

Literaturstudie
**Salzersatz im
Winterdienst**

A.Gubler

FA 24/89 auf Antrag der VSS

Zürich, Oktober 1993

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung.....	2
Résumé.....	3
1. Auftrag.....	5
2. Tausalze im Winterdienst.....	6
2.1 Einsatz.....	6
2.2 Sicherheit.....	6
2.3 Probleme.....	7
3. Alternative Mittel.....	8
3.1 Mechanische Entfernung.....	8
3.2 Abstumpfende Mittel.....	9
3.3 Auftauende Mittel.....	10
3.4 Kombinationen mit Tausalzen.....	10
4. Eigenschaften der Streusalze.....	12
4.1 Natriumchlorid (NaCl).....	12
4.2 Kalziumchlorid (CaCl ₂).....	12
4.3 Magnesiumchlorid (MgCl ₂).....	13
4.4 Mischsalze.....	13
4.5 Feuchtsalze.....	14
4.6 Eishemmende Beläge.....	16
5. Eigenschaften alternativer Taumittel.....	18
5.1 Calcium-Magnesium-Acetat (CMA).....	18
5.2 Technische Harnstoffe (Urea).....	20
5.3 Alkohole und Glykole.....	22
5.4 Ammoniak und Ammoniumverbindungen.....	22
5.5 Phosphate.....	23
5.6 Formamid.....	24
5.7 Strassenheizungen.....	24
6. Schlussfolgerungen.....	25
6.1 Resultate.....	25
6.1.1 Mechanische Entfernung.....	25
6.1.2 Abstumpfende Stoffe.....	25
6.1.3 Auftauende Stoffe.....	26
6.2 Einsatzbereiche.....	26
6.3 Empfehlungen.....	26
6.4 Weitere Arbeiten.....	27
7. Literatur.....	29

Zusammenfassung

Der Auftrag umfasst die Sichtung der Literatur zu den Themen:

- Umweltschäden (und Kosten) infolge Splittstreuung sowie
- Alternativlösungen zum Streusalzeinsatz zur Glättebekämpfung.

Zum ersten Thema konnte nur eine einzige Quelle gefunden werden. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich deshalb in Absprache mit der begleitenden Fachkommission der VSS auf die Auswertung der Literatur zur Glättebekämpfung.

Vorgängig zur Glättebekämpfung müssen in der Regel Fahrbahnen und Trottoirs von Schnee und Matsch geräumt werden. In der Schweiz verlangt die Verordnung über umweltgefährdende Stoffe, dass die Schneeräumung mit mechanischen Mitteln erfolgt. Die heute verfügbaren Geräte und ihre Einsatzbereiche sind kurz beschrieben.

Für die Glättebekämpfung stehen abstumpfende und tauende Mittel sowie deren Kombinationen zur Verfügung. Mit abstumpfenden Mitteln soll die Reibung zwischen Fahrbahnoberfläche und Fahrzeugreifen bzw. Schuhsohlen der Fussgänger vergrössert werden. Die Anwendung, auch grosser Mengen, solcher Streustoffe erhöht den Reibungskoeffizient allerdings nur in beschränktem Mass. Im Vergleich zu den Taumitteln weisen die abstumpfenden Stoffe noch weitere, wesentliche Nachteile auf, z.B. Einsammeln von Sand/Splitt im Frühling, häufigere Reinigung von Einlaufschächten/Schlammsammlern und Kanalisationsleitungen.

Nach den wichtigsten Eigenschaften der Streusalze werden diejenigen der alternativen Taumittel beschrieben. Hinweise auf eishemmende Beläge und Strassenheizungen ergänzen diese Uebersicht.

Die mechanische Entfernung von Schnee und Matsch ist nach wie vor ein zentraler Bereich des Winterdienstes. In speziellen Fällen kann die Räumung soweit gehen, dass sich zusätzliche Massnahmen zur Glättebekämpfung erübrigen.

Zum Einsatz von abstumpfenden Streustoffen liegen unterschiedliche Erfahrungen vor. Beim Winterdienst mit abstumpfenden Mitteln ist mit eher höheren Kosten zu rechnen.

Im Innerortsbereich scheint mit einzelnen Ausnahmen ein Winterdienst mit stark reduziertem Taumiteleinsatz möglich; im Ausserortsbereich, auf stark befahrenen Strassen mit schnellem Verkehr, bieten sich mehr Schwierigkeiten.

Bei den auftauenden Streustoffen scheiden im Vergleich zu den gängigen Streusalzen fast alle alternativen Taumittel aus Gründen der Wirtschaftlichkeit, des Umweltschutzes oder ungenügender Tauwirkung aus.

Die vorliegende Literaturstudie kommt im wesentlichen zu folgenden Schlüssen:

- Die erfolgversprechendsten Ansätze für einen umweltfreundlichen Winterdienst liegen vor allem in einer Optimierung der traditionellen Hilfsmittel.
- Als alternatives Taumittel kommt Calcium-Magnesium-Azetat (CMA) in Frage. Vor allem seine Herstellung müsste kostengünstiger sein; ausserdem müssten Geruchsbelästigung und Staubeentwicklung eliminiert werden.
- Der Einsatz von mit Sole benetztem Splitt ist in Versuchen zu prüfen.
- Unabhängig von den Untersuchungen zum Winterdienst sind Möglichkeiten zur Erzielung eines angepassteren Fahrverhaltens bei winterlichen Strassenverhältnissen zu erforschen.

Résumé

Le mandat a pour objet de rechercher la littérature sur les deux thèmes

- dégâts à l'environnement (et coûts) attribué à l'emploi d'abrasifs et
- alternatives à l'emploi du sel à dégeler pour la lutte contre la glissance hivernale.

Pour le premier thème on a trouvé qu'une seule source. Ensuite et en coordination avec la commission VSS de suivi, la recherche se concentrait à la littérature pour la lutte contre la glissance hivernale.

Avant une intervention contre la glissance hivernale, les chaussées et les trottoirs doivent être libérés de neige et de neige fondante. En Suisse, l'Ordonnance sur les substances dangereuses pour l'environnement demande que le déneigement soit fait avec des moyens mécaniques. Ces engins et leurs modes d'application sont décrits brièvement.

La lutte contre la glissance hivernale peut se faire à l'aide d'abrasifs ou de fondants chimiques et leurs combinaisons. Les abrasifs ont pour but d'améliorer la qualité antidérapante entre la surface de la chaussée et les pneus des véhicules ou les semelles des piétons. Malgré l'application des abrasifs – même en grande quantités – la qualité antidérapante n'est que peu améliorée. Par rapport

aux fondants chimiques les interventions avec abrasifs ont d'autres désavantages importants, par ex. le ramassage du sable/gravillon au printemps, le nettoyage plus fréquent des gueulards et des canalisations.

Le rapport décrit les propriétés importantes des sels à dégeler ainsi que celles des fondants alternatifs. Des indications aux revêtements "retardant le verglas" et aux tronçons routier chauffés y sont ajoutées.

Le déneigement avec moyens mécaniques reste néanmoins une activité primordiale du service hivernal. Dans certains cas, seul le déneigement mécanique suffit et des mesures supplémentaires contre la glissance hivernale peuvent être supprimées.

L'emploi des abrasifs a fourni des rapports avec évaluations divergentes. Un service hivernal employant des abrasifs coûte plus cher.

En domaine urbain, un service hivernal utilisant que peut de fondants chimiques semble possible; hors localités, sur routes à plus grands débits et avec des vitesses plus grandes il faut des quantités de fondants chimiques plus importantes.

Souvent les fondants alternatifs sont moins intéressants que les sels à dégeler usuels pour des raisons économiques, de dangers à l'environnement ou d'une action dégelante insuffisante.

La présente recherche de littérature propose les conclusions suivantes:

- L'optimisation des moyens traditionnels semble la voie la plus efficace pour obtenir un service hivernal compatible à l'environnement.
- Le calcium-magnésium-acétate (CMA) semble une alternative pour remplacer les sels à dégeler. Surtout sa production devrait devenir moins chère; en plus on devrait supprimer les mauvaises odeurs et la poussière.
- On propose des essais avec gravillon humidifié par saumure.
- Indépendement des études en matière de service hivernal il faut explorer les possibilités qui amènent à une manière de conduite mieux adaptée aux conditions routières en hivers.

1. Auftrag

Die Fachkommission 274, Unterhalt, der VSS beabsichtigt mittelfristig, gemäss den entsprechenden Anmeldungen im Mehrjahresforschungsprogramm, die Durchführung von Forschungsarbeiten mit den Themen:

- Umweltschäden (und Kosten) infolge Splittstreuung sowie
- Alternativlösungen zum Streusalzeinsatz zur Glatteisbekämpfung.

Vor der Inangriffnahme der geplanten Forschungsarbeiten soll die entsprechende Literatur gesichtet und ausgewertet werden, so dass allfällige Forschungsvorhaben die bestehende Literatur bereits berücksichtigen können.

Das Zusammentragen und Auswerten der Literatur sollte für beide angegebenen Fragestellungen erfolgen.

Im Laufe der Literaturzusammenstellung zeigte sich, dass zum ersten angesprochenen Thema ("Umweltschäden durch Splittstreuung") keine Literatur vorhanden war. In verschiedenen Berichten zur Salzstreuung fanden sich zwar Hinweise auf verschiedene mögliche Schäden durch Splittstreuung (Staub, Lackschäden an Autos); dies jedoch als blosser Hinweise ohne jede genauere Untersuchung oder Quantifizierung.

Lediglich der Bericht über den Versuch im Tösstal nennt die Kosten für das Entfernen des weggeschleuderten Splitts aus dem angrenzenden Kulturland (ca. Fr. --.50/m² Strassenfläche; Preise 1972-77).

In Absprache mit der Subkommission "Ordentlicher Unterhalt" der Fachkommission 274 wurde deshalb die Literaturstudie auf die zweite Fragestellung (Streusalzersatz) beschränkt.

Nicht speziell behandelt wird die mechanische Schneeräumung, die vorgängig der Glättebekämpfung erfolgen muss. Ebenfalls nicht Gegenstand des Auftrages war die sog. "Weissräumung", welche die Pflege einer dünnen Schneebrücke auf der ganzen Fahrbahnbreite beinhaltet und wo praktisch keine Glatteisbekämpfung erfolgt.

2. Tausalze im Winterdienst

2.1 Einsatz

In der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts erfolgte die Schneebeseitigung mit rein mechanischen Mitteln (Schaufeln, Keilpflüge); Schnee- und Eisglätte wurde durch Streuen von abstumpfenden Stoffen (Asche, Schlacke, Sand, Splitt) bekämpft. Zwar wurden schon 1936 bis 1940 in Deutschland Versuche zur Glättebekämpfung mit Auftausalzen durchgeführt, die ersten Grossversuche fanden aber erst 1956/57 statt.

Die witterungsbedingten Unfallzahlen gingen dabei von vorher 25% aller Unfälle auf knapp 3% zurück. Aufgrund dieser Ergebnisse und der geringen Kosten des Streusalzes setzte sich die sog. "Schwarzräumung" mit Tausalzen als Mittel des Winterdienstes schnell durch.

Grundsätzlich kommen für diese Aufgabe verschiedene Taumittel in Frage, sofern sie die folgenden Bedingungen erfüllen:

- das Taumittel muss auch noch bei *tiefen Temperaturen schnell* gegen Eis, Schnee und Glätte wirken;
- es darf *nicht toxisch* sein;
- es soll *nicht korrodierend* wirken und *keine Schäden* an Bauwerken, auf Lacken, Gummi, Holz und Textilien verursachen;
- es soll Vegetation, Gewässer und Böden möglichst *wenig belasten*;
- der Einsatz des Taumittels sollte *ökonomisch* gerechtfertigt sein.

Vor allem aus Gründen der Wirtschaftlichkeit werden von den verschiedenen möglichen Taumitteln vor allem Natriumchlorid (NaCl) und Kalziumchlorid (CaCl_2) eingesetzt.

2.2 Sicherheit

Zur Frage der Sicherheit bei verschiedenen Arten des Winterdienstes (Schwarzräumung mit Streusalz und "Weisses Netz", d.h. Winterdienst nur mit mechanischen Mitteln, evtl. mit abstumpfenden Stoffen) wurden in der BRD verschiedene grössere Untersuchungen durchgeführt.

Aus allen Untersuchungen geht hervor, dass die Anzahl der Unfälle bei reduziertem Winterdienst zunimmt; kontrovers ist die Frage, inwieweit diese Zunahme durch eine geringere Schadensschwere kompensiert wird.

Neuere Untersuchungen weisen aber eher darauf hin, dass die Unfallschwere zumindest auf Ausserortsstrassen nicht wesentlich geringer wird, die Sicherheit also eindeutig abnimmt.

Allerdings ereignen sich trotz der von Durth bescheinigten hohen Effektivität des Winterdienstes immer noch viele Unfälle bei winterglatter Fahrbahn. Durth folgert daraus, dass ein wesentlicher Ansatzpunkt zur Senkung der Unfallzahlen bei Winterglätte nicht beim Winterdienst selbst, sondern beim Verkehrsteilnehmer zu suchen sei.

Auf Innerortsstrecken zeigen hingegen die vorliegenden Untersuchungen eine Abnahme der Unfallschwere.

2.3 Probleme

In den vergangenen Jahrzehnten hat der Verbrauch an auftauenden Streustoffen, hauptsächlich Salz, im Strassenwinterdienst stark zugenommen. Dies hat den Grund im Ausbau des Strassennetzes und entspricht dem Wunsch der Verkehrsteilnehmer, dieses Netz auch bei winterlichen Verhältnissen ohne grössere Einschränkungen benützen zu können. Während in der Periode von 1967 bis 1976 im Durchschnitt pro Winter 77'000 Tonnen Streusalz verbraucht wurden, lag diese Zahl für die Zeit von 1977 bis 1986 bei 148'000 Tonnen.

Diese grossen Mengen von Salz, vor allem Natriumchlorid, haben ihre Auswirkungen auf Boden und Pflanzen sowie Bauwerke, vor allem Kunstbauten aus Beton.

Auch wenn in den letzten Jahren beträchtliche Anstrengungen unternommen wurden, um die gestreuten Salzmengen zu reduzieren, ist es doch weiter notwendig, neben der effizienteren Verwendung von Streusalz alternative Methoden zur Bekämpfung der Winterglätte zu suchen, um den Winterdienst im Spannungsfeld zwischen Verkehrssicherheit, Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit zu optimieren.

3. Alternative Mittel

Der Winterdienst besteht im wesentlichen aus zwei Funktionen, nämlich

- der Schneeräumung und
- der Glättebekämpfung.

Die Schneeräumung muss gemäss Stoffverordnung zum Umweltschutzgesetz (Anhang 4.6, Art. 32 lit. b) mechanisch erfolgen. Versuche, Schneeräumung mittels Streusalz zu betreiben, sind heute auch nicht mehr zu beobachten.

Für die Glättebekämpfung stehen sowohl abstumpfende (Sand, Splitt) als auch auftauende Mittel (Salze, Harnstoff, Alkohole) zur Verfügung.

3.1 Mechanische Entfernung

Die Wirksamkeit der Geräte für die mechanische Schneeräumung ist sehr wichtig für die nachfolgende Behandlung mit abstumpfenden oder auftauenden Streustoffen zur Bekämpfung der Winterglätte.

Die Geräte für die mechanische Schneeräumung gehören zur Grundausrüstung jedes Winterdienstes.

Das älteste dieser Geräte ist der Schneepflug; er trägt auch heute noch die Hauptlast der mechanischen Schneeräumung. An der Unterseite des Schneepfluges befindet sich eine verschleissfeste, scharfe Schürfleiste, die beim Räumen der Fahrbahn entlanggleitet. Der moderne Pflug lässt sich vom Führerhaus des Räumfahrzeuges aus hydraulisch oder pneumatisch heben, senken, schwenken und auf die Fahrbahn pressen. Schneepflüge lassen sich bei Schneehöhen bis zu 60 cm (als Keilpflüge bis zu 80 cm) einsetzen, die ideale Arbeitshöhe liegt bei 20 bis 30 cm.

Zu den Schneepflügen gehören auch Geräte wie der Strassenhobel, mit welchem Eisrippen, Rinnen und Höcker entfernt werden, die sich bei mehrmaligem Wechsel von Tau- und Frostperioden bilden.

Sind die Schneehöhen für die Verwendung von Schneepflügen zu gross, kommen Schneeschleudern zum Einsatz. Dies ist in der Schweiz vor allem in bergigen Gebieten der Fall. Bei Schneeschleudern wird der Schnee mit Frästrommeln, Wurfrädern, Förderschnecken und anderen mechanischen Hilfsmitteln gelöst, erfasst, gefördert und seitlich ausgeworfen. Schneeschleudern sind bis zu 3,5 m Schneehöhe einsetzbar. Der Schnee wird mehrere Meter weit ins Gelände

geworfen. Dadurch entstehen keine Randwälle, wie bei der Räumung mit Schneepflügen. Schneeschleudern sind wesentlich teurer und wartungsintensiver als Schneepflüge.

In städtischen Gebieten und an anderen Orten, bei denen der Schnee nicht seitlich ins Gelände geworfen oder am Strassenrand liegen gelassen werden kann, kommen bei der Schneeräumung auch Lademaschinen zum Einsatz. Es handelt sich dabei um Schaufellader, mit denen der Schnee auf Lastwagen zum Abtransport geladen werden kann.

In Einzelfall werden zur Schneeräumung auch Kehrmaschinen verwendet. Mit Kehrmaschinen lässt sich der Schnee auf der Fahrbahn fast restlos beseitigen. Sie sind neu bei Schneematsch oder sehr geringen Neuschneemengen einsetzbar. Die Räumgeschwindigkeit sowie die Räumbreite sind geringer als beim Schneepflug.

3.2 Abstumpfende Mittel

Als abstumpfende Mittel kommen vor allem Splitte sowie Sande und auch Schlacke zum Einsatz. Die verwendeten Streustoffe müssen eine gewisse Härte aufweisen. So werden vor allem Basalte, Kieselkalke und Quarzite verwendet. Sandsteine, weiche Kalke und Dolomite sind zu weich.

Das Streugut muss eine hohe Rohdichte, ein hohes spezifisches Gewicht und die richtige Korngrößenverteilung aufweisen, um möglichst lange auf der Fahrbahn liegen zu bleiben.

Als alternative abstumpfende Streumittel wurden auch gebrochene, poröse Steine vulkanischen Ursprungs sowie Schlackengranulat aus Hochöfen und (Kehrricht-) Verbrennungsanlagen getestet. Diese Stoffe erfüllen aber die notwendigen Anforderungen (Härte, hohes spez. Gewicht, grobe Körnung, geringer Preis) nur unzureichend. Sie sind in der Regel porös und folglich leicht und voluminös. Deshalb werden sie sehr leicht von der Fahrbahn verweht.

Mit den abstumpfenden Mitteln wird die Reibung zwischen der glatten Verkehrsfläche und den Fahrzeugreifen resp. den Schuhsohlen vergrößert. Die Anwendung auch grosser Mengen solcher Streustoffe erhöht den Gleitbeiwert allerdings nur beschränkt.

Diese Streustoffe werden in der Praxis durch den Verkehr an den Fahrbahnrand und darüber hinaus geschleudert und müssen im Frühjahr wieder eingesammelt werden. Auch die Einlaufschächte und die Kanalisationsleitungen müssen zusätzlich bzw. häufiger gereinigt werden.

3.3 Auftauende Mittel

Chemische Auftaustoffe als wasserlösliche Substanzen setzen den Gefrierpunkt des Wassers herab und können deshalb Schnee und Eis unter 0°C schmelzen. Theoretisch ist eine Vielzahl von Stoffen für diesen Zweck geeignet, die Stoffverordnung beschränkt die Auftaumittel allerdings auf:

- a) Natrium-, Kalzium- oder Magnesiumchlorid;
- b) Harnstoff oder
- c) abbaubare niedere Alkohole.

Die Gefrierpunktniedrigung ist proportional zur Massenkonzentration des zugemischten Stoffes. Grundsätzlich ist diese Gefrierpunktniedrigung nur bis zum kryohydratischen Punkt des Stoff-Wassergemisches möglich. Dieser ist durch eine bestimmte, stoffabhängige Konzentration bestimmt. Einem wirtschaftlichen Auftauen sind aber schon früher Grenzen gesetzt.

Als auftauende Mittel werden heute in erster Linie Natriumchlorid sowie Kalziumchlorid und in geringem Masse Magnesiumchlorid verwendet.

3.4 Gemische von abstumpfenden Mitteln mit Tausalzen

Zur Anwendung von Gemischen aus abstumpfenden und auftauenden Stoffen gibt es in der Literatur widersprüchliche Angaben. Nach österreichischen Angaben erscheint die Verwendung solcher Mischungen kaum gerechtfertigt. Bei schwachem Verkehr soll das Salz auf dem abstumpfenden Streugut haften bleiben und deshalb nur teilweise wirksam sein, ausserdem ergäben sich beim Nachladen der Streufahrzeuge erhebliche Zeitverluste. Das abstumpfende Streugut bleibe wirkungslos, wenn sein Anteil an der Mischung weniger als $\frac{3}{4}$ betrage.

Bei Versuchen in New York hingegen zeigte sich eine Mischung von zwei Teilen Mischsalz (27% NaCl , 25% CaCl_2) als fast ebenso wirkungsvoll wie die alleinige Verwendung der gleichen Menge Salz.

Bei Versuchen des Iowa State Highway Departement zeigte sich bei einer Mischung von Sand und Kalziumchlorid eine Art "Antigleiteffekt", der den Bremsweg für längere Zeit verringerte. In einem Bremsversuch (Geschwindigkeit 20 mph = 32 km/h) ergaben sich die folgenden Bremswege:

a) unbehandelte Fahrbahn	48 m
b) Fahrbahn mit 810 g Sand pro m ² bestreut	25 m
c) Fahrbahn mit 270 g Sand/CaCl ₂ -Gemisch pro m ² bestreut	23 m

Der Sand war mit 30 kg Kalziumchlorid pro m³ vermischt. Das gute Resultat im Versuch b) (reine Sandstreuung) hatte nur kurzen Bestand, da der gestreute Sand sehr schnell von den Fahrzeugen an den Strassenrand geschleudert wurde. Das Resultat c) hingegen hatte länger Bestand, da die Sandkörner von einem Solefilm umgeben wurden, der ein leichtes Eindringen in die Eisschicht ermöglichte und so das Wegschleudern verhinderte.

In Saarbrücken wurden Versuche mit Schlackegranulat gemacht, das mit einer Kalziumchloridlösung benetzt war. Auch diese Versuche zeigten vielversprechende Ansätze, wurden aber nicht mehr weiter rapportiert.

4. Eigenschaften der Streusalze

4.1 Natriumchlorid (NaCl)

Natriumchlorid (NaCl) hat eine Dichte von $2,167 \text{ t/m}^3$ und ein Schüttgewicht von 0,9 bis $1,2 \text{ t/m}^3$ (abhängig von der Korngrössenverteilung).

Natriumchlorid ist kaum hygroskopisch; bei einer relativen Luftfeuchtigkeit unter 75% trocknet es aus. Es enthält 2-3% Wasser, welche das Salzkorn als Solefilm umgeben. Um das Zusammenbacken der Salzkristalle bei Feuchtigkeitsabgabe aus diesem Solefilm zu verhindern, wird ein Antiklumpmittel beigelegt.

Natriumchlorid kann den Schmelzpunkt des Wassers maximal auf $-21,2 \text{ °C}$ senken (Lösung mit 23,5 Gewichtsprozent NaCl).

Für den Auftauprozess ist die Korngrösse des gestreuten Natriumchlorids entscheidend. Die Körnung darf nicht zu gross sein, da das Auftauen sonst verzögert wird. Der Feinanteil unter $0,16 \text{ mm}$ soll aber auch nicht über 5% liegen, da sonst grosse Anteile des gestreuten Salzes vom Wind verweht werden.

Bei der Auflösung von Natriumchlorid wird der Umgebung Energie, d.h. Wärme, entzogen (endothermer Vorgang). Der Wärmebedarf zum Auftauen einer $0,1 \text{ mm}$ dicken Eisschicht von 1 m^2 Fläche beträgt etwa 90 kJ .

Streumengen von 10 bis 20 g/m^2 wirken generell am besten, mehr als 25 g/m^2 sollten nicht ausgebracht werden. Bei Präventivsalzungen sollte die ausgebrachte Menge zwischen 10 und 15 g/m^2 betragen.

4.2 Kalziumchlorid (CaCl_2)

Kalziumchlorid (CaCl_2) fällt bei der Sodaherstellung als Nebenprodukt an ($2 \text{ NaCl} + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaCl}_2$). Aus der so anfallenden, stark verdünnten Kalziumchloridlösung (mit wasserunlöslichen Verunreinigungen und Begleitstoffen) werden die im Winterdienst benötigten Kalziumchloridschuppen hergestellt. Diese enthalten 77 - 80% tauwirksames CaCl_2 .

Die Schuppen haben bei einer Dicke von etwa $1,25 \text{ mm}$ eine durchschnittliche Grösse von 3 bis $3,5 \text{ mm}$. Mit dieser Breite haben die Schuppen eine bessere Haftfähigkeit als kubische Körper.

Kalziumchlorid ist stark hygroskopisch. Es absorbiert auch bei geringer relativer Luftfeuchtigkeit bis hinab auf 46% und bei Temperaturen bis -26°C Feuchtigkeit aus der Luft, deshalb zerfließt es an der Luft.

Der kryohydratische Punkt einer gesättigten Kalziumchloridlösung liegt bei $-51,6^{\circ}\text{C}$. CaCl_2 kann bis -20°C verwendet werden, während der Einsatz von NaCl bei Lufttemperaturen von -6 bis -10°C die Grenzen der Wirtschaftlichkeit erreicht. Im Gegensatz zu NaCl wird beim Lösungsvorgang von CaCl_2 Energie freigesetzt (ca. 370 kJ/kg). Bei NaCl wird die Umgebung abgekühlt.

4.3 Magnesiumchlorid (MgCl_2)

Magnesiumchlorid wird aus Kaliumlagerstätten in Form von Carnallit ($\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) oder als Nebenprodukt bei der Kaliindustrie gewonnen. Es enthält als Hexahydrat $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 53% kristallin gebundenes Wasser. Der kryohydratische Punkt liegt bei $-33,5^{\circ}\text{C}$, die Tauwirksamkeit von MgCl_2 reicht bis etwa -15°C .

Magnesiumchlorid zerfließt bei Luft- und Feuchtigkeitszutritt wegen seiner hohen Hygroskopizität; Lagerung und Streuung sind daher sehr aufwendig.

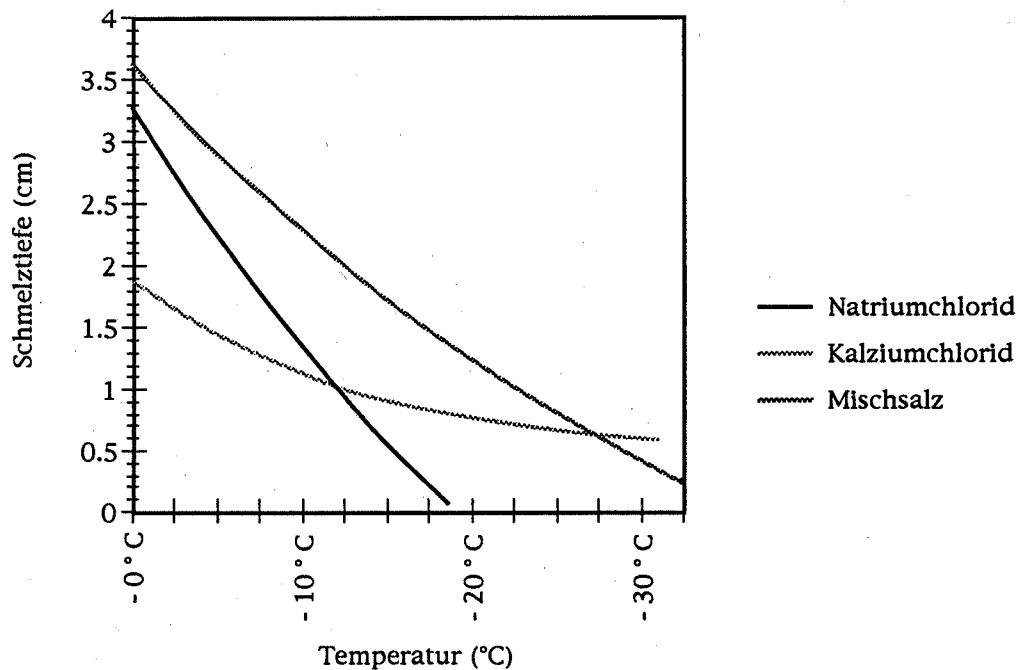
Es ist im Handel als Schuppen oder gemahlene Ware mit einem Magnesiumchloridgehalt von 44 bis 46 % erhältlich. Es wird vor allem als Staubbekämpfungsmittel eingesetzt.

4.4 Mischsalze

Um die Vorteile von Natriumchlorid (tiefe Kosten) mit denjenigen von Kalziumchlorid (Haftfähigkeit, Tauleistung) miteinander zu verbinden, wurden vor mehr als 30 Jahren die ersten Versuche mit einem Gemisch dieser beiden Salze durchgeführt. Diese "Mischsalze" werden sinnvollerweise zur Glättebekämpfung bei Temperaturen unter 8°C eingesetzt.

Wie die untenstehende Graphik zeigt, ist das Mischsalz sowohl dem Natrium- als auch dem Kalziumchlorid in der Tauleistung überlegen.

Wirksamkeit von Mischsalz (25% Kalziumchlorid)



Schmelztiefe nach zweistündigem Einwirken von gleichen Gewichtsteilen Natriumchlorid, Kalziumchlorid und Mischsalz

Beim Einsatz von Mischsalz wird der Tauvorgang beschleunigt. Das Kalziumchlorid ist schneller wirksam als das Natriumchlorid; in der sich rasch bildenden Lösung wird auch das Natriumchlorid befeuchtet und beginnt den Tauvorgang ebenfalls schneller. Da die Lösung von Kalziumchlorid ein exothermer Vorgang ist, wird ausserdem durch die dabei freigesetzte Wärme der Tauvorgang beschleunigt.

Je nach Temperatur beträgt der Anteil von Kalziumchlorid an der Mischung zwischen 25% und 50%. Da das Kalziumchlorid stark hygroskopisch ist, können solche Mischungen kaum gelagert werden, sondern müssen unmittelbar vor dem Streueinsatz hergestellt werden.

4.5 Feuchtsalze

Um eine möglichst gleichmässige Mischung auszustreuen, ist man dazu übergegangen, das Natriumchlorid unmittelbar vor dem Streuvorgang mit einer Kalziumchloridlösung zu benetzen. Dadurch wird eine bessere Haftfähigkeit auf der Fahrbahn erreicht; durch die Hygroskopizität des

Kalziumchlorids hält die Wirkung länger an. Diese "Feuchtsalzstreuung" setzt sich immer mehr durch.

Im Vergleich zur Trockensalzstreuung weist die Feuchtsalzstreuung verschiedene Vorteile auf:

- Sofortiger Beginn der Tauwirkung, gleichmässigeres Streubild
- Geringere Salzmenge und
- Bessere Wirkung bei tiefen Temperaturen.

Mit diesen Vorteilen kommt die Feuchtsalzstreuung den Erfordernissen eines umweltfreundlichen Winterdienstes entgegen. Allerdings steigt demgegenüber der technische Aufwand zur Glättebekämpfung. Die Kalziumchloridlösung (26% CaCl_2 , 74% Wasser) wird in speziellen Tanks hergestellt und vor dem Einsatz in die Lösungsmitteltanks der Streufahrzeuge abgefüllt. Beim Austritt auf den Sprühteller wird das Salz durch die CaCl_2 -Lösung benetzt.

Auf einem Abschnitt der Brenner-Strasse im Südtoril wurde eine spezielle Verwendung von Feuchtsalz ausprobiert. In einem besonders glatteisgefährdeten Strassenabschnitt wurde eine Rohrleitung verlegt, welche alle 10 m mit einer Sprühdüse versehen ist. Bei Bedarf wird unter Druck eine Kalziumchloridlösung aus einem Tank durch diese Düsen gepumpt. Diese zentral gesteuerte Anlage ist allerdings sehr aufwendig; sie kann nur bei besonders schwierigen Strassenabschnitten Verwendung finden.

Wurde zunächst zur Befeuchtung eine CaCl_2 -Lösung verwendet, hat sich inzwischen gezeigt, dass bis zu Temperaturen von etwa -18°C der Einsatz von NaCl -Sole günstiger und auch von der Anwendung her einfacher ist. Nur bei sehr tiefen Temperaturen ist die Herstellung einer NaCl -Lösung nicht mehr sinnvoll. Die Feuchtsalzstreuung mit einer NaCl -Sole weist gegenüber einer CaCl_2 -Sole folgende Vorteile auf:

- Gegenüber einer gleichwertigen CaCl_2 -Lösung werden ca. 50% Kosten eingespart.
- NaCl ist wegen seiner geringeren Hygroskopizität einfacher zu handhaben als CaCl_2 .
- Das Natriumchlorid löst sich rückstandsfrei auf (im Gegensatz zu CaCl_2).
- Die Fahrbahn trocknet nach dem Auftauprozess schneller als beim Einsatz von CaCl_2 .

Die Gefrierpunktniedrigung bewegt sich bei gleich konzentrierten NaCl - und CaCl_2 -Lösungen im etwa selben Rahmen. Bis zu einer gut zehnprozentigen Lösung erreicht die NaCl -Lösung den tieferen Schmelzpunkt; auch bei Konzentrationen über 20% weist die CaCl_2 -Lösung nur geringe Vorteile auf.

CaCl ₂ [%]	Gefrierpunkt [°C]	NaCl [%]	Gefrierpunkt [°C]
5	- 2.35	5	- 3.05
10	- 5.86	10	- 6.56
15	-11.01	15	-10.39
20	-18.30	20	-16.46
25	-27.50	25	-20.67

4.6 Eishemmende Beläge

Zur Erhöhung der Sicherheit bei besonders durch Glätte gefährdeten Strassenabschnitten wurden auch eishemmende Beläge entwickelt. In Genf entstand ein Produkt, das Verglimit genannt wird (verglas limité). Es handelt sich dabei um eine Drei-Komponenten-Mischung aus teilweise hydrophobiertem Kalziumchlorid mit reaktiven alkalischen Substanzen und einer katalytischen Substanz. Jedes Verglimitkorn ist mit einer Schutzhülle umgeben, die Korngrösse beträgt 1 bis 5 mm. Das Schüttgewicht beträgt 870 kg/m³.

Diese Körner werden dem bituminösen Mischgut der Deckschicht beigegeben; der Anteil beträgt 3 bis 5%. Durch die Pneus des rollenden Verkehrs werden die an der Oberfläche liegenden Körner von ihrer Schutzschicht befreit und der eingeschlossene Taustoff gelangt nach und nach an die Oberfläche, wo er durch die Feuchtigkeit auf der Fahrbahn oder aus der Luft eine schwach konzentrierte Salzlösung bildet. Die Belagsabnützung beträgt pro Jahr etwa 5 mm, wobei ca. 1.6 g Verglimit/m² freigesetzt werden. Bei regelmässigem Verkehrsfluss kommt es dabei bei Temperaturen bis zu -5 °C zu keiner Glatteisbildung.

Eishemmende Beläge sind geeignet, die Bildung von Glätte auf besonders gefährdeten, stark befahrenen Strassenabschnitten zu verhindern. Bei geringeren Verkehrsmengen besteht allerdings die Gefahr, dass sich in den wärmeren Jahreszeiten durch die hygroskopischen Eigenschaften des Kalziumchlorids auf der Fahrbahn Feuchtigkeitsflecken bilden, welche eine Gefahr für die Verkehrssicherheit darstellen können. Beobachtungen haben gezeigt, dass sich bei trockener Fahrbahn, Temperaturen um 20 °C und hoher Luftfeuchtigkeit an mehreren aufeinanderfolgenden niederschlagsfreien Tagen eine gefährliche Schmierschicht bilden kann.

Diesem Problem soll mittels Abstreuen der Belagsoberfläche mit Brechsand während des Verdichtungsvorgangs abgeholfen werden.

Aus diesem Grund und auch wegen der Kosten sind eishemmende Beläge keine Alternative zum herkömmlichen Winterdienst. Sie eignen sich aber zur Entschärfung besonders gefährdeter Stellen (Brücken, exponierte Abschnitte), sofern diese eine entsprechende Verkehrsdichte aufweisen. Auf wenig befahrenen Strassenabschnitten sollten eishemmende Beläge eher nicht eingebaut werden.

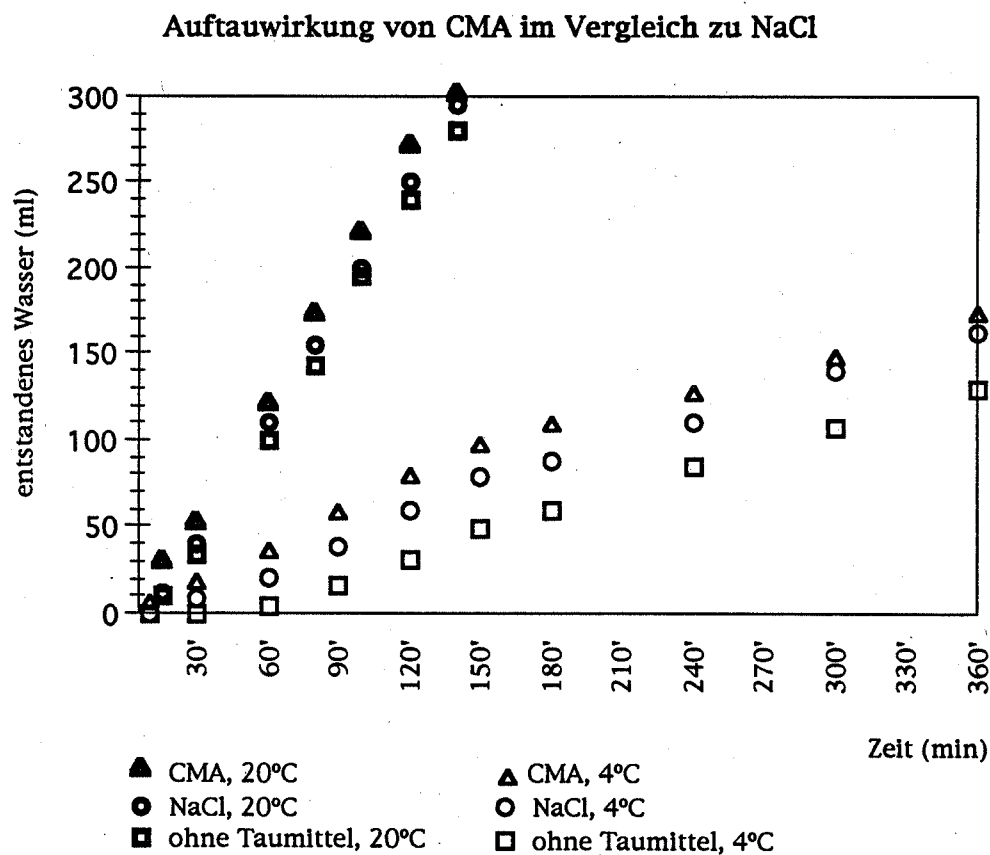
5. Eigenschaften alternativer Taumittel

5.1 Calcium-Magnesium-Acetat (CMA)

In Österreich wurde von einer Forschergruppe ein antikorrosives und umweltfreundliches Auftaumittel auf der Basis von Calcium-Magnesium-Acetat entwickelt und in Untersuchungen für den Einsatz im Winterdienst getestet.

Calcium-Magnesium-Acetat wurde aus Essigsäure und Dolomit hergestellt. Durch entsprechende Zusätze kann der pH-Wert des Streugutes stabil reguliert und damit auf den Boden-pH-Wert des umgebenden Biotopes abgestimmt werden.

Als Folge des exothermen Tauverhaltens von Calcium-Magnesium-Acetat (pro kg wird etwa 205 kJ Energie freigesetzt) ist die Taugeschwindigkeit von CMA sowohl bei höheren wie auch bei tieferen Temperaturen höher als bei NaCl. Die folgende Abbildung zeigt den zeitlichen Verlauf des Auftauens an einer definierten Eisplatte bei -20 °C und bei -4 °C. Die Versuche wurden mit CMA, mit NaCl sowie ohne Taumittel durchgeführt.



Mit einer gesättigten Calcium-Magnesium-Acetat-Lösung wird der Gefrierpunkt auf $-17.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ erniedrigt. Im Vergleich dazu liegt der Gefrierpunkt bei einer gesättigten Natriumchloridlösung bei $-21.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, bei einer gesättigten Kalziumchloridlösung bei $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$. Eine gesättigte CMA-Lösung entspricht somit einer etwa zu zwei Dritteln gesättigten NaCl-Lösung.

Um die gegenüber Natriumchlorid schwächere Auftauwirkung zu kompensieren, muss fast die doppelte Menge Calcium-Magnesium-Acetat (nach Gewicht) eingesetzt werden. Wie oben gezeigt wurde, wird dafür dank dem exothermen Auftauverhalten mit CMA die schnellere Tauwirkung erreicht.

Bei Versuchen in Schweden wurde das im Vergleich zu Natriumchlorid geringere Schüttgewicht (800 kg/m^3 für CMA gegenüber 1317 kg/m^3 für NaCl) als Nachteil ausgewiesen, da dadurch mehr Lagerkapazität und mehr Streufahrzeuge benötigt wurden. Durch die in diesen Versuchen verwendeten kleinen Korngrößen wurde das ausgebrachte CMA schnell verweht. Als weiterer Nachteil wurde ein unangenehmer Geruch beim Streuen erwähnt.

In diesen Versuchen wurden $40\text{ bis }50\text{ g/m}^2$ ausgebracht, um so die gleiche Tauwirkung wie bei NaCl zu erhalten (entspricht der zwei- bis dreifachen Menge). Aus den durchgeführten Korrosionstests an Metallen gingen gute Ergebnisse hervor.

Im Winter 1984/85 wurde in Niederösterreich ein Einsatzversuch im Strassenwinterdienst durchgeführt. Die Testsabschnitte waren etwa 700 m lang und ca. 6 m breit. Sie waren von den mit NaCl bestreuten Abschnitten durch 800 m lange streusalzfreie Abschnitte getrennt, um das Verschleppen der Streumittel zu verzögern.

Zunächst ergab sich bei der Streuung von Calcium-Magnesium-Acetat eine starke Staubentwicklung und ein starkes Verwehen des Materials. Das Streubild war unregelmässig. Diese Mängel konnten später durch eine gröbere Korngrösse bei CMA und verbesserte Streufahrzeuge beseitigt werden.

Bei den Versuchen ergab sich bei der Streuung der gleichen Menge Calcium-Magnesium-Acetat wie Natriumchlorid eine schwächere Auftauwirkung des CMA. Bei Versuchen mit der doppelten

Menge CMA war die Auftauwirkung deutlich besser als beim NaCl. Dies folgt aus der geringeren Schmelzpunktniedrigung. Die folgende Tabelle zeigt den Schmelzpunkt von CMA- und NaCl-Lösungen:

Einwaage / 100 g H ₂ O	Schmelzpunkt bei NaCl	Schmelzpunkt bei CMA
15 g	-5.6 °C	-9.6 °C
30 g	-12.0 °C	-21.2 °C

Es zeigte sich, dass bei tieferen Temperaturen die Menge des ausgebrachten CMA im Vergleich zu NaCl sehr viel stärker erhöht werden muss, damit der gleiche Tauereffekt erzielt werden kann.

Calcium-Magnesium-Acetat weist gegenüber Natriumchlorid verschiedene (ge-)wichtige Vorteile auf: Hier sind vor allem die bedeutend bessere Umweltverträglichkeit zu erwähnen, aber auch das antikorrosive Verhalten und die schnellere Wirkung.

Andererseits weist CMA aber auch verschiedene Nachteile auf: So das geringere Schüttgewicht, das zu höheren Lager-, Fracht- und Streukosten führt, die grössere Hygroskopizität sowie die deutlich höheren Herstellungs- und Anwendungskosten.

Aufgrund der erwähnten positiven Eigenschaften scheint Calcium-Magnesium-Acetat durchaus ein mögliches Streumittel für einen umweltfreundlicheren Winterdienst zu sein, dies vor allem bei weniger tiefen Temperaturen. Allerdings wird es noch verschiedene Versuche, vor allem bei der Produktion aber auch beim Streuen, bedürfen, um einen definitiven Einsatz von CMA im Strassenwinterdienst zu ermöglichen.

5.2 Technische Harnstoffe (Urea)

Laut Stoffverordnung ist technischer Harnstoff ($\text{CO}(\text{H}_2\text{O})_2$) als Auftaumittel in besonderen Situationen zulässig. Für den generellen Winterdienst kommt er allerdings nicht in Frage. Die Wirkung von Harnstoff entfaltet sich erst bei nachträglicher Befeuchtung. Harnstoff hat ein

Schüttgewicht von 600 kg/m^3 ; er ist bis zu Bodentemperaturen von -10°C wirksam. Die folgende Tabelle zeigt den Eisflockenpunkt verschiedener Harnstofflösungen:

Lösung	Eisflockenpunkt
1 %	-0.2°C
5 %	-1.9°C
10 %	-3.8°C
20 %	-7.1°C
30 %	-10.0°C

Bei dünnen Press-Schneelagen liegen nach dem Streuen die Ureakörner zunächst ohne merkliche Veränderungen auf der Belagsoberfläche. Rund um das Korn entstehen etwa 3 mm breite Freizonen. Bei dickeren Platten entstehen die sogenannten "Wurmkanäle", eine Eigenheit beim Eindringen von Urea in Eis. Ein Lösen der Platten von der Belagsoberfläche findet im allgemeinen nicht statt.

Seine volle Wirkung entfaltet technischer Harnstoff allerdings zusammen mit flüssigen Enteisern. Bei Mischungen von Urea mit Alkoholen oder Glykolen (etwa im Verhältnis von 50:50) setzt der Tauvorgang bedeutend schneller ein, festgefahrene Schneedecken zersetzen sich und lösen sich von der Fahrbahn, so dass sie mechanisch entfernt werden können.

Harnstoff ist wesentlich weniger korrosiv als Auftausalz. Die Tauwirksamkeit endet allerdings bei etwa -6°C ; bei dieser Temperatur muss bereits etwa die doppelte Menge als bei Natriumchlorid ausgebracht werden. Harnstoff greift ausserdem Gummimischungen an. Während des Auftauvorgangs wird die Fahrbahn schlüpfrig. Bei massivem Einsatz von technischem Harnstoff im Strassenwinterdienst würde die Umgebung stark überdüngt, in langsam fliessenden oder stehenden Gewässern käme es zu Euthropieerscheinungen.

Harnstoff spaltet sich im Wasser in Kohlendioxid und Ammoniak (Hydrolisierung); Ammoniak ist aber ab einem pH-Wert von 8,5 für Fische in geringsten Mengen toxisch. Sowohl aus Gründen der Wirksamkeit als auch des Umweltschutzes bietet Harnstoff keine Alternative zum Streusalz. Er findet wegen seiner wenig korrosiven Wirkung lediglich (zusammen mit oder neben Alkoholen und Glykolen) auf Flughäfen Verwendung.

5.3 Alkohole und Glykole

Die Verwendung von Alkoholen und Glykolen ist auf Flughäfen beschränkt. Dort werden Isopropylalkohol oder Mischungen aus Isopropylalkohol und Monoethylenglykol im Verhältnis von 1:1 bis 3:1 angewendet. Die flüssigen Mischungen werden unter Druck zerstäubt und mittels Sprühvorrichtungen ausgebracht.

Die Anwendung dieser Mittel ist mit verschiedenen Schwierigkeiten verbunden. Isopropylalkohol reduziert die Oberflächenspannung des Schmelzwassers, so dass dieses in feinste Risse der Fahrbahnoberfläche eindringen kann. Wenn der Isopropylalkohol dort verdunstet, so gefriert das in den Rissen zurückbleibende Wasser. Dadurch können Teile der Fahrbahn abgesprengt werden.

Isopropylalkohol muss wegen seines niedrigen Flammpunktes von 13 °C besonders vorsichtig behandelt werden; er kann nur in verdünnter Form auf die Fahrbahn ausgebracht werden.

Die Taugeschwindigkeit von Isopropylalkohol ist zu Beginn grösser als diejenige von Natriumchlorid. Sie nimmt dann aber stark ab, dies bedingt durch die Flächenwirkung der Taupflüssigkeit. Alkohole und Glykole sind für die Glättebekämpfung bedeutend kostenintensiver als Natriumchlorid.

5.4 Ammoniak und Ammoniumverbindungen

Auch Ammoniak und Ammoniumverbindungen wirken als Auftaumittel. So enthält z.B. das in Österreich hergestellte "Plantabon Eisex" 80% Ammoniumsulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), 12% Harnstoff und 5% Diammoniumhydrogenphosphat ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$). Die folgende Tabelle zeigt die Schmelzpunkterniedrigung durch verschiedene Ammoniumverbindungen:

Taumittel	kryohydratischer Punkt
Natriumchlorid	- 21.2 °C
Ammoniak (verflüssigt)	-100.0 °C
Ammoniumnitrat	- 16.8 °C
Ammoniumsulfat	- 19.0 °C
Ammoniumchlorid	- 15.4 °C

Ammoniumsulfat wird aus NH_3 gewonnen, welches gasförmig in Schwefelsäure eingeleitet wird. Es entstehen nadelförmige oder dicktafelige Kristalle. Durch Zusätze (Mg, Mn, Zn) lässt sich ein Produkt in Schuppenform herstellen. Die folgende Tabelle zeigt den Bedarf an Ammoniumsulfat zum Schmelzen von 1 kg Eis im Vergleich zu anderen Taumitteln:

Temperatur Taumittel	-2 °C	-5 °C	-8 °C
Natriumchlorid	36 g	85 g	138 g
Kalziumchlorid	54g	128 g	179 g
Harnstoff	60 g	150 g	263 g
Ammoniumsulfat	100 g	220 g	314 g

Der Vergleich zeigt, dass bei Ammoniumsulfat, ähnlich wie bei Harnstoff, mindestens die doppelte Taumittelmenge eingesetzt werden muss.

Ammoniumsulfat senkt den Schmelzpunkt auf -19 °C, ist hygroskopisch und, ähnlich wie bei Kalziumchlorid, kann das Produkt "zusammenbacken".

Ammoniumsulfat wirkt stark korrosiv, wenn auch etwas weniger als Streusalz. Allerdings greift Ammoniumsulfat auch Beton sehr stark an. Ammoniumsulfat ist damit aus verschiedenen Gründen für den Strassenwinterdienst nicht geeignet.

5.5 Phosphate

Tetrakaliumphosphat ist etwa 15 mal teurer als Natriumchlorid; die Tauwirksamkeit endet bereits bei -4 °C. Ein Gemisch aus 75% Trikaliumphosphat und 25% Formamid ist bis -23.3 °C tauwirksam.

Sowohl aus ökologischen wie auch ökonomischen Gründen kommen Phosphate für den Strassenwinterdienst nicht in Frage.

5.6 Formamid

Formamid ist weniger korrosiv als Natrium- oder Kalziumchlorid. Es ist gemäss amerikanischen Angaben 10 bis 15 mal teurer als NaCl. Formamid hat einen Festpunkt von 2.6 °C; seine Ausbringung erfolgt daher als wässrige Lösung oder in Form von Gemischen mit anderen Substanzen. Der kryohydratische Punkt liegt bei -48 °C.

Eine Mischung aus 75% Formamid, 20% Harnstoff und 5% Wasser setzt den Gefrierpunkt des Wassers auf - 18 °C herab.

Vor allem wegen der Kosten, aber auch wegen der nachteiligen Folgen der Bestandteile kommt auch diese Mischung für den Strassenwinterdienst kaum in Frage.

5.7 Strassenheizungen

Für exponierte Strassenabschnitte, insbesondere Brücken, kommen als Taumittel auch Strassenheizungen in Frage. Diese sind allerdings sehr kostenintensiv, so dass sie nur in Ausnahmefällen zur Anwendung kommen können.

6. Schlussfolgerungen

6.1 Resultate

6.1.1 Mechanische Entfernung

Die mechanische Entfernung von Schnee und Matsch ist ein zentraler Bereich jedes Winterdienstes. Die Bekämpfung von Schnee- und Eisglätte kann erst erfolgen, wenn die Schneedecke mechanisch geräumt ist.

In diesem Bereich des Winterdienstes liegen die Entwicklungspotentiale in verbesserten und automatisierten Prognosen über Schneefall, Schnee- und Eisglätte.

In speziellen Fällen kann die mechanische Räumung soweit gehen, dass sich eine Glättebekämpfung mit abstumpfenden oder auftauenden Stoffen erübrigt. Dies ist der Fall, wenn mit Kehrgeräten der Schnee praktisch rückstandslos entfernt werden kann. Dies wird allerdings sehr selten der Fall sein.

6.1.2 Abstumpfende Stoffe

Zum Einsatz von abstumpfenden Streustoffen bestehen unterschiedliche Erfahrungen. Verschiedene Untersuchungen sowohl für Innerortsbereiche als auch für Ausserortsstrecken und -Netze liegen vor.

In den Berliner Versuchen mit einer möglichst weitgehenden Reduktion der verwendeten Taumittel zeigte sich ein grösserer Einfluss des geänderten Winterdienstes auf die Fahrgeschwindigkeiten und den Verkehrsablauf. Die Personen- und Sachschäden stiegen nur gering an.

Bei Gefällsstrecken, aber auch bei besonderen meteorologischen Verhältnissen (Eisregen) kann nicht auf den Einsatz von auftauenden Stoffen verzichtet werden. Ebenso scheint der Einsatz von Tausalzen auf Routen angebracht, auf denen regelmässig Rettungsfahrzeuge (Feuerwehr, Krankenwagen), aber auch dort, wo Linienbusse verkehren.

Im Innerortsbereich kann mit einzelnen Ausnahmen ein Winterdienst mit stark reduziertem Taumiteleinsatz durchaus möglich sein. Ein Winterdienst völlig ohne Taumittel scheint vorläufig noch nicht möglich zu sein. Im Ausserortsbereich, auf schnelleren, stark befahrenen Abschnitten, bieten sich mehr Schwierigkeiten.

Von den Versuchen mit Mischungen von abstumpfenden und auftauenden Streustoffen liegen widersprüchliche Resultate vor. Am besten scheinen Versuche abzuschneiden, bei welchen die abstumpfenden Streustoffe mit Sole benetzt wurden.

Generell muss beim Winterdienst mit abstumpfenden Mitteln eher mit höheren Kosten gerechnet werden, da dieser mit mehr Mannstunden Arbeit verbunden ist.

6.1.3 Auftauende Stoffe

Es liegen Informationen zu sehr vielen auftauenden Stoffen vor. Zum generellen Gebrauch im Strassenwinterdienst bieten sich allerdings zu dem heute bereits gängigen Natriumchlorid und Kalziumchlorid (in geringem Masse Magnesiumchlorid) noch keine Alternativen an.

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit, des Umweltschutzes oder ungenügender Tauwirkung scheiden fast alle alternativen Möglichkeiten aus. Eine Ausnahme bildet dabei Calzium-Magnesium-Acetat (CMA). Allerdings zeigten sich auch hier bei den bisherigen Versuchen Probleme mit der Hygroskopizität, Geruchs- und Staubentwicklung. Das grösste Hindernis stellen dabei allerdings die sehr hohen Kosten dar (je nach Untersuchung zwischen dem achtfachen und dem zehnfachen der Kosten des Winterdienstes mit Natriumchlorid).

6.2 Empfehlungen

Nach dem aktuellen Stand der Erkenntnisse ist es sinnvoll, bei der Verbesserung des Winterdienstes auf eine Optimierung der etablierten Mittel zu setzen:

- Ausscheiden von Strassen- und Netzabschnitten, welche für einen (weitgehend) streusalzfreien Winterdienst in Frage kommen.
- Bei Streusalzeinsätzen ist auf eine möglichst geringe ausgebrachte Menge von Salz zu achten. Dabei kann vor allem der konsequente Einsatz von Feuchtsalz Fortschritte bringen. Dieser bringt eine bessere Tauwirksamkeit auch geringer Mengen Salz ebenso wie ein regelmässigeres Streubild.
- Auch eine vorbeugende Feuchtsalzstreuung bei Lufttemperaturen um 0° C (fallende Tendenz), Luftfeuchtigkeiten über 75% und Fahrbahntemperaturen unter 0° C kann gute Resultate mit geringen Salzmengen bringen.

- Durch die Verwendung von Mischsalzen (je nach Temperatur) kann die ausgebrachte Salzmenge bei gleichen Resultaten oft verringert werden.
- Bei wiederholten Streuungen soll die auf der Fahrbahn verbliebene Restsalzmenge beachtet und bei der Dosierung des Streugutes berücksichtigt werden.
- Mit einem guten Unterhalt und regelmässigen Kontrollen der Streugeräte kann der Streumittelverbrauch minimiert werden.
- Eine Reduktion der ausgebrachten Streusalzmenge sollte nicht auf Kosten der Radwege gehen, wie dies zum Teil beobachtet werden kann. Da die Fahrbahnbreiten bei winterlichen Verhältnissen durch Schneewälle am Strassenrand oft reduziert sind, ist ein Ausweichen der Radfahrer auf die Fahrbahn für den motorisierten Individualverkehr meist gefährlich.
- Ebenso wenig sollten im Winterdienst die Gehwege vernachlässigt werden. Insbesondere in Städten kann ein massiv eingeschränkter Winterdienst auf Gehwegen zur eigentlichen Verbannung von älteren Menschen und anderen Leuten, welche nicht so gut zu Fuss sind, aus dem Strassenbild und damit aus der Öffentlichkeit führen.

6.3 Weitere Arbeiten

Aufgrund der vorliegenden Literatur zum Thema Winterdienst kann festgestellt werden, dass die erfolgversprechendsten Ansätze für einen umweltfreundlicheren und ökonomischen Winterdienst vor allem bei den traditionellen Hilfsmitteln für den Strassenwinterdienst liegen.

Der einzige neuartige auftauende Streustoff, der unter Umständen einen teilweisen Ersatz für das bisher verwendete Streusalz bieten kann, ist das Calcium-Magnesium-Acetat. Hier müsste man aber vor allem die Kostenseite in den Griff bekommen.

Die kostengünstige Herstellung von CMA in einer Form, welche die Probleme mit der Geruchsbelästigung und der Staubentwicklung minimiert, ist zu erforschen.

Bei den abstumpfenden Stoffen scheint die Verwendung von abstumpfenden Stoffen, welche mit auftauenden Stoffen benetzt sind, unter Umständen einen Beitrag zur Einschränkung des Salzverbrauches leisten zu können.

Der Einsatz von mit Sole benetztem Splitt ist in Labor- und Feldversuchen zu prüfen.

Mit diesen beiden Bereichen sind gemäss dem jetzigen Stand der Literatur die beiden erfolgversprechendsten Richtungen für einen streusalzfreien resp. -armen Winterdienst abgedeckt.

Allerdings zeigen verschiedene Studien, dass die auftretenden Probleme aus Sicht der Verkehrstechnik und -Sicherheit zu einem grossen Teil mit dem Fahrverhalten bei winterlichen Strassenverhältnissen zusammenhängen. Deshalb sollte auch diesem Aspekt Beachtung geschenkt werden: Bei einem angepassteren Fahrverhalten der Autofahrer senken sich die Anforderungen an den Winterdienst.

Möglichkeiten zur Erzielung eines angepassteren Fahrverhaltens bei winterlichen Strassenverhältnissen sind zu prüfen.

7. Literatur

- (1) Baudirektion des Kantons Zürich
Versuch Winterdienst ohne Taumittel; Schlussbericht (2 Bände), Zürich 1973
- (2) Bundesministerium für Bauten und Technik
Stand der Betreuungsmöglichkeiten im Winter
Strassenforschung Heft 41, Wien 1975
- (3) Walter Durth et al.
Die Wirksamkeit des Strassenwinterdienstes auf die Verkehrssicherheit und die Wirtschaftlichkeit des Verkehrsablaufes
Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik Heft 550, Bonn 1988
- (4) Walter Durth et al.
Vergleichsuntersuchungen zum Weissen Netz mit eingeschränktem Winterdienst
Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik Heft 550, Bonn 1988
- (5) OECD
Réduction de l'utilisation des fondants dans l'entretien hivernal, Paris 1989
- (6) Hans Kuhle
Anforderungen und Erwartungen an den Strassenwinterdienst aus verkehrspolitischer Sicht
Strasse und Autobahn, Heft 1/1989
- (7) Matthias Blumer
Vereisungshemmung - Vergleich zweier Beläge auf der Nationalstrasse N4 zwischen Seewen und Goldau
Strasse und Verkehr, Heft 10/1986
- (8) S. Leonardi/W. Flückiger
Die Verfrachtung salzhaltiger Verkehrsgischt entlang Autobahnen und ihre Auswirkung auf exponierte Gehölze
Strasse und Verkehr, Heft 1/1987
- (9) W. Bischofberger
Einfluss des Tausalzes auf Oberflächen- und Grundwasser
Strasse und Autobahn, Heft 5/1987
- (10) Walter Durth
Stand und Entwicklung des Winterdienstes in Städten und Gemeinden
Strasse und Autobahn, Heft 1/1989

- (11) Günter Hoffmann et al.
Einfluss eines streusalzlosen Strassenwinterdienstes auf die Verkehrssicherheit - Teil I:
Zum Kraftschlussangebot auf winterlichen Fahrbahnen bei Verwendung mineralischer
Streustoffe
Strasse und Autobahn, Heft 4/1985
- (12) Günter Hoffmann / Jürgen Gast
Einfluss eines streusalzlosen Strassenwinterdienstes auf die Verkehrssicherheit - Teil II:
Zum Fahrverhalten auf winterlichen städtischen Hauptstrassen
Strasse und Autobahn, Heft 5/1985
- (13) Günter Hoffmann
Einfluss eines streusalzlosen Strassenwinterdienstes auf die Verkehrssicherheit - Teil III:
Erfahrungen aus dem Berliner Versuch in den Wintern 1980/81 und 1981/82
Strasse und Autobahn, Heft 6/1985
- (14) Urs Keller
Die Meteorologie im Dienste des Strassenunterhaltes
Strasse und Verkehr Heft 11/1987
- (15) W. Durth / H. Hanke
VIII. Internationaler PIACR-Winterdienst-Kongress in Tromsø
Strasse und Autobahn, Heft 5/1990
- (16) Franz-Josef Wagner
Güteanforderungen an Streustoffe zur Glättebekämpfung im Strassenwinterdienst
Strasse und Autobahn, Heft 2/1989
- (17) Edwin Müller
Die neue Stoffverordnung des Umweltschutzgesetzes und die Konsequenzen für den
Winterdienst
Strasse und Verkehr, Heft 11/1987
- (18) Walter Durth et al.
Verkehrssicherheit und Wirtschaftlichkeit des Verkehrsablaufs im Winter
Strasse und Autobahn, Heft 2/1988
- (19) Otmar Speth
Salzverbrauch beim Strassenwinterdienst in Abhängigkeit von der Winterintensität
Strasse und Autobahn, Heft 2/1988
- (20) Rainer Schneewolf
Streumittelreduzierung im kommunalen Winterdienst und Verkehrssicherheit - Ergebnisse
aus einer Umfrage in 211 Städten und Gemeinden
Strasse und Autobahn, Heft 1/1986

- (21) Siegfried Hahn
Praxis der Feuchtsalzstreuung
Strasse und Verkehr, Heft 11/1987
- (22) Ludwig Steinhauser
Erfahrungen mit Feuchtsalz im Winterdienst
Strasse und Autobahn, Heft 4/1989
- (23) Ulrich Schlup
Strassenwinterdienst heute
Strasse und Verkehr, Heft 11/1987
- (24) Rainer Schneewolf
Verkehrsunfälle in Abhängigkeit von Winter und Winterdienst in Hamburg
Strasse und Autobahn, Heft 3/1987
- (25) Technische Dreiländerkommission ATR-FG-VSS
Einwirkung der Auftaumittel auf Gehölze
Strasse und Verkehr, Heft 9/1974
- (26) H. Hanke / C. Levin
Eingeschränkte Salzstreuung auf Landstrassen - Auswirkungen auf Verkehrsablauf
und Verkehrssicherheit
Strasse und Autobahn, Heft 10/1988
- (27) J. Washüttl et al.
Entwicklung eines neuen Auftaumittels
Strassenforschung Heft 262, Wien 1985
- (28) A. Bacchus
Financial Implications of Salt vs. CMA as a Deicing Agent
Ministry of Transportation of Ontario, Ontario 1987
- (29) Sheridan Technical Associates Inc.
Calcium Magnesium Acetate (CMA) Production: An Assessment of Process Technology
Ministry of Transportation of Ontario, Ontario 1990
- (30) W. Durth / H. Hanke
Optimierung der Einsatzplanung für den Strassenwinterdienst in Städten und Gemeinden
Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 548, Bonn 1989
- (31) H. Balder / J. Nierste
Ökologische Auswirkungen eines tausalzfreien innerstädtischen Winterdienstes
Texte Umweltbundesamt, Berlin 1988

- (32) Ch.A. Huber / J. Thoma
Das Unfallgeschehen auf winterlichen Strassen
Strasse und Verkehr, Heft 11/1990
- (33) Horst Hanke
Verkehrssicherheit und Wirtschaftlichkeit des Verkehrs im Winter - Auswirkungen
des Winterdienstes
Strasse und Verkehr, Heft 11/1990
- (34) Rainer Schneewolf
Winterdienstbericht
Berichte des Umweltbundesamtes 3/85, Berlin 1985
- (36) M. Ferber, H.-D. Gregor
Umweltfreundlicher Winterdienst, Strategien-Alternativen-Möglichkeiten
Beihefte zu Müll und Abfall, Heft 18, Berlin 1982
- (37) Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Strassenwesen
Winterdienst-Kongress 1985, Wien 1985
- (38) Walter Balasch
Die Anwendung von Auftausalzen und deren mögliche Alternativen
Forschungsarbeiten aus dem Verkehrswesen, Band 14
Bundesministerium für öffentliche Wirtschaft und Verkehr, Wien 1988

Nach Abschluss der ursprünglichen Arbeiten eingetroffene Literatur:

- (39) St. Möller, C.-G. Wallmann, N.P. Gregersen
Winter road maintenance in urban areas – road safety and trafficability
TFB & VTI forskning/research 2:2A, 1991
- (40) A. Golwer
Belastung von Böden und Grundwasser durch Verkehrswege
Forum Städte-Hygiene (42), September/Okttober 1991
- (41) G. Oeberg, K. Gustafson, L. Axelson
More effective de-icing with less salt, Final report of the MINSALT project
VTI Rapport 369 SA, 1991
- (42) "Sparsamer Salzeinsatz", Kanton Bern
Automobilrevue Nr. 48/1992

- (43) W. Durth, Ch. Levin
3. Internationales Symposium über Winterdienst-Technologie
Strasse und Autobahn, Heft 5/1993

- (44) K. Moritz, J. Schulte
Kalzium-Magnesium-Acetat als alternatives Auftaumittel – Eine zusammen-
fassende Beurteilung
Strasse und Autobahn, Heft 5/1993