

Eignungskriterien für auftauende Streumittel

Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Bernhard Hofko, Institut für Verkehrswissenschaften, TU Wien

Proj. Ass. Dipl.-Ing. Daniel Steiner, Institut für Verkehrswissenschaften, TU Wien

Univ. Lektor Dipl.-Ing. Dr. Markus Hoffmann, Ziviltechniker für das Bauwesen

Wien, Oktober 2015



Vorwort

Die technischen Entwicklungen im Winterdienst machten die wissenschaftliche Untersuchung der bislang angewandten Winterdiensttechniken erforderlich. So wurde im Jahre 2009 mit einem österreichweiten Forschungsprojekt, durchgeführt vom Institut für Verkehrswissenschaften der TU Wien und finanziert von allen neun Bundesländern, der ASFINAG und dem BMVIT, begonnen. Bei diesem Forschungsprojekt wurde die „Optimierung der Feuchtsalzstreuung“ untersucht und es brachte sowohl national als auch international beachtenswerte und richtungweisende Erkenntnisse. Es wurden erstmals „Streugrundsätze für Standardsituationen“ als auch „Streumengenermittlungen in Abhängigkeit von Niederschlag, Fahrbahntemperatur und Verkehr“ dargestellt, damit das Streumittel Salz im Winterdienst möglichst effizient eingesetzt werden kann.

In weiterer Folge wurde im Jahre 2014 mit einem Folgeprojekt, dem Forschungsprojekt „Eignungskriterien für auftauende Streumittel im Winterdienst“, dessen Endbericht nun vorliegt, begonnen. Kern dieser Forschungsarbeit war es, objektive und nachvollziehbare Kriterien für die Prüfung und in weiterer Folge für die Eignung verschiedener auftauender Streumittel in der Winterdienstpraxis zu erarbeiten. Insbesondere soll damit für jene Auftaumittel, die auf dem Markt immer wieder als Alternativen zum Standardauftaumittel Natriumchlorid angeboten werden, ein objektives Kriterium für deren Eignung in der Winterdienstpraxis zur Verfügung stehen.

Finanziert wurde diese Forschungsprojekt wiederum von allen neun Bundesländern, der ASFINAG und dem BMVIT, und durchgeführt in bewährter Weise wieder von der Technischen Universität Wien.

Die gewonnenen Erkenntnisse sollen ein weiterer Beitrag sein, um den ständig wachsenden Anforderungen an den Straßenwinterdienst auch in Zukunft bestmöglich zu begegnen, damit eine höchstmögliche Verkehrssicherheit auch bei winterlichen Fahrverhältnissen erreicht werden kann.

Hofrat Dipl.-Ing. Josef NEUHOLD
Leiter des österr. Arbeitsausschuss
Winterdienst des FSV
Amt der NÖ Landesregierung
Abt. Straßenbetrieb
Leiter des Fachbereiches
Winterdienst und Verkehrsmanagement

St. Pölten, Jänner 2016



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Aufgabenstellung	10
1.1 Motivation und Aufgabenstellung	10
1.2 Gliederung und Inhalte	10
1.3 Tauleistung oder Tauwirksamkeit?	11
2. Ermittlung des Gefrierpunktverlaufs	11
2.1 Hintergrund	11
2.2 Materialien und Prüfmethode	12
2.2.1 Natriumchlorid	12
2.2.2 Calciumchlorid	12
2.2.3 Magnesiumchlorid	12
2.2.4 Probevorbereitung	12
2.3 Prüfprogramm	12
2.4 Prüfdurchführung und Auswertung	13
2.5 Ergebnisse	14
3. Tauleistung fester Taumittel	16
3.1 Hintergrund	16
3.2 Materialien und Prüfmethode	17
3.3 Prüfprogramm	17
3.4 Prüfdurchführungen und Auswertung	17
3.5 Ergebnisse	19
3.5.1 Tauleistung und Taurate bei verschiedenen Temperaturen	19
3.5.2 Tauleistung und Taurate bei verschiedenen Kornklassen	22
4. Tauleistung flüssiger Taumittel	24
4.1 Hintergrund	24
4.2 Materialien und Prüfmethode	24
4.2.1 Natriumchlorid	24
4.2.2 Calciumchlorid	25
4.2.3 Probevorbereitung	25
4.3 Prüfprogramm	25

4.4 Prüfdurchführung und Auswertung	25
4.5 Ergebnisse	26
5. Rieselfähigkeit	29
5.1 Hintergrund	29
5.2 Bestimmung des Mikroklimas im Salzsilo	29
5.2.1 Ergebnisse	30
5.3 Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalt zu verschiedenen Zeitpunkten der Logistikkette	31
5.3.1 Hintergrund	31
5.3.2 Materialien und Prüfmethode	31
5.3.3 Prüfprogramm	32
5.3.4 Prüfdurchführung und Auswertung	32
5.3.5 Ergebnisse	32
5.4 Rieselfähigkeit	33
5.4.1 Materialien und Prüfmethode	33
5.4.2 Prüfprogramm	33
5.5 Prüfprogramm und Auswertung	34
5.6 Ergebnisse	35
6. Umweltauswirkungen	37
6.1 Literatur	37
6.2 Einteilung der Taumittel nach chemischer Zusammensetzung	40
6.2.1 Chlorid-haltige Taumittel	40
6.2.2 Sulfat-haltige Taumittel	40
6.2.3 Alkohole	41
6.2.4 Acetate	41
6.2.5 Stickstoff-haltige Taumittel	41
6.2.6 Formiate	41
6.2.7 Sonstige	41
6.3 Vorhandene Zertifizierungen für Taumittel in anderen Ländern	42
6.3.1 Ecolabel for Ice-Combating Agents	42
6.3.2 Nordischer Schwan ("Nordic Ecolabelling of De-icers," 2014)	43
7. Wirtschaftlichkeit Eignungskriterien auftauende Streumittel	45
7.1 Aspekte der technischen Bewertung und Eignung	45
7.1.1 Rieselfähigkeit	46
7.1.2 Gefrierpunktverlauf	46

7.1.3 Tauleistung fest massebezogen	46
7.1.4 Tauleistung flüssig massebezogen	47
7.2 Zuschlagskriterium Kosten je Einheit nach Gefrierpunkt	47
7.2.1 Reine Streumittelkosten, Gefrierpunkt und Kosten	47
7.2.2 Beispiel Kosten je Einheit nach Gefrierpunkt	49
7.3 Zuschlagskriterium monetäre Tauleistung und Taurate	50
7.3.1 Monetäre Tauleistung und Taurate – Allgemein	50
7.3.2 Beispiel monetäre Tauleistung und Taurate fester Taumittel	51
7.3.3 Beispiel monetäre Tauleistung und Taurate flüssiger Taumittel	52
8. Anhang	54
8.1 Abbildungsverzeichnis	54
8.2 Tabellenverzeichnis	55
8.3 Literaturverzeichnis	56

Kurzzusammenfassung

Für die in Österreich heute üblicherweise eingesetzten Streumittel, Natriumchlorid und in Sonderfällen auch Calcium-chlorid und Magnesiumchlorid, bestehen langjährige Erfahrungen zur Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit. Für viele, neu auf den Markt kommende Produkte, ist dies hingegen nicht der Fall. Nachdem der Markt an auftauenden Streumitteln in den letzten Jahren vielfältiger geworden ist, entsteht die Notwendigkeit, auftauende Streumittel standardisiert zu prüfen und zu bewerten, um auch in Zukunft einen verkehrssicheren und wirtschaftlich effizienten Winterdienst auf Österreichs Straßen sicherzustellen. In diesem Forschungsprojekt wurden standardisierte Prüfungen entwickelt, mit denen die technische Eignung von festen und flüssigen auftauenden Streumitteln unter Laborbedingungen ermittelt werden kann. Diese Prüfungen umfassen die Ermittlung des Gefrierpunktsverlauf, der Tauleistung und der Rieselfähigkeit und können somit bewertet werden. Durch Bestimmung dieser Kennwerte an in Österreich häufig eingesetzten auftauenden Streumittel konnte ein Bewertungssystem geschaffen werden. Vor diesem Bewertungshintergrund können neu auf den Markt kommende Streumittel in Bezug auf ihre technische Eignung begutachtet werden. Zudem wurden in einer umfangreichen Literaturstudie Grundlagen zur möglichen Bewertung von Umweltauswirkungen gelegt und Kennwerte geschaffen, die eine Beschreibung der Wirtschaftlichkeit von Streumitteln auf Basis der entwickelten Laborprüfungen ermöglichen.

Abstract

In Austria, sodium chloride, calcium chloride and magnesium chloride are widely used de-icing agents. For these materials, considerable experience in terms of de-icing performance and economic efficiency has been acquired over the last decades. Numerous new products have entered the market in recent years, for which there is no practical long term experience. For this reason, standardized test methods are necessary in order to evaluate the products. This ensures economic and efficient winter road maintenance.

In this report, standardized test methods were developed. The technical performance of liquid and solid de-icing agents can be determined under laboratory conditions. Tests for determining freezing point, de-icing performance (mass of melted ice per unit of time) and pourability are carried out. On the basis of the test results it was possible to define an assessment background. New products can be classified by employing this tool. Further, a comprehensive literature review was conducted to analyze environmental impacts and estimate the possibility to implement environmental factors to the economic evaluation.

Zusammenfassung

1. Zusammenfassung

Der gegenständliche Bericht fasst die Ergebnisse der Untersuchungen und Überlegungen aus dem Forschungsprojekt zur Entwicklung standardisierter Eignungskriterien für auftauende Streumittel zusammen. Dazu wird in Kapitel 2 ein standardisiertes Verfahren zur Ermittlung des Gefrierpunkts von Solelösungen beschrieben, sowie der Gefrierpunktsverlauf von NaCl, CaCl₂ und MgCl₂ Lösungen (Gefrierpunkt vs. Konzentration) untersucht. Den von der Konzentration abhängigen Gefrierpunktskurven liegt jeweils eine 4-fache Bestimmung zugrunde, um auch eine entsprechende statistische Schwankungsbreite angeben zu können.

Im Kapitel 3 wird ein Verfahren zur Ermittlung der Tauleistung von festen Taumitteln (Streusalz) dargestellt. Dabei werden Eisplatten mit definierter Oberfläche mit einer definierten Menge an Taumittel bei einer festgesetzten Temperatur beaufschlagt. Nach verschiedenen Zeitpunkten wird die getaute Sole abgegossen und so die Tauleistung in Abhängigkeit von Temperatur und Einwirkdauer ermittelt. Als Ableitung dieser Tauleistungskurve kann auch eine Taurate (Taugeschwindigkeit) als Tauleistung pro Zeiteinheit bestimmt werden. Zum Aufbau eines Bewertungshintergrunds werden Ergebnisse von NaCl mit unterschiedlicher Kornklasse (0,125|1,0; 1,0|3,15; 3,15|5,0mm) bei Temperaturen zwischen -2,5°C und -10°C und für Einwirkdauern zwischen 2 Minuten und 240 Minuten dargestellt. Den Ermittlungen der Tauleistung liegt ebenfalls eine 3- bzw. 4-fache Bestimmung zugrunde.

Kapitel 4 zeigt analog zu Kapitel 3 ein standardisiertes Verfahren zur Ermittlung der Tauleistung von flüssigen Taumitteln (Sole-Lösungen). Für NaCl- und CaCl₂-Solen wird die Tauleistung für jeweils zwei Konzentrationen bei Temperaturen zwischen -2,5°C und -7,5°C und denselben Einwirkdauern wie für feste Taumitteln bestimmt. Die Tauleistung wurde wiederum durch 3- bzw. 4-fache Bestimmung ermittelt.

Kapitel 5 beschäftigt sich generell mit der Thematik der Lagerung auftauender Streumittel sowie deren Überprüfung anhand der Rieselfähigkeit fester Taumittel. Zunächst wird die Frage behandelt, wie sich das Mikroklima (Temperatur und Luftfeuchte) in einem gefüllten bzw. einem leeren Holzsilos über die Zeit entwickelt. Dabei wurden keine relevanten Unterschiede in Bezug auf die Temperatur festgestellt. In Bezug auf die Luftfeuchte zeigt das mit NaCl gefüllte Silo kleinere Schwankungen. Dies hängt sowohl mit dem kleineren Luftvolumen, als auch mit Salz als Feuchtespeicher bzw. -quelle zusammen. Weiters wird die Entwicklung der Salzfeuchte beim Transport vom Zentrallager per Lkw bis nach dem Einblasen in das Silo ermittelt. Dabei wurden keine signifikanten Veränderungen ermittelt. Die Rieselfähigkeit von Salz wurde mittels Auslaufbox nach Sonntag bestimmt. Dabei zeigt sich, dass vor allem das Austrocknen von lieferfeuchtem Salz (0,5 M% Feuchte) zu einer dramatischen Reduktion der Rieselfähigkeit führt. Die Ergebnisse belegen die praktische und kostengünstige Anwendbarkeit der Versuchsanordnung und zeigen klar auf, dass in Bezug auf die Feuchte bei Anlieferung sowie Lagerung ein besonderes Augenmerk zu legen ist, wenn erhebliche Mehrkosten in der Lösung und Wiederaufbereitung vermieden werden sollen.

Die Ergebnisse der Literaturstudie zu Umweltauswirkungen von auftauenden Streumitteln ist in Kapitel 6 zusammengefasst. Dabei werden zahlreiche nationale und internationale Publikationen berücksichtigt. Als wesentliche Erkenntnis aus dieser Studie ist vor allem der „Nordische Schwan“ zu sehen, ein nordeuropäisches Zertifizierungssystem zur umfassenden Bewertungen von Taumitteln, das neben anderen Aspekten auch detaillierte relevante Kenn- und Grenzwerte für Taumittel in Bezug auf die auf die Umweltauswirkungen beinhaltet.

In Kapitel 7 werden aufbauend auf den Erkenntnissen des Berichts für ein wirtschaftlich orientiertes Bewertungsverfahren von auftauenden Streumitteln adaptiert. Mit der Definition von technisch begründeten Mindestkriterien wird die grundsätzliche Eignung der angebotenen Streumittel überprüft. Sind diese erfüllt, kann als Zuschlagskriterium die Kosten je Einheit bei gleichem Gefrierpunkt oder die monetäre Tauleistung herangezogen werden. Auf Basis der im Bericht vorgestellten Untersuchungen ist es somit möglich, die Lieferung der untersuchten Streumittel auszuschreiben und auf Basis transparenter und nachvollziehbarer Kriterien zu vergeben. Weiters können mit den vorgestellten Untersuchungen und Ergebnissen künftig neu auf den Markt kommende Produkte mittels objektiven Laborverfahren in Bezug auf ihre technische Eignung und auf ihre Verfügbarkeit beschrieben werden. Die Ergebnisse zu herkömmlich eingesetzten Streumitteln NaCl, CaCl₂ und MgCl₂ bilden dabei den Bewertungshintergrund. Um die Anwendbarkeit des Bewertungsverfahrens zu erleichtern sind jeweils Berechnungsbeispiele angeführt.

2. Ausblick

Aus den Ergebnissen des vorliegenden Projekts lassen sich vor allem zwei Fragestellungen für zukünftige Forschungsprojekte ableiten:

- Bisher wurde die Tauleistung von festen und flüssigen Taumitteln in standardisierten Prüfungen ermittelt und ein Bewertungshintergrund aufgebaut. In der Praxis dominiert inzwischen die Feuchtsalzstreuung, also eine Kombination aus festen und flüssigen Taumitteln. Theoretisch kann aus gewichteter Mittelung der Tauleistung flüssiger und fester Taumittel auf die Tauleistung von Feuchtsalzstreuung ermittelt werden. Dies soll anhand von einzelnen Beispielen validiert werden, indem aus den bestehenden Verfahren ein Laborverfahren weiterentwickelt wird, das auch die Ermittlung der Tauleistung einer Feuchtsalzstreuung ermöglicht.
- Zudem wurden im Rahmen der Arbeit an der Rieselfähigkeit wesentliche Erkenntnisse zu Einflussfaktoren auf die Rieselfähigkeit gewonnen. Im nächsten Schritt könnten darauf aufbauend weitere Fragestellungen behandelt werden: Wo liegt der Grenzfeuchtegehalt, ab dem es bei Trocknung der Probe zu Verfestigung und damit Abnahme der Rieselfähigkeit kommt? Wie hoch ist der notwendige Energieaufwand um verfestigte Proben wieder zu mobilisieren? Welchen Einfluss haben Temperatur- und Feuchteschwankungen auf die Rieselfähigkeit? Zudem können unterschiedliche Antiback-Mittel standardisiert geprüft und bewertet werden sowie mögliche Kosten der Lagerhaltung sowie Aufbereitung näher betrachtet werden.

Ass. Prof. DI Dr.
Bernhard Hofko
Laborleiter

Proj. Ass DI
Daniel Steiner
Projektleiter

DI Dr.
Markus Hoffmann
Co-Autor

Wien, im Oktober 2015

1. Einleitung und Aufgabenstellung

1.1 Motivation und Aufgabenstellung

Hintergrund für das dem Bericht zugrundeliegende Forschungsprojekt ist es, objektiv anwendbare Eignungskriterien für auftauende Streumittel im Winterdienst zu schaffen. Diese Eignungskriterien sollen sowohl die technische Eignung in Bezug auf Tauleistung bzw. Rieselfähigkeit bewerten, als auch Umweltauswirkungen und Wirtschaftlichkeit berücksichtigen.

Während für die heute üblicherweise eingesetzten Streumittel, Natriumchlorid und in Sonderfällen auch Calciumchlorid und Magnesiumchlorid langjährige Erfahrung zur Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit besteht, ist dies für viele, neu auf den Markt kommende Produkte nicht der Fall. Nachdem der Markt an auftauenden Streumitteln in den letzten Jahren vielfältiger geworden ist, entsteht die Notwendigkeit, auftauende Streumittel standardisiert zu prüfen und zu bewerten, um auch in Zukunft einen verkehrssicheren und wirtschaftlich effizienten Winterdienst auf Österreichs Straßen sicherzustellen.

Daher wurden im vorliegenden Forschungsprojekt standardisierte Prüfungen entwickelt, mit denen die technische Eignung von festen und flüssigen auftauenden Streumitteln unter Laborbedingungen ermittelt werden kann. Diese Prüfungen, mit denen der Gefrierpunktsverlauf, die Tauleistung und die Rieselfähigkeit bewertet werden können, wurden an den in Österreich häufig eingesetzten auftauenden Streumitteln durchgeführt, um einen Bewertungshintergrund zu schaffen. Vor diesem Bewertungshintergrund können neu auf den Markt kommende Streumittel in Bezug auf ihre technische Eignung begutachtet werden. Zudem wurden in einer umfangreichen Literaturstudie Grundlagen zur möglichen Bewertung von Umweltauswirkungen gelegt und Kennwerte geschaffen, die eine Beschreibung der Wirtschaftlichkeit von Streumitteln auf Basis der entwickelten Laborprüfungen ermöglichen.

1.2 Gliederung und Inhalte

Tabelle 1 zeigt die 6 Arbeitspakete (AP 1-6), die im Rahmen des Forschungsprojekts behandelt wurden.

Im **AP 1** wurde eine Methode zur Ermittlung des Gefrierpunkts und damit zur Bestimmung des Gefrierpunktsverlaufs von Solen (Gefrierpunkt vs. Konzentration) im Labor entwickelt und für Natriumchlorid, Calcium- und Magnesiumchlorid durchgeführt um einen Bewertungshintergrund aufzubauen.

AP 2 beschäftigt sich mit der standardisierten Prüfung der Tauleistung und Taugeschwindigkeit (Taurate) von festen Taumitteln im Labor. Die entwickelte Methode wurde an Natriumchlorid mit unterschiedlichen Kornklassen durchgeführt, um auch hier einen Bewertungshintergrund aufbauen zu können. Der Bewertungshintergrund steht für Temperaturen von $-2,5^{\circ}\text{C}$ bis -10°C zur Verfügung.

Im **AP 3** wurde ein analoges Verfahren für flüssige Taumittel (Solelösungen) entwickelt und dieses an Solen von Natrium- und Calciumchlorid bei unterschiedlicher Konzentration durchgeführt. Der Bewertungshintergrund steht für Temperaturen von $-2,5^{\circ}\text{C}$ bis $-7,5^{\circ}\text{C}$ zur Verfügung.

Zum Thema Rieselfähigkeit wurde im **AP 4** eine Methode auf Basis der Auslaufbox nach Sonntag entwickelt. Dabei geht es in diesem Bericht vor allem

um den Einfluss von Anfangsfeuchte und etwaigen Trocknungsvorgängen auf die Rieselfähigkeit von Stein- und Siedesalz.

Im **AP 5** wurde eine Literaturrecherche zum Thema Umweltauswirkungen von auftauenden Streumitteln durchgeführt. Der Bericht enthält die wesentlichen Inhalte aus über 50 nationalen und internationalen Publikationen zu diesem Thema.

Abschließend werden in **AP 6** aus den entwickelten Verfahren zur technischen Eignung Kennwerte definiert, mit denen die Wirtschaftlichkeit von Streumitteln standardisiert bewertet werden können. Damit sollen vor allem neu auf den Markt kommende Produkte auf ihre Effizienz und Leistungsfähigkeit hin bewertet werden können.

Tabelle 1 Arbeitspakete

Arbeitspakete	
AP 1	Gefrierpunktverlauf
AP 2	Tauleistung fester Taumittel
AP 3	Tauleistung flüssiger Taumittel
AP 4	Rieselfähigkeit
AP 5	Umweltauswirkungen
AP 6	Wirtschaftlichkeit

1.3 Tauleistung oder Tauwirksamkeit?

Die zentrale Aufgabe eines auftauenden Streumittels ist es, Wasser in fester Form (Eis) durch Schmelzen in flüssige Form zu bringen. Um dieses Vermögen zu beschreiben, werden in der Literatur die Begriffe Tauwirksamkeit und Tauleistung verwendet. Um die Begriffsdefinition klar abzugrenzen, sei folgendes angemerkt.

In diesem Bericht wird der Tauleistung Vorrang gegeben und durchgängig verwendet. Die Gründe dafür sind:

Gemäß physikalischer Definition ist Leistung als Energie pro Zeiteinheit definiert. Der Schmelzvorgang, also der Übergang vom festen in den flüssigen Aggregatzustand ist nur möglich, wenn Energie zugeführt wird. Im Fall von Wasser beträgt die spezifische Schmelzwärme oder Schmelzenthalpie 334 kJ/kg. Es ist also Energie notwendig, um Eis zu schmelzen. Da die Tauleistung beschreibt, wieviel Masse an Eis pro Zeiteinheit geschmolzen werden können, ist der Leistungsbegriff auch physikalisch korrekt verwendet.

Zudem wird der Begriff der Tauleistung traditionsgemäß im straßenbetrieblichen Winterdienst verwendet und entspricht damit dem technischen Jargon von Fachleuten aus diesem Bereich.

2. Ermittlung des Gefrierpunktverlaufs

2.1 Hintergrund

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. Dabei sollen besonders die Unterschiede verschiedener Taumittel, wie Natriumchlorid, Calciumchlorid oder Magnesiumchlorid dargestellt werden.

2.2 Materialien und Prüfmethode

2.2.1 Natriumchlorid

Für sämtliche Gefrierpunktbestimmungen wurde Natriumchlorid (NaCl) verwendet, welches von der MA 48 zur Verfügung gestellt wurde.

2.2.2 Calciumchlorid

Für sämtliche Gefrierpunktbestimmungen wurde Calciumchlorid (CaCl_2) der Firma Carl Roth GmbH + Co. KG verwendet. Das getrocknete und in Pulverform vorliegende Salz ist der Reinheitsklasse $\geq 98\%$ zuzuordnen und besitzt eine Molare Masse von 110,99 g/mol.

2.2.3 Magnesiumchlorid

Für sämtliche Gefrierpunktbestimmungen wurde Magnesiumchlorid (MgCl_2) der Firma Carl Roth GmbH + Co. KG verwendet. Das wasserfrei vorliegende Salz ist der Reinheitsklasse $\geq 98\%$ zuzuordnen und besitzt eine Molare Masse von 95,22 g/mol bzw. eine Dichte von 2,32 g/cm³.

2.2.4 Probevorbereitung

Eine detaillierte Arbeitsanweisung zur Bestimmung des Gefrierpunktverlaufs ist dem Anhang zu entnehmen.

2.3 Prüfprogramm

Tabelle 2 zeigt den Umfang der Gefrierpunktsbestimmungen. Dabei wurden mit NaCl, CaCl_2 und MgCl_2 Versuche an 3 verschiedenen Taumittel mit je 8 verschiedenen Konzentrationen durchgeführt. Die Abstufung der Konzentrationen richtete sich dabei nach dem eutektischen Punkt der verschiedenen Stoffe. Dieser Punkt stellt die Konzentration einer Sole dar, bei der der tiefste Gefrierpunkt auftritt. Um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erreichen wurde eine 3- bzw. 4-fach Bestimmung durchgeführt.

Tabelle 2 Anzahl der Gefrierpunktbestimmungen

Taumittel	Untersuchte Sole-Konzentration [M-%]								Prüfung je Konzentration	Σ
NaCl	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	21,0	23,4	3	24
CaCl_2	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	21,0	25,0	4	32
MgCl_2	2,6	5,2	7,8	10,4	13,0	15,6	18,2	21,4	4	32
									SUMME	88

2.4 Prüfdurchführung und Auswertung

Eine detaillierte Arbeitsanweisung zur Bestimmung des Gefrierpunktverlaufs ist dem Anhang zu entnehmen.

Wie Tabelle 3 zeigt, beträgt der Zeitaufwand für die Gefrierpunktsbestimmung eines Taumittels 4 Arbeitstage.

Tabelle 3 Zeitaufwand Gefrierpunktbestimmung

Aufwand Gefrierpunktbestimmung (3-fach Bestimmung)	
3,5 Tage	Prüfdurchführung (8 Einzelbestimmungen je Versuch)
4 Stunden	Auswertung
4 Arbeitstage	GESAMT

In Abbildung 1a ist ein typischer Temperaturverlauf eines Mediums bei Abkühlung dargestellt. Der Gefrierpunkt lässt sich dabei an jener Stelle ablesen, an der sich ein Halteplateau der Temperatur einstellt. Sollte es zu einer anfänglichen Unterkühlung (supercooling) kommen, dann ist jene Temperatur als Gefrierpunkt zu bezeichnen, die sich direkt nach Unterkühlung als lokales Maximum und Halteplateau einstellt (Abbildung 1b).

Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen beispielhaft die Methode, die für die Auswertung gewählt wurde. Dabei werden die während des Abkühlens kontinuierlich aufgezeichneten Temperaturwerte nach deren Häufigkeit ausgewertet. Sobald der Gefrierpunkt erreicht ist, stellt sich ein Haltepunkt der Werte ein (Abbildung 3). Dies bedeutet gleichzeitig, dass sich eine Häufung der Temperaturwerte bei diesem Haltepunkt einstellt und somit der exakte Gefrierpunkt ermittelt werden kann. Um dies zu verdeutlichen wurden sowohl in Abbildung 2 als auch in Abbildung 3 strichpunktierte Linien eingezeichnet. Dabei kann man erkennen, dass jene Temperaturmesswerte, die in Abbildung 2 die größte Häufigkeit aufweisen, in Abbildung 3 den Haltepunkt der Temperaturmesswerte ergeben. Der Vorteil dieser Methode lässt sich anhand der 21.0-% Solelösung erkennen, da die aufgetretene anfängliche Unterkühlung, nicht als Gefrierpunkt ausgewertet wird.

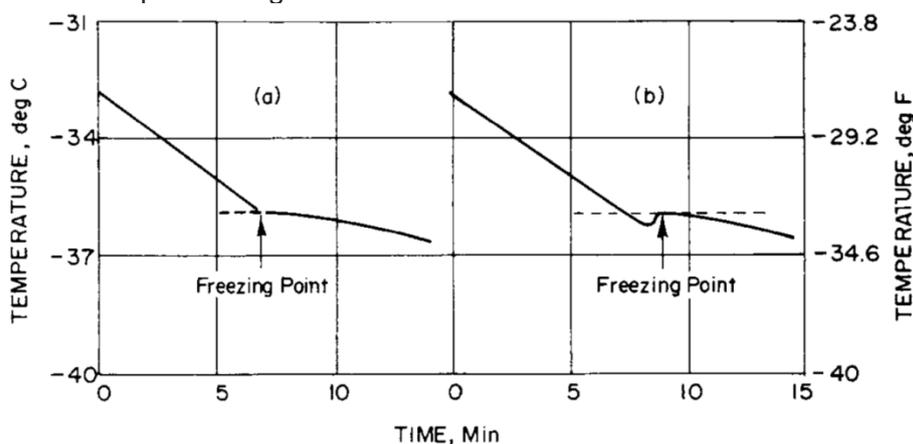


Abbildung 1 Bestimmung des Gefrierpunkts (ASTM, 2005)

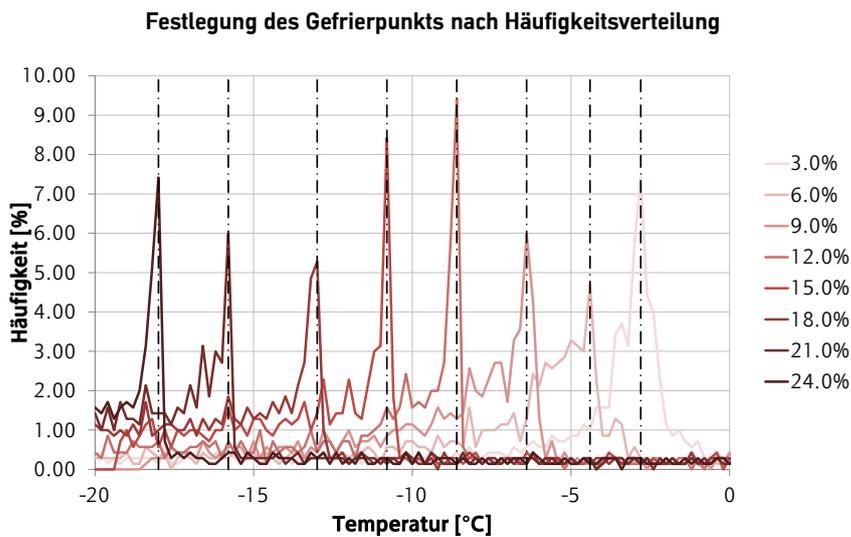


Abbildung 2 Häufigkeitsverteilung der Temperatur-Messwerte am Beispiel von NaCl-Sole

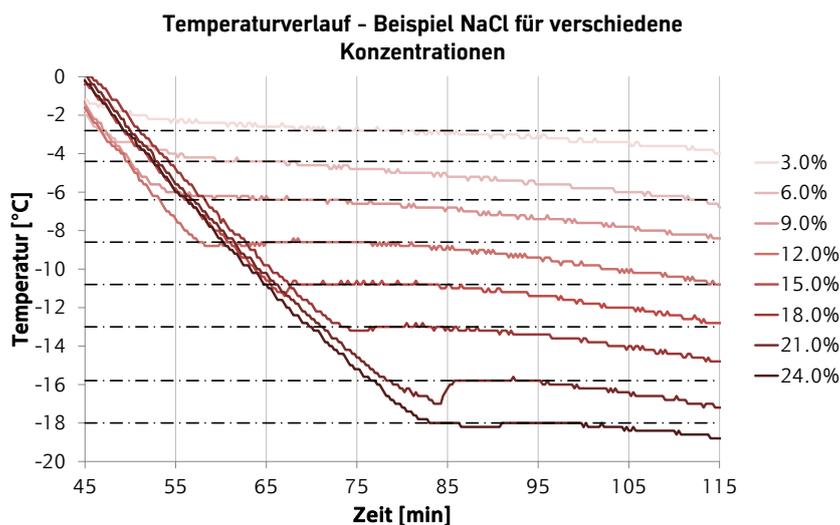


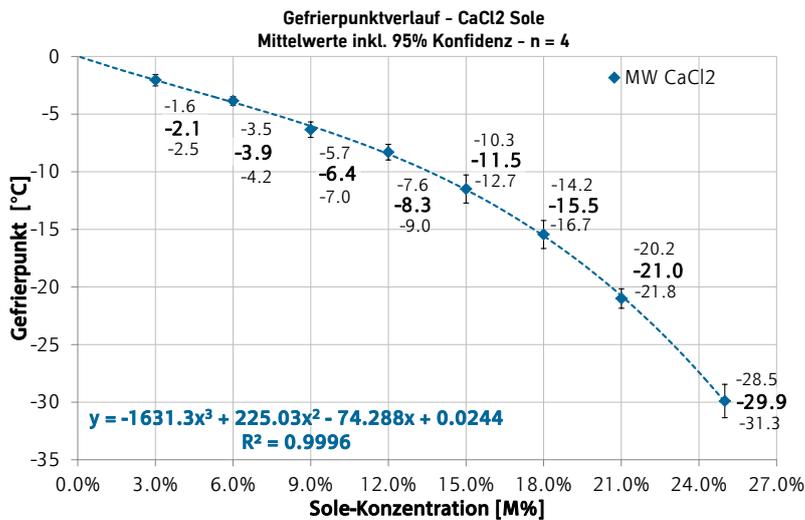
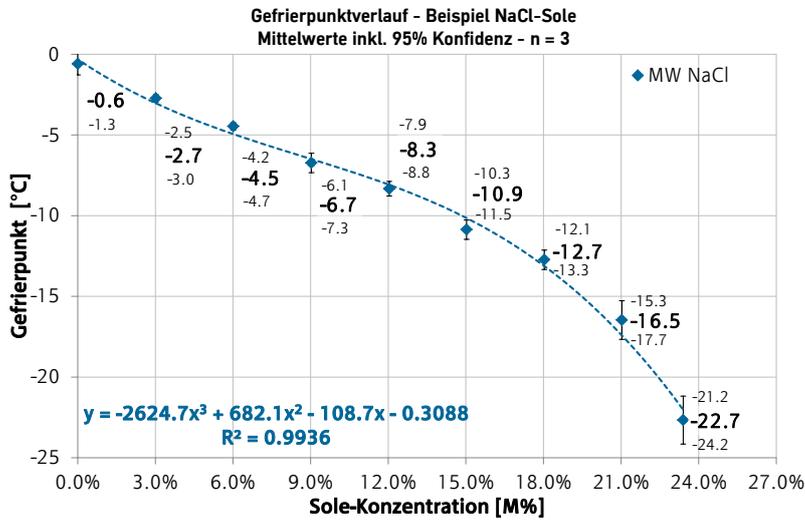
Abbildung 3 Temperaturverlauf bei einer Gefrierpunktsbestimmung am Beispiel von NaCl-Sole

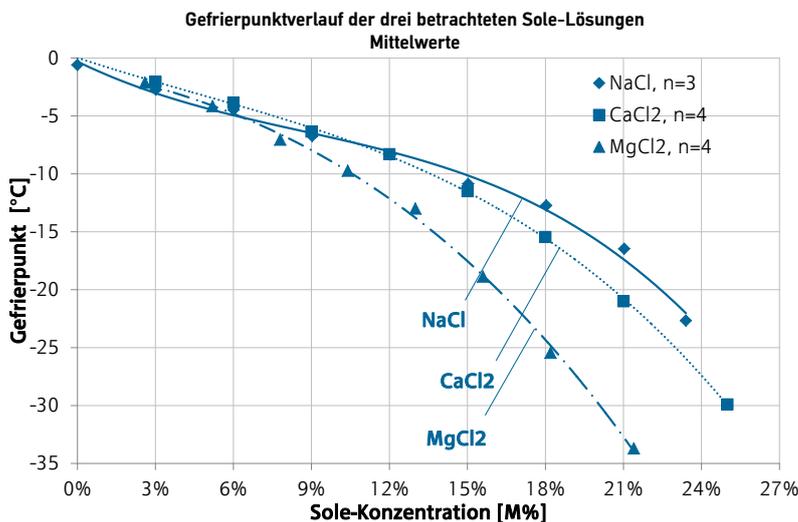
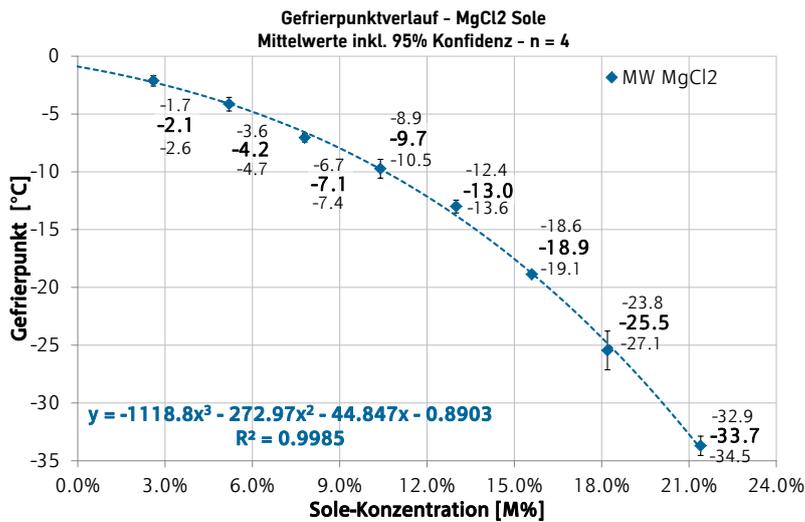
2.5 Ergebnisse

Abbildung 4 bis Abbildung 6 sind die Ergebnisse der jeweiligen Taumittel dargestellt. Dabei wurde für die Auswertung der Mittelwert der Einzelversuche und die 95-% Konfidenz ($1,96 \cdot \text{Standardabweichung}$) ermittelt.

Abbildung 7 zeigt die Gegenüberstellung der Gefrierpunktsverläufe aller untersuchten Sole-Lösungen. Vergleicht man dabei den Verlauf der verschiedenen Taumittel, dann kann man erkennen, dass sich bis zu einer Konzentration von 9 M% kein signifikanter Unterschied der Gefrierpunkte einstellt. Bei höheren Konzentrationen gefrieren die Taumittel CaCl_2 und MgCl_2 bei deutlich tieferen Temperaturen. Um somit einen Gefrierpunkt von beispielsweise -20°C zu erreichen, würden man für NaCl 22,5 M%, CaCl_2 20,5

M% und MgCl₂ 16,0 M% Salzanteil in der Sole benötigen. Um mittels Regressionsformel die Gefrierpunktwerte berechnen zu können ist es wichtig, dass die Sole-Konzentrationsvariable x in der Form 0.00 - 1.00 eingesetzt wird.





3. Tauleistung fester Taumittel

3.1 Hintergrund

Im Kapitel 2 wurden für die untersuchten Taumittel die physikalische Grundeigenschaft des Gefrierpunkts und dessen Verlauf ermittelt. Um diese Produkte auch in Bezug auf die potentielle Tauleistung, in der Form, in der das Mittel auch in der Praxis aufgebracht wird, untersuchen zu können, wurden standardisierte Versuche entwickelt. Diese erlauben es die Tauleistung der Taumittel in fester Form zu bestimmen und somit einen Zusammenhang mit dem Streuvorgang im angewandten Winterdienst herzustellen. Damit wird ein praxisrelevanter Bewertungshintergrund aufgebaut, mit dem verschiedene Produkte untereinander verglichen werden können.

Um die Tauleistung feststellen zu können, wird im Labor in Schalen Wasser gefroren. Diese Eisoberfläche wird bei verschiedenen Temperaturen mit dem jeweiligen Taumittel bestreut und nach bestimmten Zeiträumen die Menge der abgetauten Sole bestimmt.

3.2 Materialien und Prüfmethode

Für sämtliche Tauleistungsbestimmungen von festen Taumitteln wurde NaCl verwendet, das in Bezug auf die Herkunft als Siede- und Steinsalz zu bezeichnen ist. Während das Siedesalz durch die MA48 der Stadt Wien zur Verfügung gestellt wurde, wurde das Steinsalz durch das Land NÖ geliefert.

Die angelieferten Salzproben wurden mittels einer Trockensiebung aufbereitet und analysiert und für die weitere Versuchsdurchführung in die Kornklassen [0,125|1], [1,0|3,15] und [3,15|5,0] unterteilt.

Weitere Untersuchungen wurden an den angelieferten Proben ohne Aussieben durchgeführt, um beispielhafte Daten für Siede- und Steinsalz zu erhalten. Diese Daten sind in Kapitel 7 dargestellt.

3.3 Prüfprogramm

Tabelle 4 Anzahl der Prüfungen zeigt den Umfang sämtlicher Bestimmungen der Tauleistung von festen Taumitteln. Dabei wurden mit den Kornklassen [0,125|1], [1|3,15] und [3,15|5] 3 verschiedene Taumittel bei 4 verschiedenen Temperaturen untersucht. Die Bestimmungen wurden jeweils bei 9 verschiedenen Einwirkdauern durchgeführt.

Tabelle 4 Anzahl der Prüfungen

Taumittel	Korn- klasse	Außentemperatur [°C]				Prüfungen je Taumittel	zeitliche Bestimmungen je Test	Bestimmungen je Taumittel
		-2,5	-5	-7,5	-10			
NaCl - Siedesalz	0,125 1	4	4	4	4	16	9	144
NaCl - Steinsalz	1 3,15	4	4	4	4	16	9	144
NaCl - Steinsalz	3,15 5	4	4	4	4	16	9	144
SUMME						48		432

3.4 Prüfdurchführungen und Auswertung

Wie Tabelle 5 Zeitaufwand Tauleistungsbestimmung fester Taumittel pro Temperaturstufe zeigt, beträgt der Zeitaufwand für die Bestimmung der Tauleistung fester Taumittel 3 Arbeitstage je Temperaturstufe.

Eine detaillierte Arbeitsanweisung zur Bestimmung der Tauleistung von festen Taumitteln ist dem Anhang zu entnehmen.

Tabelle 5 Zeitaufwand Tauleistungsbestimmung fester Taumittel pro Temperaturstufe

Aufwand Tauleistung fester Taumittel (3-fach Bestimmung)	
2,5 Tage	Prüfdurchführung (Vierfache Bestimmung pro Temperatur - 9 Einwirkdauern)
4 Stunden	Auswertung
3 Arbeitstage	GESAMT pro Temperatur

Abbildung 8 Methode zur Auswertung für die Tauleistung und Taurate fester Taumittel zeigt die Methode der Auswertung zur Bestimmung der Tauleistung bzw. Taurate fester Taumittel. Dabei ist die Tauleistung definiert als die gelöste Masseneinheit Sole g_{SOLE} je Masseneinheit des eingesetzten Taumittels $g_{TAUSALZ}$. Der Mittelwert dieser Tauleistung inkl. 95%-Konfidenz ($1,96 \cdot \text{Standardabweichung}$) wird für jede Einwirkdauer dargestellt, wodurch man eine Regression durchführen kann. Aufgrund der Steigung der resultierenden Funktion lassen sich durch Ableitung der Regressionskurve Tauraten ermitteln, wie sie in Abbildung 8 Methode zur Auswertung für die Tauleistung und Taurate fester Taumittel gezeigt sind. Die Taurate gibt die verbleibende Tauleistung pro Zeiteinheit zu einem bestimmten Zeitpunkt an. Die Regressionsformel ist nur bis zur längsten Testdauer (240 min) gültig. Eine Extrapolation darüber hinaus ist nicht zulässig.

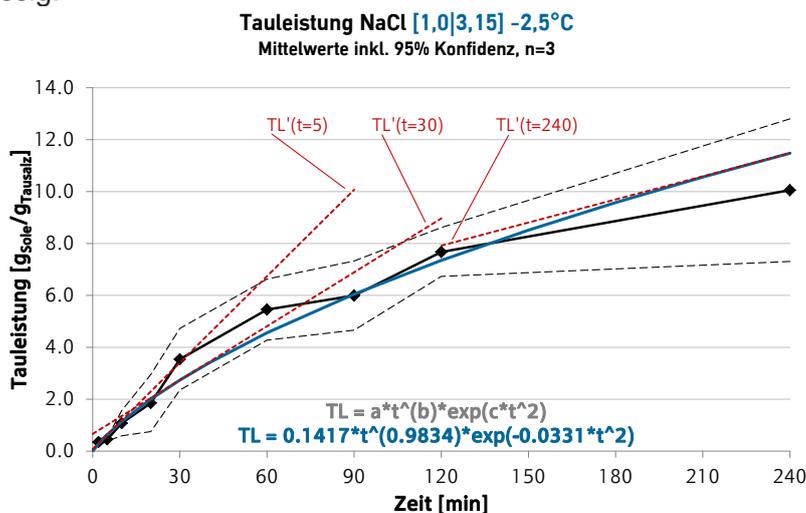


Abbildung 8 Methode zur Auswertung für die Tauleistung und Taurate fester Taumittel

Formel 1 und Formel 2 zeigen die Berechnung der Tauleistung und Taurate aus den im Versuch ermittelten Werten.

Formel 1 Massenbezogene Tauleistung fester Taumittel

$$TL_{M, fest}(t) = \frac{M_{Sole}(t)}{M_{TMfest}}$$

TLM,fest	Massenbezogene Tauleistung fester Taumittel [g/g] in Abhängigkeit der Einwirkdauer t
MSole	abgeossene (getaute) Sole [g] in Abhängigkeit der Einwirkdauer t
MTMfest	aufgebrachte Taumittelmenge [g]

Formel 2 Massenbezogene Taurate eines Taumittels

$$TR_{M,i}(t) = \frac{dTL_{M,i}(t)}{dt}$$

$TR_{M,i}$ Massenbezogene Taurate eines Taumittels in [g/(g*Zeiteinheit)}

$TL_{M,i}$ Massenbezogene Tauleistung eines Taumittels [g/g] in Abhängigkeit der Einwirkdauer

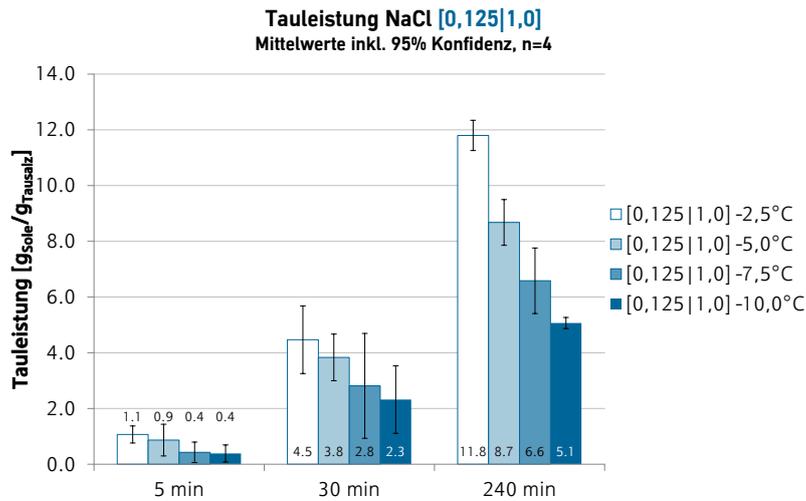
3.5 Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl die analytische Beschreibung der Tauleistung, als auch die Ableitung von Tauraten erfolgreich war. Dadurch konnte für 3 untersuchte Kornklassen ein Bewertungshintergrund aufgebaut werden. Nachdem die Taurate aus der Ableitung der Regressionskurve der Tauleistungswerte ermittelt wird, werden die Diagramme der Tauraten ohne statistische Schwankungen dargestellt.

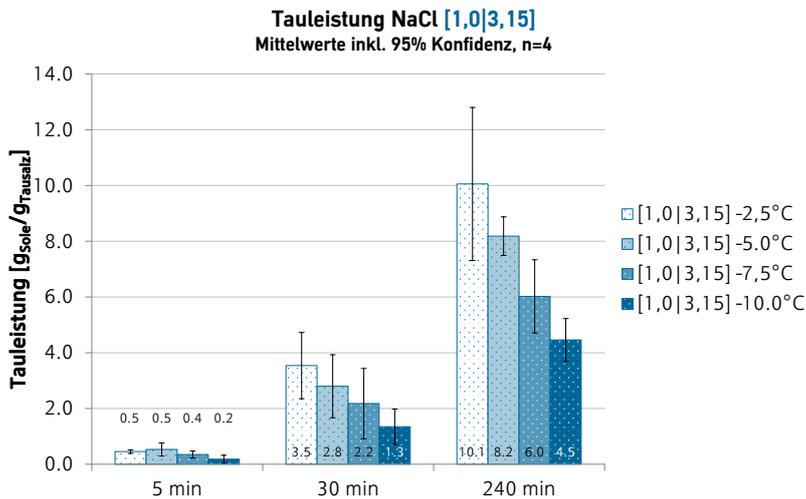
3.5.1 Tauleistung und Taurate bei verschiedenen Temperaturen

In Abbildung 9, Abbildung 10 und Abbildung 11 sind die Tauleistungen der jeweiligen Kornklassen dargestellt. Diese wurden in Bezug auf die Einwirkdauer und die Versuchstemperatur ausgewertet. Man kann erkennen, dass mit tieferen Temperaturen ein Abfall der Tauleistung stattfindet. Zusätzlich steigt jedoch mit zunehmender Einwirkdauer die Tauleistung an, flacht aber mit zunehmender Einwirkdauer aufgrund der sinkenden Sättigung asymptotisch ab.

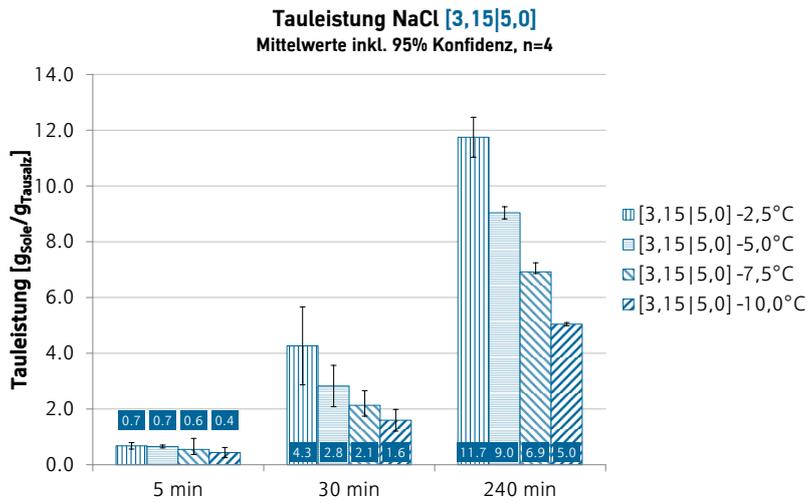
Um diese Zunahme besser bewerten und vergleichen zu können werden in Abbildung 12, Abbildung 13 und Abbildung 14 die Tauraten (Tauleistung je Zeiteinheit) dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die Tauleistungen, unabhängig von den Kornklassen, je Zeiteinheit abnehmen. Deswegen weisen die Tauraten bei t=5min die größten Werte auf.



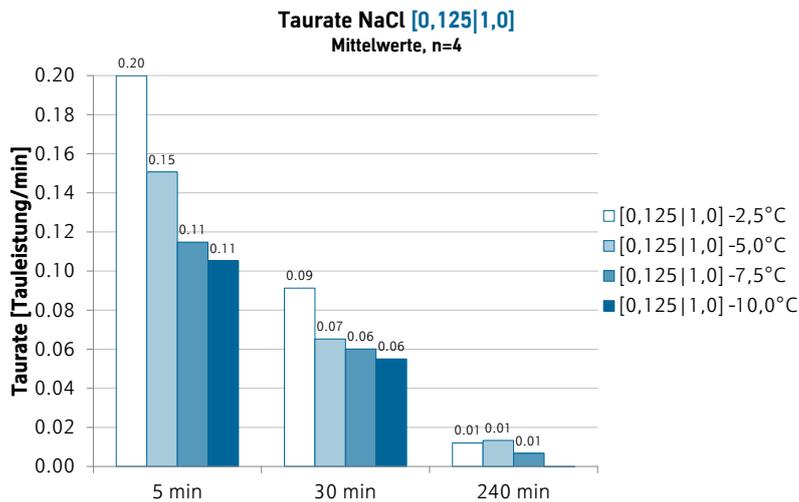
**Abbildung 9 Vergleich der Tauleistungen bei verschiedenen Temperaturen
Kornklasse [0,125|1]**



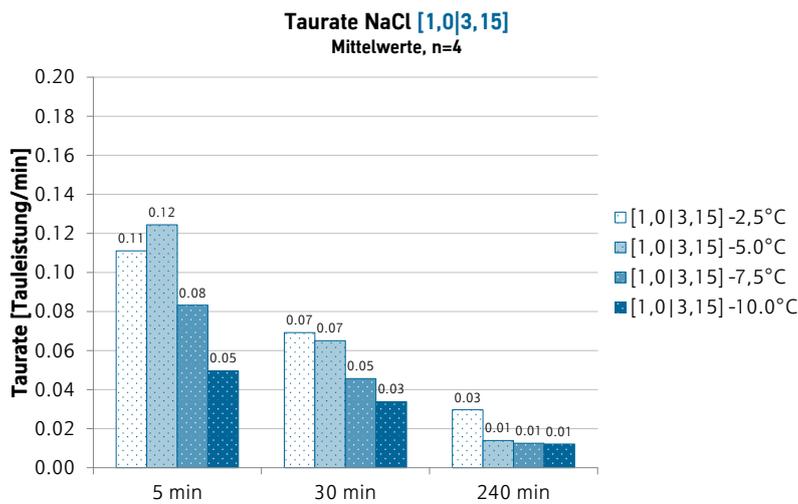
**Abbildung 10 Vergleich der Tauleistung bei verschiedenen Temperaturen
Kornklasse [1,0|3,15]**



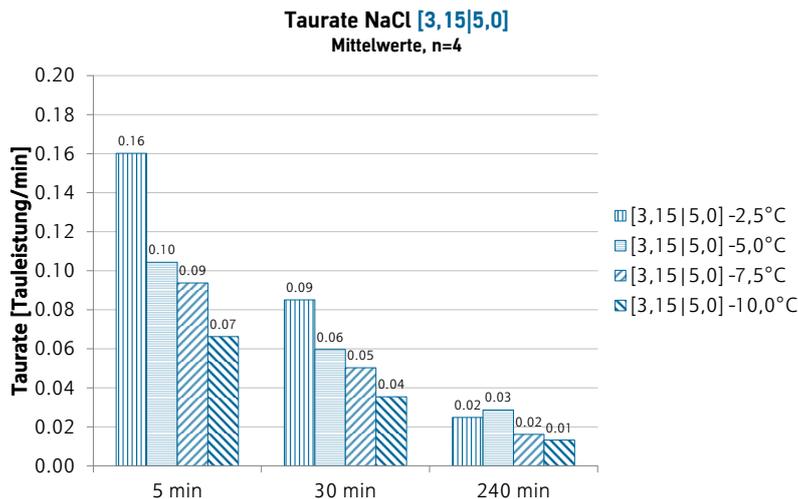
**Abbildung 11 Vergleich der Tauleistung bei verschiedenen Temperaturen
Kornklasse [3,15|5,0]**



**Abbildung 12 Vergleich der Taurate bei verschiedenen Temperaturen
Kornklasse [0,125|1,0]**



**Abbildung 13 Vergleich der Taurate bei verschiedenen Temperaturen
Kornklasse [1,0|3,15]**



**Abbildung 14 Vergleich der Taurate bei verschiedenen Temperaturen
Kornklasse [3,15|5,0]**

3.5.2 Tauleistung und Taurate bei verschiedenen Kornklassen

In Abbildung 15 sind die Ergebnisse der Tauleistungen aller Temperaturen und Kornklassen nochmals zusammengefasst. Dabei lässt sich erkennen, dass die Abnahme der Tauleistung mit der Temperatur anhand der 2,5 °C Sprünge nahezu konstant bleibt und sich relativ unabhängig in Bezug auf die Kornklasse darstellt, d.h. der Einfluss der Kornklasse auf die Tauleistung ist nicht signifikant, wenn die Streuung der Ergebnisse in Betracht gezogen wird.

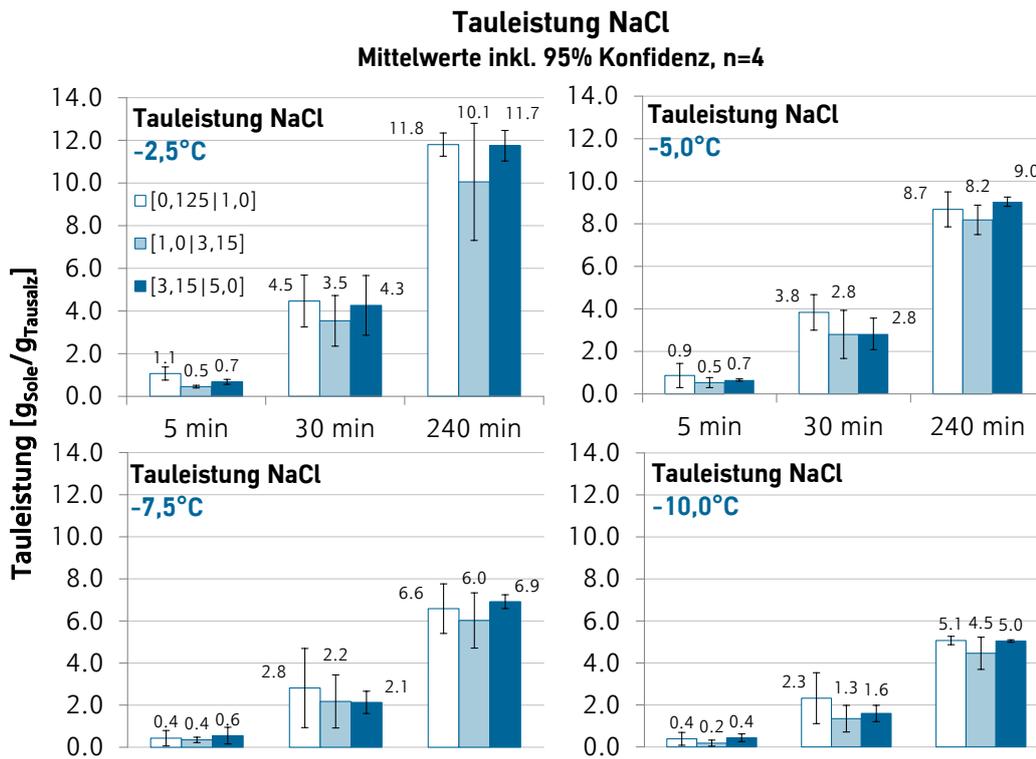


Abbildung 15 Vergleich Tauleistung – Kornklasse

Abbildung 16 stellt den Vergleich zwischen Taurate und Kornklasse dar. Dabei lässt sich erkennen, dass die grobe Körnung die stärkste Temperaturanfälligkeit in Bezug auf kurz- und mittelfristigen Tauraten aufweist. Absolut gesehen zeigt die feine Körnung bei kurzfristiger Betrachtung (5 min Einwirkzeit) eine leicht höhere Taurate als die anderen beiden Körnungen. Nach 30 min Einwirkzeit liegt die Taurate aller Körnungen auf vergleichbarem Niveau.

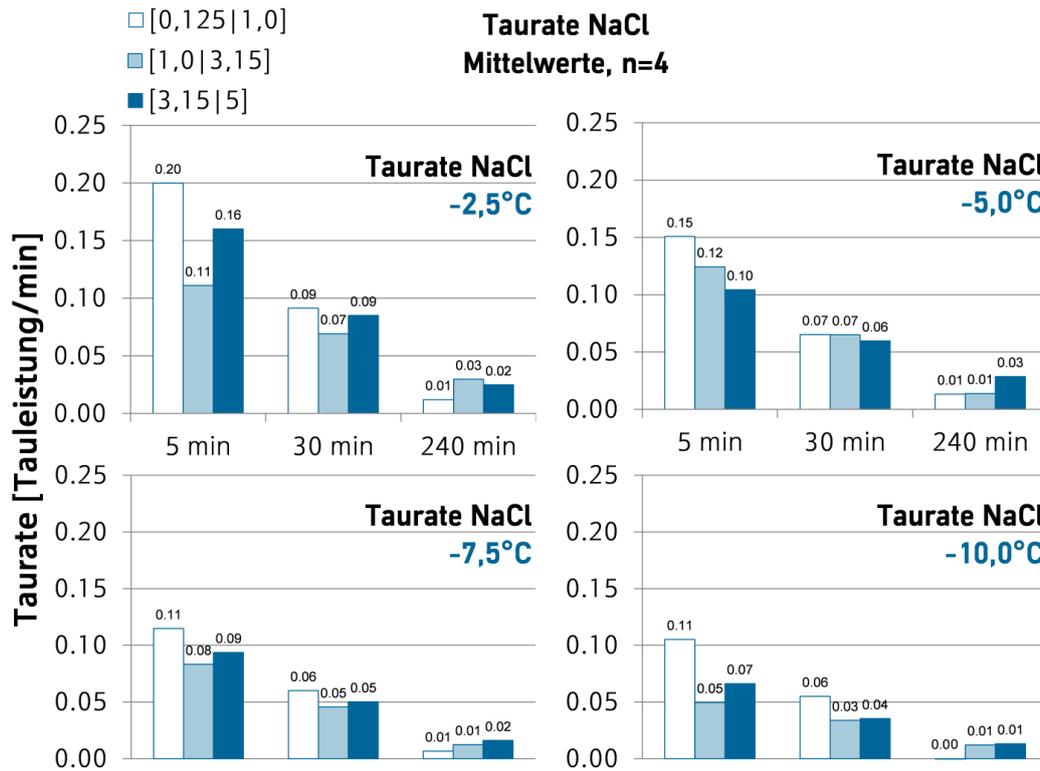


Abbildung 16 Vergleich Taurate – Kornklasse

4. Tauleistung flüssiger Taumittel

4.1 Hintergrund

Nachdem im Kapitel 3 die „Tauleistung fester Taumittel“ bestimmt wurde, soll in diesem Kapitel auch die alternative Ausbringform von Taumitteln in Form von Sole untersucht werden. Dazu wurden standardisierte Versuche entwickelt, die es erlauben, die Tauleistung der Taumittel in flüssiger Form zu bestimmen und somit einen Zusammenhang mit dem Streuvorgang im angewandten Winterdienst herstellen zu können. Somit wird ein praxisrelevanter Bewertungshintergrund aufgebaut, mit welchem die verschiedensten Produkte untereinander verglichen werden können.

Um die Tauleistung feststellen zu können, wird im Labor in Metallgefäßen Wasser gefroren. Diese Eiskörper, die eine Einbuchtung an der Oberfläche aufweisen, werden bei verschiedenen Temperaturen mit dem jeweiligen Taumittel begossen und nach bestimmten Zeiträumen die Menge der abgetauten Sole bestimmt.

4.2 Materialien und Prüfmethode

4.2.1 Natriumchlorid

Für sämtliche Bestimmungen der Tauleistung von flüssigen Taumitteln wurde Natriumchlorid (NaCl) verwendet, welches von der MA 48 zur Verfügung gestellt wurde.

4.2.2 Calciumchlorid

Für sämtliche Bestimmungen der Tauleistung von flüssigen Taumitteln wurde Calciumchlorid (CaCl_2) der Firma Carl Roth GmbH + Co. KG verwendet. Das getrocknete und in Pulverform vorliegende Salz ist der Reinheitsklasse $\geq 98\%$ zuzuordnen und besitzt eine Molare Masse von 110,99 g/mol.

4.2.3 Probevorbereitung

Eine detaillierte Arbeitsanweisung zur Bestimmung des Gefrierpunktverlaufs ist dem Anhang zu entnehmen.

4.3 Prüfprogramm

Tabelle 6 zeigt den Umfang sämtlicher Bestimmungen der Tauleistung von flüssigen Taumitteln. Dabei wurden mit den Taumitteln NaCl und CaCl_2 jeweils 2 verschiedene Solen hergestellt, bei denen die Konzentration variiert wurde. Diese 4 flüssigen Taumittel wurden bei 3 verschiedenen Temperaturen geprüft. Die Bestimmungen wurden jeweils bei 9 verschiedenen Einwirkdauern durchgeführt. Zusätzlich wurden im Laufe des Projekts Versuche bei einer Temperatur von -10°C durchgeführt. Aufgrund der sehr geringen Tauleistung bei diesen Temperaturen und der dabei entstandenen hohen Streuung, konnten die Versuche nicht erfolgreich absolviert werden. Deshalb wurden anstatt der Versuche bei -10°C , weitere Untersuchungen bei $-7,5^\circ\text{C}$ durchgeführt.

Tabelle 6 Prüfprogramm Tauleistung flüssiger Taumittel

Taumittel	Sole-Konzentration [M-%]	Außen-temperatur [$^\circ\text{C}$]			Prüfungen je Taumittel	zeitliche Bestimmungen je Test	Bestimmungen je Taumittel
		-2,5	-5	-7,5			
NaCl	20	4	4	4	12	9	108
NaCl	24	4	4	4	12	9	108
CaCl_2	20	4	4	4	12	9	108
CaCl_2	30	4	4	4	12	9	108
SUMME					48		432

4.4 Prüfdurchführung und Auswertung

Die Auswertung der Tauleistung erfolgt mit Hilfe der Formel 3. Dabei wird mit den Kennwerten M_{Sole} (abgeessene Sole) und M_{TMfluid} (aufgebrachtes Taumittel) ermittelt. Der Zähler der Formel ergibt sich aus der Differenz von abgeessener Sole M_{Sole} und aufgebrachtem Taumittel M_{TMfluid} . Somit gibt dieser Wert die Menge des abgetauten Eis an, welche im Verhältnis zum aufgebrachtem Taumittel M_{TMfluid} die Tauleistung angibt.

Formel 3 Massenbezogene Tauleistung flüssiger Taumittel

$$TL_{M,fluid}(t) = \frac{M_{Sole}(t) - M_{TMfluid}}{M_{TMfluid}}$$

$TL_{M,fluid}$ Massenbezogene Tauleistung flüssiger Taumittel [g/g] in Abhängigkeit der Einwirkdauer t

M_{Sole} abgegossene Sole [g] in Abhängigkeit der Einwirkdauer t

$M_{TMfluid}$ aufgebrachte Taumittelmenge (aufgebrachte Sole) [g]

Formel 4 Massenbezogene Taurate eines Taumittels

$$TR_{M,i}(t) = \frac{dTL_{M,i}(t)}{dt}$$

$TR_{M,i}$ Massenbezogene Taurate eines Taumittels i in [g/(g*Zeiteinheit)]

$TL_{M,i}$ Massenbezogene Tauleistung eines Taumittels [g/g] in Abhängigkeit der Einwirkdauer

4.5 Ergebnisse

Abbildung 17 bis Abbildung 20 zeigen die Ergebnisse der Versuche zur Bestimmung der Tauleistung von Taumitteln in flüssiger Form. Dabei sind sowohl die Tauleistung und Taurate der NaCl-Sole, als auch der CaCl₂-Sole bei den Versuchstemperaturen -2,5, -5,0 und -7,5°C bei jeweils 2 Konzentrationen dargestellt.

Abbildung 21 und Abbildung 22 stellen einen Vergleich der beiden Taumittel NaCl und CaCl₂ her. Dabei wurden aber nur die 20%-Konzentrationen ausgewählt um eine zulässige Vergleichbarkeit geben zu können.

Bei NaCl-Solen zeigen höhere Konzentrationen (24% zu 20%) höhere Tauleistungen und Tauraten bei -2,5°C und -5,0°C. Dies kehrt sich jedoch bei -7,5°C um. Nachdem eine Konzentration 24% bei NaCl-Sole sehr nahe an der Sättigungsgrenze liegt, kann es bei tieferen Temperaturen zum Ausfall von Hydrohalit kommen. Dadurch reduziert sich die Tauleistung, da das Kristall Hydrohalit keine Tauwirksamkeit aufweist. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass

in der Praxis die Sole-Konzentration um einige Prozentpunkte unterhalb der Sättigungsgrenze liegt, das heißt im Fall von NaCl nicht über 20% bis 22%. Die Ergebnisse zeigen zudem, dass eine NaCl-Sole Streuung bis $-7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ möglich ist, da auch bei dieser Temperatur noch Tauleistung im Laborversuch erkennbar ist. Tiefere Temperaturen wurden im Zuge dieses Forschungsprojekt nicht untersucht, weshalb die Grenze von $-7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ als vorläufig zu betrachten ist. Tiefere Anwendungstemperaturen könnten bei entsprechendem Nachweis möglich sein.

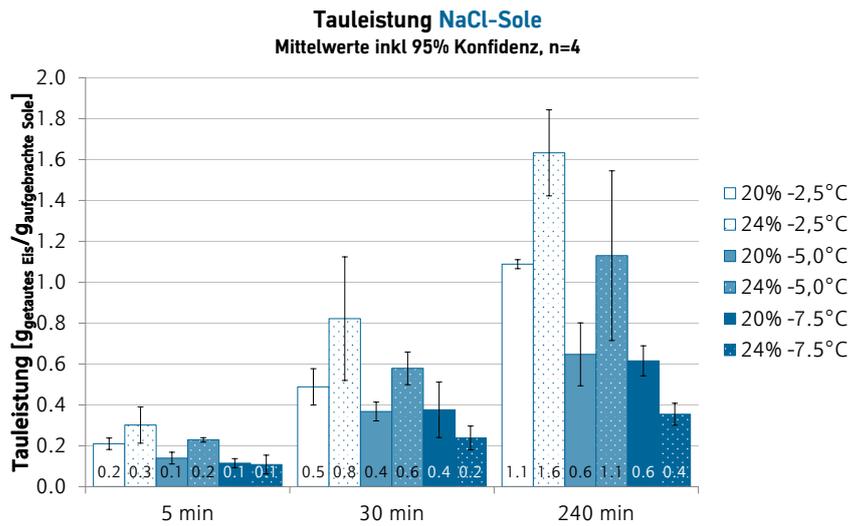


Abbildung 17 Tauleistung NaCl Sole

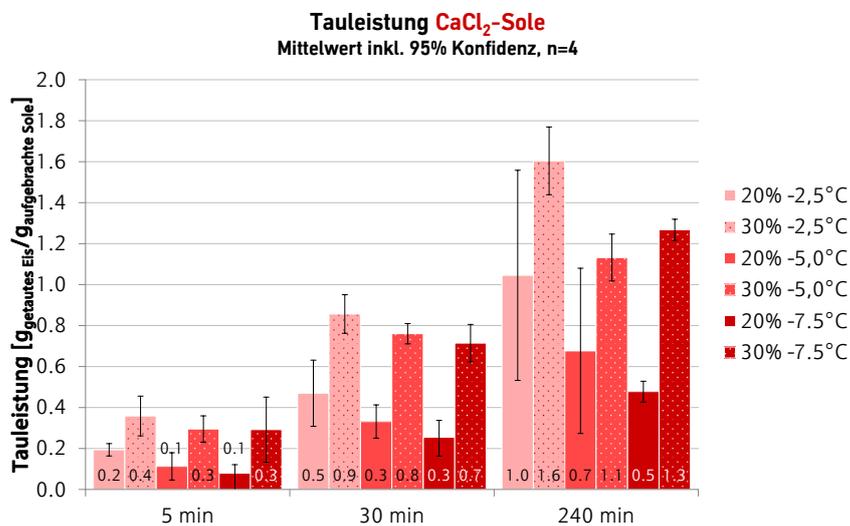


Abbildung 18 Tauleistung CaCl₂ Sole

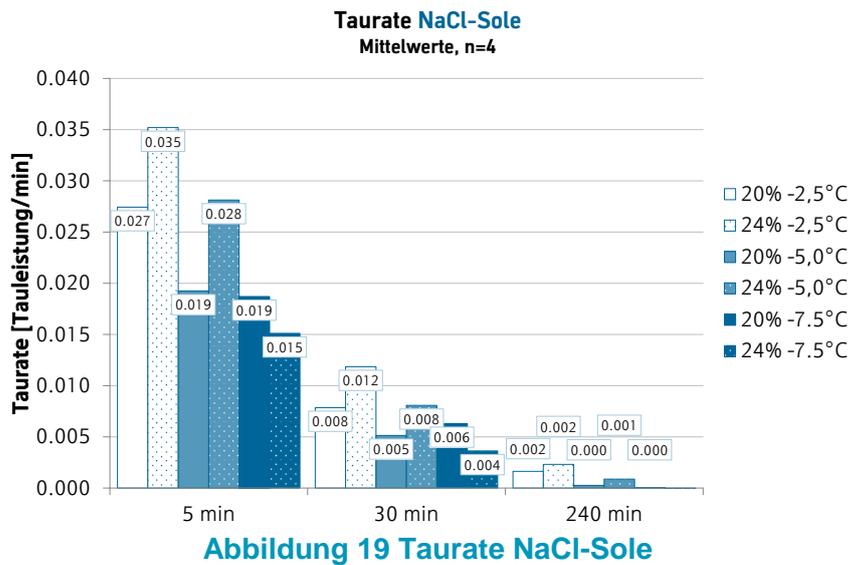


Abbildung 19 Taurate NaCl-Sole

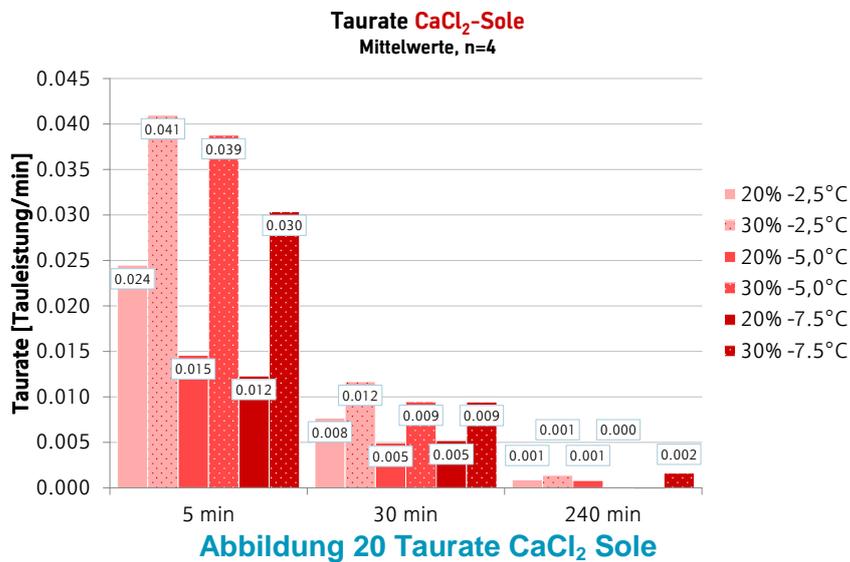


Abbildung 20 Taurate CaCl₂ Sole

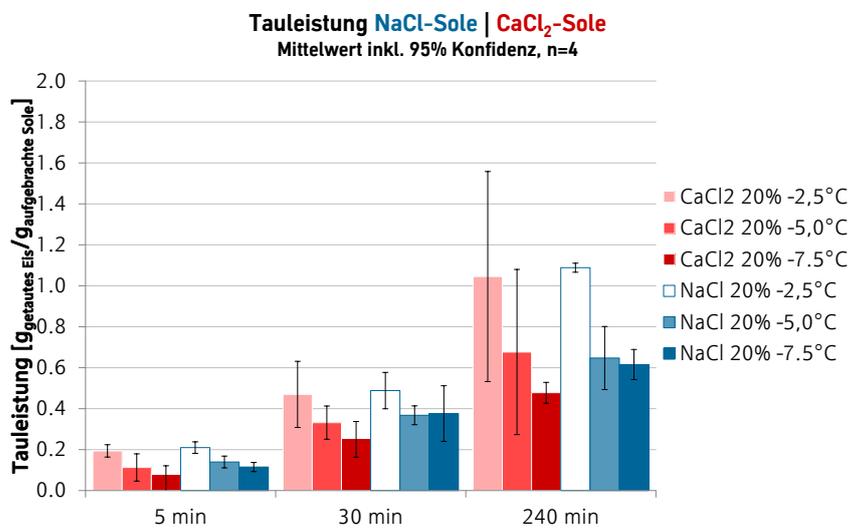


Abbildung 21 Taurleistung - Vergleich von NaCl-Sole und CaCl₂-Sole

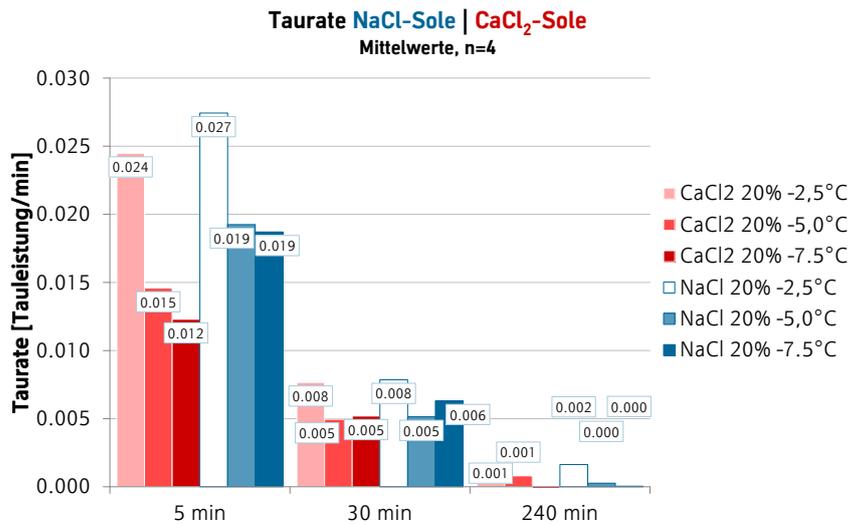


Abbildung 22 Taurate - Vergleich von NaCl-Sole und CaCl₂-Sole

5. Rieselfähigkeit

5.1 Hintergrund

Durch die Anfeuchtung des Streusalzes wird eine Klumpenbildung verursacht, die sich in einer Beeinträchtigung der Rieselfähigkeit in den Salzsilos auswirkt. Dadurch werden die Befüllung der Streufahrzeuge und das Ausbringen erschwert. In diesem Kapitel sollen die Ursachen der Verklumpung ermittelt werden, wofür folgende Untersuchungen angestellt wurden:

- Bestimmung des Mikroklimas im Salzsilo über eine zeitlich längerfristige Periode
- Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalt zu verschiedenen Zeitpunkten der Logistikkette
- Entwicklung der Rieselfähigkeit im Verlauf einer Trocken-Feucht-Trocken Periode

5.2 Bestimmung des Mikroklimas im Salzsilo

Im Juli 2014 wurden in 2 baugleichen Salzsilos Datalogger mit Temperatur- bzw. Luftfeuchtigkeitssensoren angebracht. Davon war ein Salzsilo teilweise befüllt und eines beinhaltete kein Streusalz. Um die Unterschiede der beiden Befüllungsstände untersuchen zu können wurden die beiden Werte Temperatur und Luftfeuchtigkeit laufend aufgezeichnet. Weiters soll beobachtet werden, ob zeitlich beschränkte Extremphänomene beobachtet werden können.

Die Datalogger wurden jeweils 4 m unter der oberen Öffnung an einem Stahlseil angebracht, wie es in Abbildung 23 (rechts) dargestellt ist. Das Messintervall wurde auf 15 min festgesetzt.



Abbildung 23 Baugleiche Salzsilos (links) mit jeweils einem Datalogger(rechts) zur Aufzeichnung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit

5.2.1 Ergebnisse

Abbildung 24 und Abbildung 25 zeigen den Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsverlauf der beiden unterschiedlich befüllten Salzsilos. Dabei kann man erkennen, dass keine signifikanten Temperaturunterschiede feststellen zu sind. Weiters erkennt man am Luftfeuchtigkeitsverlauf, dass die Werte im befüllten Silo leicht geringere Schwankungen aufweisen. Dies kann mit einer Feuchtigkeitsaufnahme des Salzes und somit einer Pufferwirkung zu tun haben. Eine weitere Ursache der größeren Schwankung könnte im größeren Luftvolumen des leeren Silos liegen. Ab September stimmen die Werte der Luftfeuchtigkeit nicht mehr überein. Da die Werte kurzfristig über 100 % Luftfeuchtigkeit gestiegen sind, kann hier nicht davon ausgegangen werden, dass es sich um korrekte Werte handelt. Das hoch korrosive Umfeld in den Salzsilos verursacht einen starken Angriff der Sensoren, weswegen sich diese Werte erklären lassen. Der Vergleich der beiden Datalogger-Daten war deswegen auch nur bis Ende September möglich, da die Daten aus dem leeren Silo aufgrund eines Defektes nach dem Winter nicht mehr in der vorgesehenen Weise ausgelesen werden können.

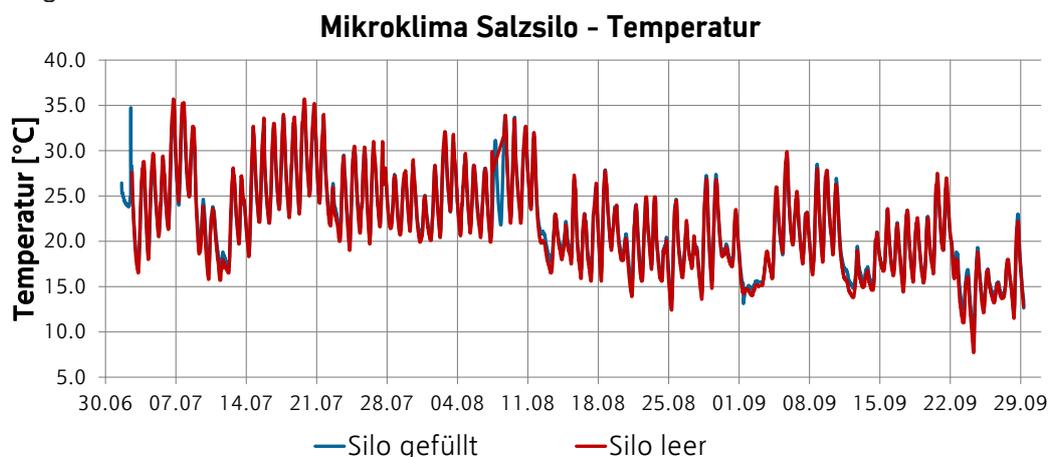


Abbildung 24 Mikroklima Salzsilo – Temperatur

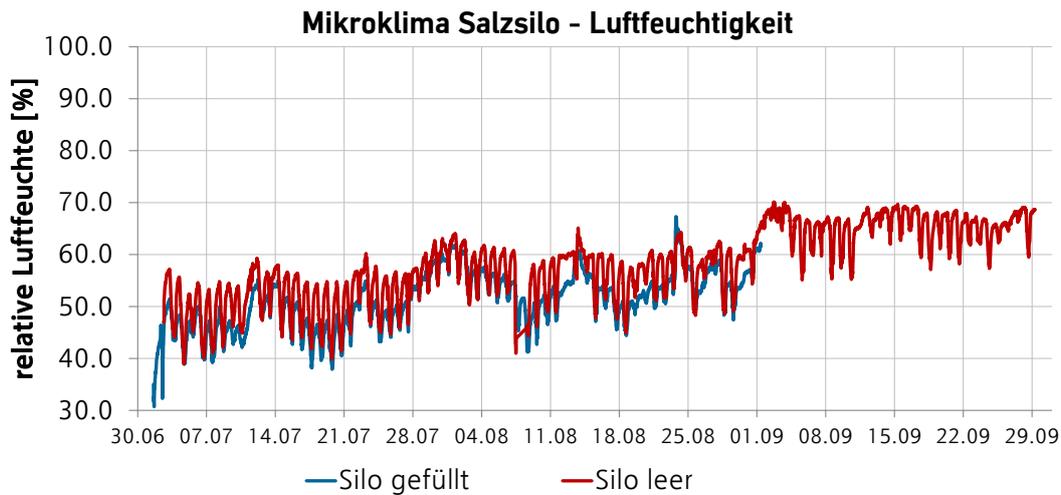


Abbildung 25 Mikroklima Salzsilo – Luftfeuchtigkeit

5.3 Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalt zu verschiedenen Zeitpunkten der Logistikkette

5.3.1 Hintergrund

Parallel zur Überwachung des Mikroklimas im Salzsilo wurden mehrere Salzproben gezogen, an denen der Feuchtigkeitsgehalt bestimmt werden soll. Dies soll im Zusammenhang mit den Mikroklimadaten Aufschluss darüber geben, inwiefern es Unterschiede am Wassergehalt an den verschiedenen Punkten der Logistikkette gibt bzw. ob es Veränderungen im Verlauf gibt. Deswegen wurden mehrere Stellen (Lagerhalle, LKW, Silo) ausgewählt, die untersucht werden sollen.

5.3.2 Materialien und Prüfmethode

Zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalts wurden NaCl-Salzproben der MA48 am 29.09.2014 an folgenden drei verschiedenen Stellen der Logistikkette gezogen:

- Salzlagerhalle am Albener Hafen (Laborcode: S194)
- LKW vor dem Einblasen in das Silo (Laborcode: S195)
- Silo nach dem Einblasen in das Silo (Laborcode: S196)

Am Tag der Probennahme gab es Bewölkung, jedoch keinen Regen. Die Tagesmaxima lagen bei $T_{\max}=19,3^{\circ}\text{C}$ und $T_{\min}=9,4^{\circ}\text{C}$. (Quelle: wetter.com, Hohe Warte)

Die Proben wurden in 5kg-Kübel gefüllt und gut verschlossen um eine Änderung des Feuchtigkeitsgehalts zu verhindern.

5.3.3 Prüfprogramm

Tabelle 7 zeigt den Prüfumfang der Wassergehaltsbestimmungen.

Tabelle 7 Prüfprogramm Wassergehaltsbestimmungen

Entnahmestelle	Bestimmung des Wassergehalts	Σ
Lagerhalle	6	6
LKW vor Einblasen	6	6
Silo nach Einblasen	6	6
SUMME		18

5.3.4 Prüfdurchführung und Auswertung

Im Labor wurden 100 g der Probe in eine Glasschale eingewogen und danach 24 h bei 110°C in einem belüfteten Wärmeschrank getrocknet. Danach wurde die Masse der Probe ermittelt und weitere 24 h getrocknet und wieder abgewogen. Nach 48 h war die Massenkonstanz erreicht und die Probe damit vollständig getrocknet.

5.3.5 Ergebnisse

Abbildung 26 zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen. Dabei erkennt man, dass der Feuchtigkeitsgehalt sich bei allen Entnahmestellen auf einem Wert zwischen 0,35 und 0,5 M-% befindet. Dies zeigt, dass es während des Transports und des Einblasprozesses zu keinem signifikanten Anstieg des Feuchtegehalts kommt. Die Ergebnisse liegen im Bereich der Schwankung. Abbildung 27 zeigt die Salzproben bei vollkommener Trockenheit, nachdem die Wassergehaltsbestimmungen abgeschlossen waren. Dabei kann man deutlich erkennen, dass es bei der Austrocknung zur Verklumpung kommt. Anhand dieser Ergebnisse gilt es weiter zu untersuchen, ob wie sowohl Befeuchtung, als auch Austrocknung auf die Rieselfähigkeit auswirkt.

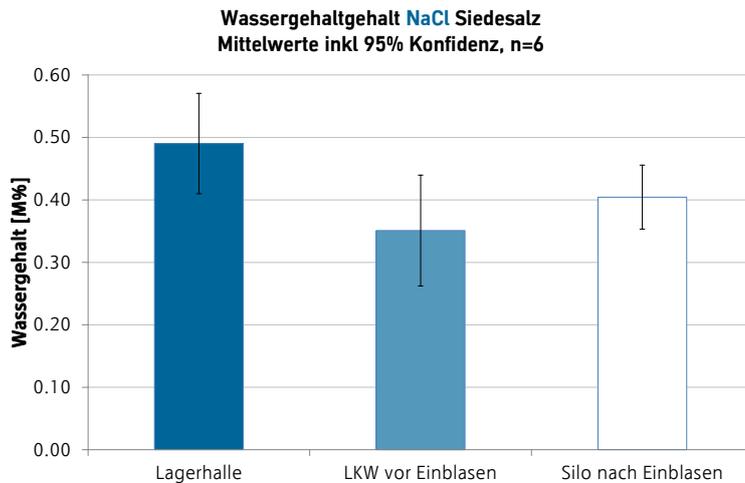


Abbildung 26 Wassergehaltsbestimmung zu verschiedenen Zeitpunkten der Logistikkette



Abbildung 27 Verklumpung der Probe nach Ofentrocknung

5.4 Rieselfähigkeit

5.4.1 Materialien und Prüfmethode

Zur Bewertung der Rieselfähigkeit wurden Versuche an der „Auslaufbox nach Sonntag“ durchgeführt. Dabei handelt es sich um eine Quaderbox mit einer zu öffnenden Seitenfläche. Durch schlagartiges Öffnen der Seitenfläche, läuft das zu prüfende Material solange aus der Box aus, bis sich eine stabile Ebene eingestellt hat. Dabei kann der Masseanteil des ausgeströmten Materials (Auslaufrate) und der Reibungswinkel der Ebene bestimmt werden. So kann der Reibungswinkel ermittelt werden, welcher sich an der eingestellten geneigten Fläche ablesen lässt.

5.4.2 Prüfprogramm

Tabelle 8 zeigt das Prüfprogramm der Rieselfähigkeitsversuche. Dabei werden die prinzipiellen Rieselfähigkeitswerte verschiedener Körnungen untersucht und in weiterer Folge die Veränderung der Rieselfähigkeit in einer Trocken-Feucht-Trocken Periode.

Die Versuche wurden sowohl an NaCl Steinsalz, als auch an NaCl Siedesalz durchgeführt.

Tabelle 8 Prüfprogramm Rieselfähigkeit

Taumittel	Bestimmung der Rieselfähigkeit			Σ
NaCl - 0,125 1,0	3			3
NaCl – 1,0 3,15	3			3
NaCl – 3,15 5,0	3			3
	Feuchtigkeitszustand			
	trocken	Feucht (0,5 M-%)	getrocknet	
NaCl Steinsalz 0,125 1,0	4	4	4	12
NaCl Siedesalz 0,125 1,0	3	3	3	9
	SUMME			30

5.5 Prüfprogramm und Auswertung

Abbildung 28 Auslaufbox nach Sonntag zeigt die Auslaufbox nach Sonntag in leerem Zustand bzw. während eines Versuches. Zur Bestimmung der Rieselfähigkeit wurde die zu prüfende Probe gesiebt und 12 Stunden bei 120°C getrocknet. Um die durch die Trocknung entstandene Klumpenbildung zu beseitigen, wird die Probe vor dem Einfüllen in die Auslaufbox nochmals gesiebt. Die Auslaufbox wird bis zum Rand befüllt und mit Hilfe einer Wasserwaage plan eingerichtet. Danach kann der Öffnungsvorgang betätigt werden, womit ein Teil des befüllten Materials ausrieseln wird. Das Verhältnis der Masse des ausgelaufenen Materials in Bezug auf die Ausgangsmasse wird als Ausflussrate [M-%] dargestellt. Zusätzlich kann der innere Reibungswinkel [°] bestimmt werden, der als Maß der Kohäsion gilt.

Um die Versuche der Trocken-Feucht-Trocken Periode durchführen zu können, werden die offengetrockneten und klumpenfreien Proben in einem großflächigen Gefäß verteilt und mit einer Sprühflasche mit Wasser benetzt. Dabei kann die gewünschte Feuchtigkeit (0,5 M-%) exakt dosiert werden. Die Probe wird in weiterer Folge noch gut durchmischt und kann danach geprüft werden. Um die Veränderung bei einer weiteren Trocknung der Probe untersuchen zu können, wird diese Auslaufbox nach dem Versuch wieder mit dem feuchten Material befüllt und bei 60°C für 12 h getrocknet. So kann der Trocknungsvorgang im Silo simuliert werden.



Abbildung 28 Auslaufbox nach Sonntag

5.6 Ergebnisse

Abbildung 29 zeigt die Ergebnisse der Rieselfähigkeitbestimmungen im Vergleich von verschiedenen Körnungen. Dabei kann man erkennen, dass die groben Körnungen eine höhere Auslaufrate und somit eine bessere Rieselfähigkeit besitzen, als die kleinste Körnung.

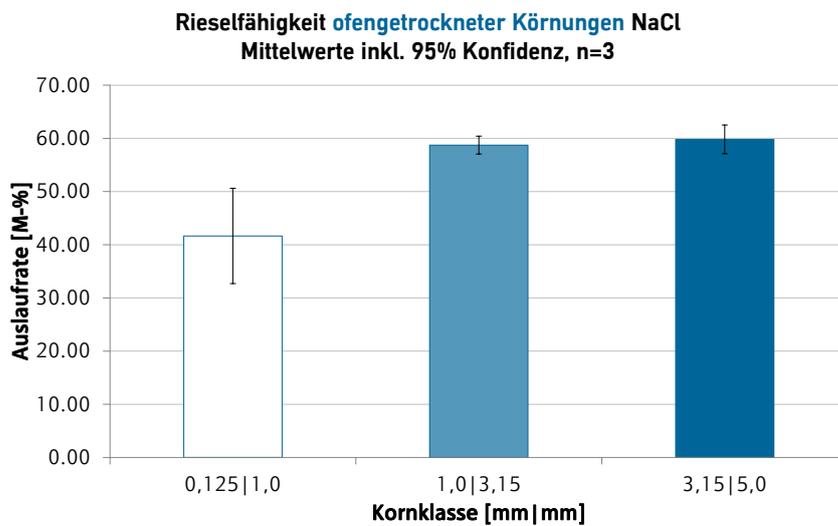


Abbildung 29 Vergleich der Rieselfähigkeit von verschiedenen Kornklassen



Abbildung 30 Auslaufbox – Siedesalz feucht mit 0,5 m% Wasser

Die Messungen der Rieselfähigkeit anhand der Trocken-Feucht-Trocken Perioden zeigen, dass trockenes Salz (Siedesalz) eine Auslaufrate und somit Rieselfähigkeit von 64 M-% zeigt. Bei Steinsalz liegt die Auslaufrate bei 50 M-%. Bei feuchtem Salz (0,5 M-%) sinkt die Rieselfähigkeit auf 42 M-% (Siedesalz) und 25 M-% (Steinsalz). Eine wiederholte Trocknung des Salzes führt zu einer starken Verringerung der Rieselfähigkeit auf 0 M-% (Steinsalz) und 5 M-% (Siedesalz). Eine hohe Auslaufrate und ein niedriger Reibungswinkel würden eine sehr gute Rieselfähigkeit bedeuten. Somit ist zu erkennen, dass sich die Werte (sinkende Auslaufrate / steigender Reibungswinkel) im Zuge der Trocken-Feucht-Trocken Periode sukzessive verschlechtern.

**Entwicklung der Rieselfähigkeit für NaCl
Mittelwerte inkl. 95% Konfidenz**

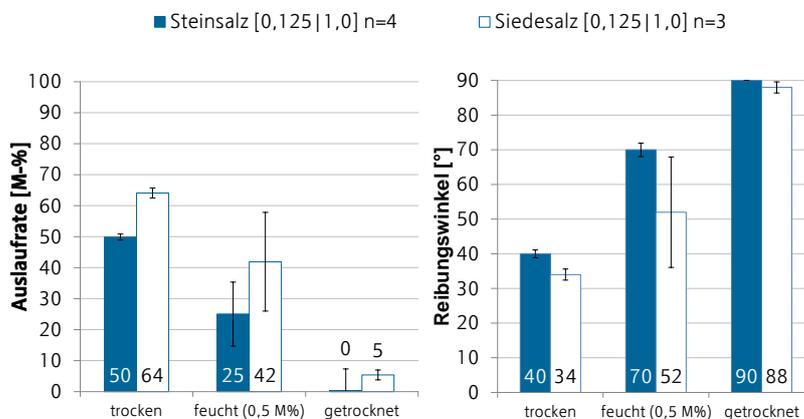


Abbildung 31 Entwicklung der Rieselfähigkeit im Verlauf einer Trocken-Feucht-Trocken Periode

Abbildung 32 zeigt den Zusatzversuch nach Trocknung in der Auslaufbox. Dabei kann man erkennen, dass es nahezu kein auslaufendes Material gibt. Legt man diese Ergebnisse auf ein Salzsilo um, dann kann man erkennen, dass bei einer langfristigen Lagerung ohne Bewegung und zusätzlichem Austrocknen eine sehr kompakte Lagerung des Salzes erfolgen kann.



Abbildung 32 Auslaufbox Siedesalz in der Box getrocknet

6. Umweltauswirkungen

Die umfangreiche Literaturstudie zeigt, dass es kaum möglich scheint ein Taumittel zu finden, welches keine Beeinträchtigungen der Umwelt zeigt. Ziel ist es, Grenzwerte festzulegen, die einerseits eine effektive Streuung erlauben und gleichzeitig die Umwelt so minimal wie möglich belasten. Diese Grenzwerte zu finden, stellt sich allerdings als komplexes Unterfangen dar. Aufgrund der enormen Anzahl an Parameter gibt es auch in der Fachliteratur wenige quantitative Kenn- und Grenzwerte, die es erlauben würden Taumittel der verschiedenen chemischen Zusammensetzungen miteinander zu vergleichen und gemeinsam zu bewerten.

Die Forschungen der Umweltauswirkungen von Taumittel sind international betrachtet noch lange nicht abgeschlossen: Interessant wäre zum Beispiel abzuklären, ob die wechselnde Anwendung verschiedener Mittel eine positive Auswirkung hat (Gartiser & Reuther, 2003), da immer davon ausgegangen wird, dass ausschließlich ein Taumittel über längeren Zeitraum Anwendung findet.

Besonderes Augenmerk sollte man den bereits entwickelten und angewandten Umweltzertifikaten von anderen Ländern schenken. Diese sind im Kapitel 6.3 „Vorhandene Zertifizierungen für Taumittel in anderen Ländern“ zusammengefasst.

6.1 Literatur

In Tabelle 9 ist aus Dokumentationsgründen jene Literatur aufgelistet, welche für die Studie analysiert worden sind. Dabei wurde aber nicht jedes Exemplar für das

Thema Umweltauswirkungen von Taumitteln als relevant eingestuft und ist deswegen eventuell in den Quellenangaben des gesamten Dokuments nicht enthalten.

Tabelle 9 Untersuchte Literatur

Autor	Titel	Jahr
Brod	Langzeitwirkung von Streusalz auf die Umwelt. Bundesanstalt für Straßenwesen, S. 165, Bergisch Gladbach 1993	1993
Chang	Effectiveness of street sweeping and washing for controlling ambient TSP. umwelt/studien/index.html	2004
Durth, Hanke, Levin	Wirksamkeit des Strassenwinterdienstes auf die Verkehrssicherheit und die Wirtschaftlichkeit des Verkehrsablaufes. Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 550. Bad Godesberg 1989	1989
Fachhochschule Münster	ESOG Einleitung des von Straßen abfließenden Oberflächenwassers in Gewässer	2006
Flachberger	Beurteilung von Auftausalzqualitäten. Euro Kommunal Spezial. S 8	2007
Forum Rohstoffe	Richtlinie Streusplitt.	2007
Galuszka, Migaszewski, Podlaski, Dolegowska, Michalik	The influence of chloride deicers on mineral nutrition and the health status of roadside trees in the city of Kielce, Poland	2010
Gartiser, Gensch	Machbarkeitsstudie zur Formulierung von Anforderungen für ein neues Umweltzeichen für Enteisungsmittel für Straßen und Wege, in Anlehnung an DIN EN ISO 14024. S 121 Hrsg. Umweltbundesamt Deutschland 2003	2003
Gehlen, Lowke, Milachowski	Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstandes von Beton mit dem modifizierten CDF-Verfahren (XF2) Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen	2011
Gertler	A case study of the impact of Winter road sand/salt and street sweeping on road dust reentrainment. Atmospheric Environment, 2006	2006
Goodrich, Koski, Jacobi	Condition of Soils and Vegetation Along Roads Treated with Magnesium Chloride for Dust Suppression	2008
Hammer	Gutachten über die voraussichtliche Tausalzbelastung der Ohre durch Versickerung/ Ableitung von Straßenabwässern im Zusammenhang mit dem Lückenschluss der Bab 14	2010
Hautala, Rekilä, Tarhanen, Ruuskanen	Deposition of motor vehicle emissions and winter maintenance along roadside assessed by snow analysis	1993

Kainz, Peintner, Stark	Heißes Thema: Eis und Schnee. Wie Sie Straßen und Gehsteige im Winter benutzbar und sicher halten, ohne die Umwelt unnötig zu belasten. Hrsg. „die Umweltberatung, Fachbereich Wasser, S 14. Verband österreichischer Umweltberatungsstellen, Wien 2003	2003
Kantamaneni	The measurement of roadway PM10 emission rates using atmospheric tracer ratio techniques. Atmospheric Environment, 30, p. 4209-4223. 1996	1996
Ketzel	Estimation and validation of PM2.5/PM10 exhaust and non-exhaust emission factors for street pollution modeling. Unpublished document of the National Environmental Research Institute of Denmark, 2005	2005
Kirchmaier, Blab, Jankowski, Puxbaum, Neuberger	Technisch-wirtschaftliche sowie medizinisch-hygienische Beurteilung des abstumpfenden Streumittelinsatzes im kommunalen Winterdienst	2009
Kuhns	Vehicle-based road dust emission measurement - Part II: Effect of precipitation, wintertime road sanding, and street sweepers on inferred PM10 emission potentials from paved and unpaved roads. Atmospheric Environment, 37, 4573-4582. 2003	2003
Kupiainen, Tervahattu, Räsänen	Experimental studies about the impact of traction sand on urban road dust composition. The Science of the Total Environment 308, 175-184. 2003	2003
Lenschow	Same ideas about the sources of PM10 Atmospheric Environment, 35, 23-33. 2001	2001
Lundmark, Olofsson	Chloride Deposition and Distribution in Soils Along a Deiced Highway - Assessment Using Different Methods of Measurement	2006
Matthiessen	Gutachten über die wahrscheinlichen Auswirkungen der Verwendung des Streusalz-Additivs Safecote S2 auf Ströme und Flüsse im Vereinigten Königreich	2006
Moritz	Umweltauswirkungen abstumpfender Streustoffe im Winterdienst. Literaturanalyse. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Verkehrstechnik V66. 85 S. Bergisch Gladbach 1999	1999
Omstedt	A model for vehicle induced non-tailpipe emissions of particles along Swedish roads. Atmospheric Environment 39 6088-6097. 2005	2005
Puxbaum	A dual site study of PM2.5 and PM10 aerosol chemistry in the larger region of Vienna, Austria, Atmospheric Environment 38, 3949-3958. 2004	2004
Ramakrishna, Viraraghavan	Environmental Impact of chemical Salts - a Review	2004
Ruess	Salz- oder Splittstreuung im Winterdienst. Optimierung der Kosten-/Nutzenverhältnisse unter Berücksichtigung von umwelt- und	1998

	sicherheitsrelevanten Faktoren. S. 84. RUS AG, Raum - Umwelt - Sicherheit, Haselstrasse 1, CH-5401 Baden 1998	
Ryser - Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern	Untersuchungsergebnisse Safecote	2008
TU Wien	Institut für Verkehrswissenschaften, Forschungsbericht - Optimierung der Feuchtsalzstreuung, Wien 2011	2011
Tegethof	Straßenseitige Belastungen des Grundwassers. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Verkehrstechnik Heft V60, S34. Bergisch Gladbach 1998	1998
Wresowar	M.: Studie über die Auswirkungen stickstoffhaltiger Auftaumittel.	2000

6.2 Einteilung der Taumittel nach chemischer Zusammensetzung

Für Taumittel können in folgender Weise ihrer chemischen Zusammensetzung entsprechend eingeteilt werden. Dies ist insofern relevant, da die chemischen Bestandteile die Auswirkungen auf die Umwelt bestimmen:

6.2.1 Chlorid-haltige Taumittel

- Meersalz: NaCl inkl. Salze von Mangan, Kalium und Magnesium
- Steinsalz: NaCl
- Siedesalz: NaCl
- NaCl
- CaCl₂
- MgCl₂
- Kaliumchlorid

Nach RVS 12.04.16 muss der Sulfatgehalt bei NaCl, CaCl₂ und MgCl₂ gemäß ISO 2480 ≤ 10000 mg/kg sein.

6.2.2 Sulfat-haltige Taumittel

- Magnesiumsulfat
- Calciumsulfat
- Kaliumsulfat

- Ammoniumsulfat

6.2.3 Alkohole

- Diethylenglykol

- Ethylen- und Propylen-Glykol

6.2.4 Acetate

- Calciummagnesiumacetat: Calciumacetat, Magnesiumacetat, Wasser

- Kaliumacetat

6.2.5 Stickstoff-haltige Taumittel

- Harnstoffe

- Plantabon-Eisex: Harnstoff und Ammonsulfat und Ammoniumphosphat

- Polar-Eis-Stop: Ammonsulfat

- Polar-Top-Grip: Blähton überzogen mit technischem Harnstoff

- Leca-Tau: mit Harnstoff versetzt

- Ökotau: Blähton mit Harnstoff

6.2.6 Formiate

- Kaliumformiat

- Natriumformiat

6.2.7 Sonstige

- Kaliumcarbonat

- Anti-Gliss: gebrannter Tonschiefer

Tabelle 10 Einteilung der Taumittel nach deren chemischen Inhaltsstoffen

Produkt	Produkt =chem. Bezeichnung	Chlorid	Sulfat	Alkohole	Acetate	Stickstoff	Formiate	Carbonat	evtl. Spuren von
NaCl									
Meersalz		x							Unlösliche Anteile Antibackmittel
Siedesalz		x							Unlösliche Anteile Antibackmittel
Steinsalz		x							Unlösliche Anteile Antibackmittel
CaCl ₂	x	x							
MgCl ₂	x	x							
Kaliumchlorid	x	x							
Magnesiumsulfat	x		x						
Calciumsulfat	x		x						
Kaliumsulfat	x		x						
Ammoniumsulfat	x		x						
Propylenglykol	x			x					
Diethylenglykol	x			x					
Calciummagnesiumacetat	x				x				
Harnstoffe	x					x			
Kaliumacetat	x				x				
Kaliumformiat	x						x		
Natriumformiat	x						x		
Kaliumcarbonat	x							x	
Ethylenglykol	x			x					
Plantabon-Eisex	x					x			unlösliche Anteile
Polar-Eis-Stop						x			
Polar-Top-Grip						x			
Leca-Tau						x			Blähton

6.3 Vorhandene Zertifizierungen für Taumittel in anderen Ländern

6.3.1 Ecolabel for Ice-Combatting Agents

Das Nordeuropäische Umweltzeichen „Ecolabel for Ice-Combatting Agents“ zieht für dessen Zertifizierung folgende Kriterien heran:

- Schwermetalle

- Kein Bestandteil von verbotenen chemischen Stoffen
- Sauerstoffbedarf
- Chlorid- und Nährstoffgehalt
- Additive-Gehalt
- Effiziente Wirkungsweise
- Korrosive Wirkung

6.3.2 Nordischer Schwan ("Nordic Ecolabelling of De-icers," 2014)

1989 hat der nordische Ministerrat, bestehend aus den Ländern Norwegen, Dänemark, Island, Finnland und Schweden die Einführung eines freiwilligen Umweltzeichens beschlossen. Enteisungsmittel die das Umweltzeichen Nordischer Schwan erhalten, müssen eine Reihe von Umwelt-, Qualitäts- und Gesundheitsanforderungen erfüllen. Diese Anforderungen bestehen z.B. aus Grenzwerten von bzw. dem Verbot verschiedener Chemikalien und Schwermetalle.

Prinzipiell kann ein Produkt nur dieses Zeichen erhalten, wenn es eine auftauende Wirkung auf Eis und Schnee auf ebenen Flächen besitzt oder die Aufrechterhaltung der Reibung von beispielsweise Start- und Landebahnen hat. Es werden sowohl flüssige als auch feste Taumittel bewertet. Abstumpfende Streumittel, wie Sand und Kies, werden nicht beurteilt.

Anforderungen:

- **R1:** Angabe von **Informationen** über das Produkt
- **R2: Produktklassifikation** muss vorliegen
- **R3: Biologische Abbaubarkeit** muss nachgewiesen werden nach zumindest eines der folgenden Verfahren
 - Prüfverfahren OECD 301 A, OECD 301 E, ISO 7827, OECD 302 A, ISO 9887, OECD 302 B oder ISO 9888: Verfall von mind. 70% im Laufe von 28 Tagen
 - Prüfverfahren OECD 301 B, ISO 9439, OECD 301 C, OECD 302 C, OECD 301 E, ISO 10707, OECD 301 F, ISO 9408, ISO 10708 oder ISO 14593: Verfall von mind. 60% im Laufe von 28 Tagen
 - Prüfverfahren OECD 303 oder ISO 11733: Verfall von mind. 80% im Laufe von 28 Tagen
- **R4:** der **Sauerstoffbedarf** des Enteisungsmittels ist zu erfassen und festzuhalten. Die Durchführung der dazu notwendigen Tests muss von einer Prüfstelle nach ISO 6060 durchgeführt werden, wobei der chemische Sauerstoffbedarf oder der theoretische Sauerstoffbedarf ermittelt werden muss.

- **R5:** Der **Sauerstoffbedarf** während des Abbaus darf bei -5°C nicht 5 g O₂/m² übersteigen.
- **R6:** Informationen über die **chemische Zusammensetzung** müssen bekannt sein
- **R7: Ökotoxizität:** Nur Produkte die folgende Anforderungen betreffen dürfen 0,1M% und 0,2% total nicht überschreiten:
 - Die Substanz darf nicht IC₅₀ (für Algen mit Prüfverfahren OECD 201), EC₅₀ (für Daphnien mit Prüfverfahren OECD 202) oder LC₅₀ (für Fische mit Prüfverfahren OECD 203) Werte besitzen.
 - Wenn die vorher genannten LC₅₀, EC₅₀ und LC₅₀-Werte zwischen 1-100 mg/l liegen, muss der Stoff leicht abbaubar sein (nach Prüfverfahren OECD 301A-E) oder andere bestimmte Anforderungen erfüllen.
 - Es ist ausreichend 2 von den 3 genannten Anforderungen vorzulegen bzw. nachzuweisen.
 - Wenn weitere Toxizitätsdaten als von den bereits genannten Gruppen vorhanden sind, so muss der Wert mit der höchsten Toxizität angegeben werden.
- **R8: Chloridione** dürfen nicht mehr als 1M-% übersteigen.
- **R9: Schwermetalle** dürfen folgende totalen Grenzwerte nicht überschreiten:
 - Arsen 10 mg/kg TS (=Trockensubstanz)
 - Cadmium 0,8 mg/kg TS
 - Chrom 40 mg/kg TS
 - Kupfer 40 mg/kg TS
 - Blei 40 mg/kg TS
 - Quecksilber 0,8 mg/kg TS
 - Nickel 30 mg/kg TS
 - Zink 30 mg/kg TS
- **R10: Nährstoffe** wie Stickstoff und Phosphor dürfen 1 M-% nicht überschreiten
- **R11:** Enteisungsmittel dürfen gewisse Grenzwerte an **korrosiver Wirkung** nicht überschreiten:
 - Aluminium 0,3 mg/cm² für 24h

- Stahl 0,8 mg/cm² für 24h
- **R12: Die Effizienz der Enteisungsmittel** muss entweder von einem Labortest oder „Nutzertest“ nachgewiesen werden.
- **R13: Eine Gebrauchsanweisung** des Produkts muss vorhanden sein. Dabei muss die Dosis (in Abhängigkeit von der Wetterlage und des Umgebungsbedingungen) angegeben werden, die die Erwartung an das Produkt erfüllt.
- **R14: Recyclingsysteme:** Nationale Gesetze, Regeln und Vereinbarungen mit dem Gewerbe über Anlagen zum Recycling von Produkten bzw. Verpackungen müssen in den nordischen Ländern, in dem die mit dem Umweltzeichen gekennzeichnete Produkte verkauft werden, erfüllt werden.
- **Weitere Anforderungen:**
 - Die Anforderungen von den jeweiligen Behörden müssen auch erfüllt werden. Wenn dies nicht der Fall ist, kann die Lizenz für das Tragen des Umweltzeichens wieder entzogen werden.
 - Es werden Kontrollmaßnahmen (z.B. Kontrollbesuche) durchgeführt, ob die Produkte weiterhin den Anforderungen entsprechen.
 - Prüfstellen müssen kompetent und unparteiisch sein und gewisse Anforderungen erfüllen.
- **Zukünftige Anforderungen** können strengere Grenzwerte für Schwermetalle und Nährstoffe sein und höhere Bedingungen an die Effizienz der Enteisungsmittel.

7. Wirtschaftlichkeit Eignungskriterien auftauende Streumittel

7.1 Aspekte der technischen Bewertung und Eignung

Generell kann eine Entscheidung als Wahl zwischen möglichen Alternativen spontan, emotional, zufällig oder rational erfolgen. Gemäß den gesetzlich definierten Grundsätzen der Sparsamkeit, Wirtschaftlichkeit und Zweckmäßigkeit ist jedoch für Beschaffungsvorgänge der öffentlichen Verwaltung nur eine rationale, nachvollziehbare Entscheidung ordnungsgemäß bzw. rechtmäßig (Art. 126b Abs. 5 B-VG). Ziel dieses Kapitels ist es, die im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelten bzw. dargestellten Eignungskriterien für auftauende Streumittel in Hinblick auf die technische Eignung sowie eine mögliche Entscheidungsfindung systematisch zusammenzufassen. Die im vorliegenden Bericht enthaltenen Eignungskriterien und Versuchsergebnisse zu den derzeit gebräuchlichsten auftauenden Streumitteln NaCl, CaCl₂ und MgCl₂ entsprechen dem Stand von Wissenschaft und Technik. Sie decken wesentliche Aspekte einer fundierten Entscheidung im üblichen Winterdiensteinsatz ab, erheben jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit, zumal je nach Einsatzgebiet

auch zusätzliche oder andere Kriterien (Ausbringbarkeit, Griffigkeit, Grenzwerte, Korrosion etc.) maßgebend sein können.

7.1.1 Rieselfähigkeit

Die Rieselfähigkeit kann als Maßstab für die Qualität bei der Anlieferung sowie der Lagerfähigkeit dienen und ist wesentlich von der Feuchtigkeit abhängig. Kommt es aufgrund ungünstiger Eigenschaften oder Lagerungsbedingungen zu Klumpenbildung, werden die Befüllung der Streufahrzeuge und das Ausbringen erheblich erschwert.

Die Bestimmung der Rieselfähigkeit kann für herkömmliche trockene Streumittel (z.B. Steinsalz/Siedesalz) auf Basis der Auslaufrate (Auslaufbox nach Sonntag) ermittelt werden.

Gemäß dem Stand der Erkenntnisse wird eine Auslaufrate von mindestens 40% bei Lieferung unter Einhaltung eines Feuchtegehalts kleiner 0,5% empfohlen.

Bei Einsatz von Antibackmitteln sind die entsprechenden Grenzwerte der RVS einzuhalten.

7.1.2 Gefrierpunktverlauf

Der Gefrierpunktverlauf zeigt den charakteristischen Zusammenhang von (Sole-)Konzentration und zugehörigem Gefrierpunkt bis zum Eutektischen Punkt bzw. minimalen Gefrierpunkt für das auftauende Streumittel. Er gibt zudem Aufschluss über die grundsätzliche Eignung als Taumittel je nach Temperaturbereich sowie die (theoretisch) taubare Menge an Eis und Schnee bei langer Einwirkung.

Für einen effizienten Winterdienst auf Straßen in Österreich vor allem in Lagen über 500 m Seehöhe wird empfohlen, auftauende Streumittel mit einem minimalen Gefrierpunkt kleiner als -15°C bzw. darunter von zumindest kleiner $-10,0^{\circ}\text{C}$ zur Vermeidung technischer Probleme bei tiefen Temperaturen zu verwenden.

7.1.3 Tauleistung fest massebezogen

Die massebezogene Tauleistung fester Auftaumittel gibt vereinfacht an, welche Menge Eis bei konstanter Temperatur in einer festgelegten Zeit unter standardisierten Bedingungen getaut werden kann. Dieses Kriterium ist für die Einsatzpraxis insofern von entscheidender Bedeutung, als damit die Dauer bis zum vollständigen Eintritt der erwarteten Wirkung praxisnah beschrieben werden kann. Dazu wird in den Versuchen die Tauleistung nach 5 Minuten, 30 Minuten und 240 Minuten jeweils bei $-2,5^{\circ}\text{C}$, $-5,0^{\circ}\text{C}$, $-7,5^{\circ}\text{C}$ und $-10,0^{\circ}\text{C}$ vierfach bestimmt, wodurch das übliche Anwendungsspektrum im Winterdienst vollständig abbildbar ist. Für die Anwendungspraxis wird empfohlen, die nachstehend angeführten Mittelwerte von Stein- bzw. Siedesalz ohne spezifische Berücksichtigung der Korngröße als Referenz und Bewertungshintergrund für Vergleiche zu verwenden.

Tabelle 11 Empfehlung mittlere Referenzwerte Tauleistung fest massebezogen [g/g] (Stein-/Siedesalz)

Dauer/Temperatur	-2,5°C	-5,0°C	-7,5°C	-10,0°C
5 min	0,8	0,7	0,5	0,3
30 min	4,1	3,1	2,4	1,7
240 min	11,2	8,6	6,5	4,9

7.1.4 Tauleistung flüssig massebezogen

Die massebezogene Tauleistung flüssiger Auftaumittel gibt vereinfacht an, welche Menge Eis mit einer Einheit eines flüssigen Taumittels bzw. einer Sole definierter Konzentration bei konstanter Temperatur in einer festgelegten Zeit unter standardisierten Bedingungen getaut werden kann. Dieses Kriterium gewinnt durch den verstärkten Einsatz von Streuungen mit erhöhtem Soleanteil sowie reiner Solestreuung stark an Bedeutung und erlaubt eine praxisnahe Beschreibung der sich ergebenden Wirkungen. Dazu wird in den Versuchen die Tauleistung nach 5 Minuten, 30 Minuten und 240 Minuten jeweils bei -2,5°C, -5,0°C und -7,5°C vierfach bestimmt, wodurch das übliche Anwendungsspektrum flüssiger Auftaumittel im Winterdienst gesichert abbildbar ist. Für die Anwendungspraxis wird empfohlen, die nachstehend angeführten Mittelwerte von einer NaCl - Sole mit 20% Konzentration (Stein- bzw. Siedesalz) für den Standardfall sowie CaCl₂ – Sole mit 30% Konzentration bei erhöhten Anforderungen als Referenz und Bewertungshintergrund für Vergleiche zu verwenden.

Tabelle 12 Empfehlung mittlere Referenzwerte Tauleistung flüssig massebezogen [g/g] (20% NaCl; 30% CaCl₂)

Dauer/ Temperatur	-2,5°C		-5,0°C		-7,5°C	
	NaCl	CaCl ₂	NaCl	CaCl ₂	NaCl	CaCl ₂
5 min	0,2	0,4	0,1	0,3	0,1	0,3
30 min	0,5	0,9	0,4	0,8	0,3	0,7
240 min	1,1	1,6	0,6	1,4	0,5	1,2

7.2 Zuschlagskriterium Kosten je Einheit nach Gefrierpunkt

7.2.1 Reine Streumittelkosten, Gefrierpunkt und Kosten

Für die Vergleichbarkeit der Kosten ist es in einem ersten Schritt notwendig, die auf die tauwirksame Substanz bezogenen Kosten in Abhängigkeit von der Reinheit der gelieferten Streumittel sowie Feuchtegehalt zu berechnen. Dazu werden die Einheitskosten des gelieferten nicht vollständig reinen, feuchten Taumittels durch den Prozentsatz der Stoffreinheit gemäß Formel 5 dividiert.

Formel 5 Reine Streumittelkosten

$$P_{TMfest}(t) = \frac{P_{TMroh}}{S_{Rein}}$$

S_{Rein} Stoffreinheit [%]

P_{TMroh} Einheitspreis nicht vollständig reines, feuchtes Taumittels [€/t]

P_{TMfest} Einheitspreis des reinen Taumittels [€/t]

Um die notwendige Konzentration bei demselben Gefrierpunkt (z.B. -10°C) mit den untersuchten auftauenden Streumitteln zu erzielen, ist gemäß dem Gefrierpunkts-Diagramm bzw. den zugehörigen Formeln in Abbildung 33 eine jeweils unterschiedliche Konzentration erforderlich. Aus Einheitspreis des reinen Taumittels mal der erforderlichen Konzentration ergeben sich die gesuchten Kosten je Einheit bei vergleichbarem Gefrierpunkt als Zuschlagskriterium. Zur besseren Vergleichbarkeit kann der jeweilige Einheitspreis bei gleichem Gefrierpunkt eines Bieters durch den Wert des jeweiligen Bestbieters dividiert werden, um so die relativen Mehrkosten zum Bestbieter darzustellen.

Formel 6 Zuschlagskriterium Kosten/Einheit bei gleichem Gefrierpunkt

$$P_{TMzuschlag}(t) = P_{TMfest} * X_{-Y^{\circ}C}$$

X-Y°C. Konzentration für gegebenen Gefrierpunkt [%]

P_{TMzuschlag} Einheitspreis bei gleichem Gefrierpunkt [€/t]

P_{TMfest} Einheitspreis des reinen Taumittels [€/t]

Konzentration (x) → Gefrierpunkt (y):

NaCl: $y = -0,00086x^3 + 0,01548x^2 - 0,76814x$
 Eutektikum: 23,6%(x) bei - 22,5°C (y)

CaCl₂: $y = -0,00150x^3 + 0,01311x^2 - 0,64005x$
 Eutektikum: 31,2%(x) bei - 55,0°C (y)

MgCl₂: $y = -0,00170x^3 - 0,00789x^2 - 0,64879x$
 Eutektikum: 21,3%(x) bei - 34,0°C (y)

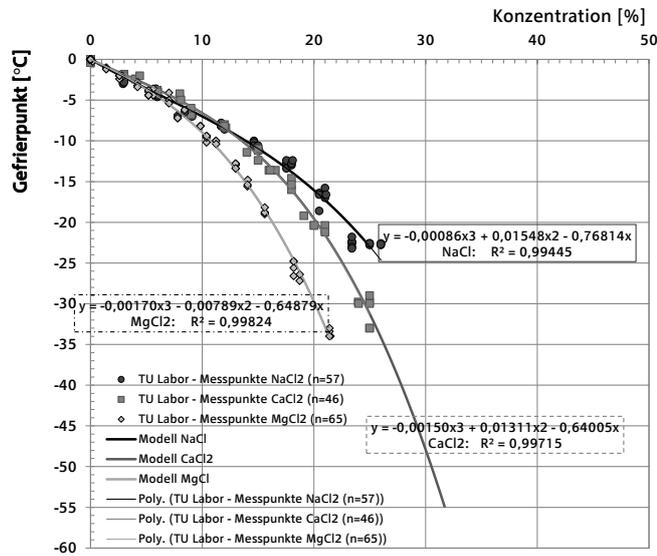
Gefrierpunkt (y) → Konzentration (x):

NaCl: $x = 0,00128y^3 + 0,01669y^2 - 1,35272y$
 Eutektikum: 23,6%(x) bei - 22,5°C (y)

CaCl₂: $x = -0,00062y^3 - 0,05163y^2 - 1,80312y$
 Eutektikum: 31,2%(x) bei - 55,0°C (y)

MgCl₂: $x = -0,00063y^3 - 0,04645y^2 - 1,48953y$
 Eutektikum: 21,3%(x) bei - 34,0°C (y)

**Gefrierkurven nach Konzentration*:
 NaCl, CaCl₂, MgCl₂**



*Bei Konzentration über eutektischem Punkt uneinheitliche Ergebnisse

Abbildung 33 Konzentration VS Gefrierpunkt für NaCl, CaCl₂ und MgCl₂

7.2.2 Beispiel Kosten je Einheit nach Gefrierpunkt

Zur Berechnung herangezogene Materialien/Kennwerte

- **NaCl fest** (Probe Anbieter XY)

- Angenommener Preis: 85,0 €/Tonne Salz bzw. 0,5 €/1.000 l Wasser
- Reinheit: 97% (inkl. Feuchtegehalt ≤ 0,5%)
- Rieselfähigkeit bei Anlieferung: 46% (Mittelwert 3 Versuche)
- Eutektikum: -22,5°C bei 23,6% Konzentration
- Reine Streumittelkosten: $85,0/0,97 = 87,63$ €/Tonne
- Konzentration -15°C: $0,00128*(-15)^3 + 0,01669*(-15)^2 - 1,35272*(-15) = 19,73\%$
- Kosten bei Gefrierpunkt -15°C: $87,63*0,1973\% + 0,5*(1,0 - 0,1973\%) = 17,69$ €/t

Bsp. mögliche Beurteilung: Das angebotene Streumittel erfüllt die Anforderungen hinsichtlich Reinheit und Feuchtigkeit bei Anlieferung und ist frei von unzulässigen Verunreinigungen. Die Rieselfähigkeit bei Anlieferung entspricht ebenfalls den Anforderungen. Unter Berücksichtigung der Reinheit und Feuchtigkeit liegen die reinen Streumittelkosten bei 87,63 €/Tonne, die Kosten

für den gewählten Referenzgefrierpunkt von -15°C zum Vergleich mit anderen tauenden Streumitteln liegen bei 17,69 €/Tonne.

7.3 Zuschlagskriterium monetäre Tauleistung und Taurate

7.3.1 Monetäre Tauleistung und Taurate – Allgemein

Zur Berücksichtigung der Kosten der Streumittel bei vergleichbarer Einwirkzeit und Umgebungstemperatur können die Tauleistung und Taurate in Relation zu den Einheitskosten des Taumittels gesetzt werden. Daraus ergeben sich die monetäre Tauleistung als vergleichbare Kosten um ein Gramm Eis nach einer bestimmten Einwirkzeit und Umgebungstemperatur tauen zu können. Die monetäre Taurate gibt im Verhältnis dazu an, welche Tauwirkung pro Minute nach einer bestimmten Zeit je investierten Euro erzielbar ist.

Formel 7 Monetäre Tauleistung fester Taumittel

$$TL_{\text{€},\text{fest}}(t) = \frac{M_{\text{Sole}}(t)[\text{g}]}{M_{\text{TMfest}}[\text{g}] \cdot P_{\text{TMfest}} \left[\frac{\text{€ct}}{\text{g}} \right]}$$

$TL_{\text{€},\text{fest}}$ Monetäre Tauleistung fester Taumittel [g/€ct] in Abhängigkeit der Einwirkdauer t

MS_{ole} abgegossene (getaute) Sole [g] in Abhängigkeit der Einwirkdauer t

MTM_{fest} aufgebrauchte Taumittelmenge [g]

PTM_{fest} Einheitspreis des reinen Taumittels [€ct/g]

Formel 8 Monetäre Tauleistung allgemein

$$TL_{\text{€},i}(t) = \frac{TL_{M,i}(t)}{P_{TM_i}}$$

$TL_{\text{€},i}$ Monetäre Tauleistung eines Taumittel [g/€ct] in Abhängigkeit der Einwirkdauer t

TLM,i Massenbezogene Tauleistung eines Taumittels [g/g] in Abhängigkeit der Einwirkdauer

PTM,i Einheitspreis des eingesetzten Taumittels [€ct/g]

Formel 9 Monetäre Taurate eines Taumittels

$$TR_{\epsilon,i}(t) = \frac{dTL_{\epsilon,i}(t)}{dt}$$

TR_€,i Monetäre Taurate eines Taumittels i in [g/(Geldeinheit*Zeiteinheit)]

TL_€,i Monetäre Tauleistung eines Taumittel [g/€ct] in Abhängigkeit der Einwirkdauer t

7.3.2 Beispiel monetäre Tauleistung und Taurate fester Taumittel

Zur Berechnung herangezogene Materialien

- **NaCl fest** (Probe Anbieter XY)

- Angenommener Preis: 85 €/Tonne bzw. 0,0085 €ct/Gramm
- Reinheit: 97% (inkl. Feuchtegehalt ≤ 0,5%)
- Rieselfähigkeit bei Anlieferung: 46% (Mittelwert 3 Versuche)
- Eutektikum: -22,5°C bei 23,6% Konzentration
- Reine Streumittelkosten: $85,0/0,97 = 87,63 \text{ €/Tonne} = 8.763 \text{ Cent}/10^6 = 0,008763 \text{ Cent/g}$
- Monetäre Tauleistung fest: z.B. 8,6 g/g lt. Tabelle 2 bei -5°C nach 240 min
→
 $8,6/0,008763 = \mathbf{981,4 \text{ g Eis/Cent}}$

Bsp. mögliche Beurteilung: Das angebotene Streumittel erfüllt die Anforderungen hinsichtlich Reinheit und Feuchtigkeit bei Anlieferung und ist frei von unzulässigen Verunreinigungen. Die Rieselfähigkeit bei Anlieferung entspricht ebenfalls den Anforderungen.

Die Tauleistung nach 5 min, 30 min. und 240 min bei -2,5°C, -5,0°C, -7,5°C und -10,0°C entspricht den empfohlenen Werten für Natriumchlorid. Auf Basis des angebotenen Preises ergibt sich die monetäre Tauleistung gemäß Abbildung 34. Insgesamt entspricht das angebotene auftauende Streumittel den technischen Anforderungen und weist im Vergleich zu alternativen Angeboten eineWirtschaftlichkeit auf.

**Bsp. monetäre Tauleistung NaCl fest
Mittelwerte geglättet**

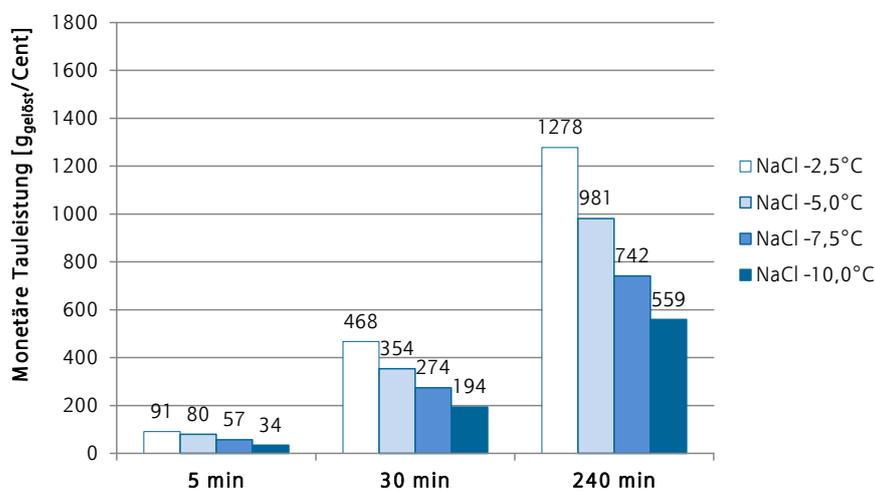


Abbildung 34 Bsp. monetäre Tauleistungen Siedesalz

7.3.3 Beispiel monetäre Tauleistung und Taurate flüssiger Taumittel

Zur Berechnung herangezogene Materialien

- 20% NaCl – Sole flüssig (Probe Anbieter XY)

- Angenommener Preis: für 20% Sole fertig geliefert 22 €/1000 l

- Kontrolle Dichte: $2,17 \cdot 20\% + 1,00 \cdot 80\% = 1,234 \text{ g/cm}^3$

- Einheitspreis: $2.200 \text{ Cent} / (1000\text{l} \cdot 1000\text{cm}^3) = 0,0022 \text{ Cent/cm}^3 \rightarrow 0,0022 \text{ [Cent/cm}^3] / 1,234 \text{ [g/cm}^3] = 0,001783 \text{ Cent/g}$

- Kontrolle Gefrierpunkt: $-0,00086 \cdot 20^3 + 0,01548 \cdot 20^2 - 0,76814 \cdot 20 = -16,05^\circ\text{C}$

- Monetäre Tauleistung flüssig: z.B. 0,6 g lt. Tabelle 2 bei -5°C nach 240 min
 $\rightarrow 0,6 \text{ [g/g]} / 0,001783 \text{ [Cent/g]} = 337\text{g/Cent}$

Bsp. mögliche Beurteilung: Das angebotene Streumittel erfüllt die Anforderungen hinsichtlich Reinheit bei Anlieferung, weist die erforderliche Konzentration von 20% auf und ist frei von unzulässigen Verunreinigungen.

Die Tauleistung nach 5 min, 30 min. und 240 min bei -2,5°C, -5,0°C, -7,5°C und -10,0°C entspricht den empfohlenen Werten für Natriumchlorid. Auf Basis des angebotenen Preises ergibt sich die monetäre Tauleistung flüssig gemäß Abbildung 35. Insgesamt entspricht das angebotene auftauende Streumittel den technischen Anforderungen und weist im Vergleich zu alternativen Angeboten eine Wirtschaftlichkeit auf.

Bsp. monetäre Tauleistung NaCl - Sole 20%
Mittelwerte geglättet

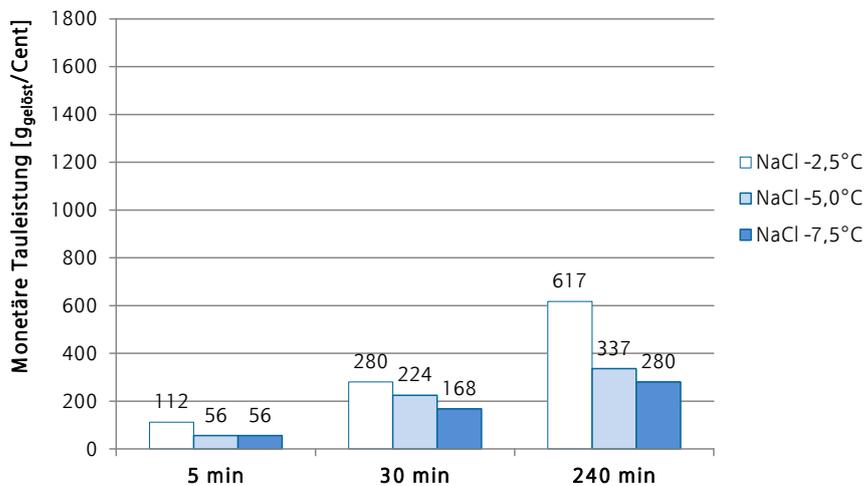


Abbildung 35 Bsp. Monetäre Tauleistungen 20% Sole

Ass. Prof. DI Dr. Bernhard Hofko
Laborleiter

Proj. Ass DI Daniel Steiner
Projektleiter

DI Dr. Markus Hoffmann
Co-Autor

Wien, im Oktober 2015

8. Anhang

8.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Bestimmung des Gefrierpunkts (ASTM, 2005)	13
Abbildung 2 Häufigkeitsverteilung der Temperatur-Messwerte am Beispiel von NaCl-Sole	14
Abbildung 3 Temperaturverlauf bei einer Gefrierpunktsbestimmung am Beispiel von NaCl-Sole ...	14
Abbildung 4 Gefrierpunktsverlauf NaCl	15
Abbildung 5 Gefrierpunktsverlauf CaCl ₂	15
Abbildung 6 Gefrierpunktsverlauf MgCl ₂	16
Abbildung 7 Gefrierpunktsverlauf aller untersuchten Sole-Lösungen	16
Abbildung 8 Methode zur Auswertung für die Tauleistung und Taurate fester Taumittel	18
Abbildung 9 Vergleich der Tauleistungen bei verschiedenen Temperaturen Kornklasse [0,125 1] ..	20
Abbildung 10 Vergleich der Tauleistung bei verschiedenen Temperaturen Kornklasse [1,0 3,15] ..	20
Abbildung 11 Vergleich der Tauleistung bei verschiedenen Temperaturen Kornklasse [3,15 5,0] ..	21
Abbildung 12 Vergleich der Taurate bei verschiedenen Temperaturen Kornklasse [0,125 1,0]	21
Abbildung 13 Vergleich der Taurate bei verschiedenen Temperaturen Kornklasse [1,0 3,15]	22
Abbildung 14 Vergleich der Taurate bei verschiedenen Temperaturen Kornklasse [3,15 5,0]	22
Abbildung 15 Vergleich Tauleistung – Kornklasse	23
Abbildung 16 Vergleich Taurate – Kornklasse	24
Abbildung 17 Tauleistung NaCl Sole	27
Abbildung 18 Tauleistung CaCl ₂ Sole	27
Abbildung 19 Taurate NaCl-Sole	28
Abbildung 20 Taurate CaCl ₂ Sole	28
Abbildung 21 Tauleistung - Vergleich von NaCl-Sole und CaCl ₂ -Sole	28
Abbildung 22 Taurate - Vergleich von NaCl-Sole und CaCl ₂ -Sole	29
Abbildung 23 Baugleiche Salzsilos (links) mit jeweils einem Datalogger(rechts) zur Aufzeichnung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit	30
Abbildung 24 Mikroklima Salzsilo – Temperatur	30
Abbildung 25 Mikroklima Salzsilo – Luftfeuchtigkeit	31
Abbildung 26 Wassergehaltsbestimmung zu verschiedenen Zeitpunkten der Logistikkette	33
Abbildung 27 Verklumpung der Probe nach Ofentrocknung	33
Abbildung 28 Auslaufbox nach Sonntag	35
Abbildung 29 Vergleich der Rieselfähigkeit von verschiedenen Kornklassen	35
Abbildung 30 Auslaufbox – Siedesalz feucht mit 0,5 m% Wasser	36
Abbildung 31 Entwicklung der Rieselfähigkeit im Verlauf einer Trocken-Feucht-Trocken Periode ..	36
Abbildung 32 Auslaufbox Siedesalz in der Box getrocknet	37
Abbildung 33 Konzentration VS Gefrierpunkt für NaCl, CaCl ₂ und MgCl ₂	49
Abbildung 34 Bsp. monetäre Tauleistungen Siedesalz	52
Abbildung 35 Bsp. Monetäre Tauleistungen 20% Sole	53

8.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Arbeitspakete.....	11
Tabelle 2 Anzahl der Gefrierpunktbestimmungen	12
Tabelle 3 Zeitaufwand Gefrierpunktbestimmung.....	13
Tabelle 4 Anzahl der Prüfungen	17
Tabelle 5 Zeitaufwand Tauleistungsbestimmung fester Taumittel pro Temperaturstufe	18
Tabelle 6 Prüfprogramm Tauleistung flüssiger Taumittel	25
Tabelle 7 Prüfprogramm Wassergehaltsbestimmungen	32
Tabelle 8 Prüfprogramm Rieselfähigkeit	34
Tabelle 9 Untersuchte Literatur	38
Tabelle 10 Einteilung der Taumittel nach deren chemischen Inhaltsstoffen.....	42
Tabelle 11 Empfehlung mittlere Referenzwerte Tauleistung fest massebezogen [g/g] (Stein- /Siedesalz)	47
Tabelle 12 Empfehlung mittlere Referenzwerte Tauleistung flüssig massebezogen [g/g] (20% NaCl; 30% CaCl ₂).....	47

8.3 Literaturverzeichnis

ASTM. (2005). ASTM D1177-05: Standard Test Method for Freezing Point of Aqueous Engine Coolants: ASTM International.

Gartiser, S., & Reuther, R. (2003). Machbarkeitsstudie zur Formulierung von Anforderungen fuer ein neues Umweltzeichen fuer Enteisungsmittel fuer Strassen und Wege, in Anlehnung an DIN EN ISO 14024-Forschungsbericht 200 95 308/04; UBA-FB 000404. *TEXTE*(09/03)

Hoffmann, M. & Blab, R. & Nutz, P. (2011): "Forschungsbericht Optimierung der Feuchtsalzstreuung"; Forschungsbericht für Ämter der Landesregierungen, ASFINAG, BMVIT; 2011; 213 S.

Nutz, P. & Hoffmann, M. & Blab, R. (2014): "New test procedures for solid and liquid deicer"; XIVth International Winter Road Congress; Andorra la Vella, 4-7 February 2014; PIARC; Beitrag im Tagungsband; 2014

Nordic Ecolabelling of De-icers. (2014) (Vol. Version 2.4): Nordic Ecolabelling

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

bmvit - Bundesministerium für Technologie
Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien, Austria

Inhaltliche Erarbeitung: Projektverantwortlicher Autor:

Bernhard Hofko, Technische Universität Wien
Wien, Oktober 2015

Grafik-Design:

Technische Universität Wien

Erstveröffentlichung:

November, 2015 | Band 045

Projektnummer:

199.894

Schriftenleitung:

Dipl.-Ing. Dr. Eva-Maria Eichinger-Vill
Dipl.-Ing. Alexander Nowotny

Erklärung der Schriftenleitung:

Die in diesem Band enthaltenen Aussagen müssen nicht notwendigerweise mit denen des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie übereinstimmen.

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig.

Finanziert aus Mitteln des Österreichischen Verkehrssicherheitsfonds im Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.