Freezing point determination of safecote brine mixtures“. University of Ulster, Belfast, 2006.

HAUSMANN G.: „Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn“. Forschungsbericht KOMMZEPT Ingenieurbüro Hausmann, Bannewitz, 2009.

HAUSMANN G.: „Einsatz von Safecote im Straßenwinterdienst“. Zwischenbericht Kommzept-Ingenieurbüro Hausmann, Bannewitz, 2010.

HOFFMANN G., DAMES J., BERGMANN J.: „Untersuchungen zum Einsatz von mineralischen Streumitteln beim Straßenwinterdienst in Berlin“. Berlin, 1984.

HOFFMANN M.: „Road infrastructure expenditures on national, regional and communal level in Austria“. Piarc World Road Conference 2011, Mexico, 2011.

KIRCHMAIER L., BLAB R., JANKOWSKI N.: „Technisch-wirtschaftliche sowie medizinisch-hygenische Beurteilung des abstumpfenden Streumiteleinsatzes im kommunalen Winterdienst“. Forschungsbericht im Auftrag der Magistratsabteilung 48 der Stadt Wien, Wien, 2009.

KLUGER - EIGL W.: „Entwicklung eines Bewertungshintergrundes für das Griffigkeitsmesssystem Grip-Tester in Österreich“. Dissertation an der TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften, Wien, 2009.

LIGHT B.: „Hydrohalite in cold sea ice: Laboratory observations of single crystals, surface accumulations, and migration rates under a temperature gradient, with application to “Snowball Earth”. J. Geophys. Res., 114, Seattle, 2009.

MAURER P.: „Aspekte der Fahrbahngriffigkeit und ihr Einfluss auf erreichbare PKW - Bremsverzögerungen“. Straßenforschung Heft 564, Wien, 2007.

MÜHLBERGER J.: „Streudienst - Verwendung von Streusalz und Sole im Winterdienst, Funktion und Wirkung des Streusalzes auf der Straße, Auswahlkriterium, Dosierung und Verfahren“. Vortragsmanuskript, Bozen, 2007.

NCAR (National Center for Atmospheric Research): „A Comparison of Road Temperature Models:

- FASST, METRo, and SNTherm*“. Report prepared for Federal Highway Administration, Boulder, 2007.
- NUTZ P.: „*Feuchtsalzstreuung, Safecote und Griffigkeit von Straßen*“. Diplomarbeit an der TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften, Wien, 2010.
- OETTL D., KURZ C., STURM P.: „*Analyse und Modellierung der Feinstaubbelastung in Klagenfurt*“. Bericht Nr. I-17/2005/Öt I-630/1 vom 03.10.2006
- SPITZER J.: „*Präzisionsmessungen zur Griffigkeitsmessung mit den GripTester Modellen MK1 und MK2*“. Diplomarbeit an der TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften, Wien, 2010.
- WEHNER, B.: „*Griffigkeitsmessungen auf winterglatten Fahrbahnoberflächen*“. Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Neu Folge, Heft 40, Bad Godsberg, 1960.
- WISTUBA M.: „*Klimaeinflüsse auf Asphaltstraßen - Maßgebende Temperatur für die analytische Oberbaubemessung in Österreich*“. Dissertation TU Wien, Schriftenreihe des Instituts Heft Nr. 15, Wien, 2003.
- ZULAUF R.: „*Über das Haftvermögen des Haftsatzes auf der Straßenoberfläche*“. Straße und Autobahn, Heft 1/1969, Kirschbaum Verlag, Bonn, 1969.

## 9.4 Kontakte und Adressen

Als unmittelbarer Ansprechpartner für Fragen zum Forschungsprojekt Optimierung der Feuchtsalzstreuung sowie der Anwendung des „Leitfadens Winterdienst“ stehen die zuständigen Abteilungen der Länder sowie Gemeindeämter zur Verfügung. Weitere Informationen zum Thema und Kontaktaufnahme ist über nachstehende Adressen sowie die jeweiligen Homepages der Länder verfügbar.

<i>Kontakte</i>	<i>Adresse / Mail</i>	<i>Telefon</i>
<b>Amt der Burgenländischen Landesregierung Abteilung 8 - Straßen-, Maschinen- &amp; Hochbau OBR DI. Dr. Alexander Knaak</b>	Rusterstraße 135 A-7000 Eisenstadt alexander.knaak@bgld.gv.at	TEL +43 2682 62376
<b>Amt der Kärntner Landesregierung Abteilung 17 - Straßen- und Brückenbau DI. Manfred Prentner</b>	Burggasse 14/IV A-9020 Klagenfurt manfred.prentner@ktn.gv.at	TEL +43 5 0536 22871
<b>Amt der Niederöstrerr. Landesregierung Gruppe 1 - Straße HR DI. Josef Neuhold</b>	Landhausplatz 1 A-3109 St. Pölten josef.neuhold@noel.gv.at	TEL +43 676 812 60212
<b>Amt der Oberöstrerr. Landesregierung Direktion Straßenbau und Verkehr HR DI. Rudolf Schacherl</b>	Bahnhofplatz 1 4021 Linz rudolf.schacherl@ooe.gv.at	TEL +43 732 772012214
<b>Amt der Salzburger Landesregierung Abteilung 6 Landesbaudirektion DI. Peter Sittsam</b>	Michael-Pacher-Straße 36 5020 Salzburg peter.sittsam@salzburg.gv.at	TEL +43 664 60822 24751
<b>Amt der Steiermärkischen Landesregierung A18 - Abteilung Verkehr Ing. Gerhard Fürböck</b>	Landhausgasse 7 8010 Graz gerhard.fuerboeck@stmk.gv.at	TEL +43 316 8773021
<b>Amt der Tiroler Landesregierung Abteilung Straßenbau DI. Armin Prettnner</b>	Herrngasse 1-3 A-6020 Innsbruck a.prettnner@tirol.gv.at	TEL +43 512 5084184
<b>Amt der Vorarlberger Landesregierung Abteilung Straßenbau Ing. Ernst Geiger</b>	Widnau 12 6800 Feldkirch ernst.geiger@vorarlberg.at	TEL +43 5574 51127815
<b>Magistrat der Stadt Wien Abteilung Straßenreinigung und Winterdienst Stefan Langer, MSc</b>	Einsiedlergasse 2 A-1050 Wien stefan.langer@wien.gv.at	TEL +43 58817 48156
<b>Technische Universität Wien Institut für Verkehrswissenschaften DI. Dr. Markus Hoffmann Univ. Prof. DI. Dr. Ronald Blab DI. Peter Nutz</b>	Gußhausstraße 28 A-1040, Wien mhoffmann@istu.tuwien.ac.at rblab@istu.tuwien.ac.at pnutz@istu.tuwien.ac.at	TEL +43 1 58801-23301



**Österreichisches Forschungsprojekt**  
**unter der wissenschaftlichen Begleitung des Arbeitsausschuss Winterdienst**  
**in der Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr**  
**finanziert durch die Länder, die ASFINAG und das BMVIT**

Wien, im Dezember 2011

