

Prof. Dr. sc. techn. Dipl.-Ing.

HANS PETER LENZ

Technische Universität Wien  
c/o ÖVK  
ÖSTERREICHISCHER VEREIN  
FÜR KRAFTFAHRZEUGTECHNIK

A-1010 Wien, Elisabethstrasse 26

Telefon 5852741 20  
Telefax 5866294  
Vorwahl Inland (01)  
Vorwahl Ausland (0043 1)

## Bericht

### **" Verminderung der Staubbelastung bei der Reinigung der Straßen von Streusplitt "**

im Auftrag  
der Magistratsabteilung 48

o.Prof. Dr. H.P. Lenz

Dipl.-Ing. R. Rosenitsch

Dieser Bericht umfasst 25 Seiten.

#### Verteiler:

MA 48	3x
Prof. Lenz	1x
Hr. Rosenitsch	1x

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Bedarf und Möglichkeiten für den Frostschutz Einsatz .....</b>	<b>5</b>
2.1. Bedingungen zur Funktionsfähigkeit der Kehrmaschine.....	5
2.2. Bindung des Staubes beim unmittelbaren Kehrvorganges im Bereich der Bürsten.....	6
<b>3. Frostschutzmittel im Vergleich.....</b>	<b>7</b>
3.1. Salze.....	7
3.2. Alkohole.....	10
3.3. Harnstoff.....	13
3.4. Kaliumcarbonat.....	14
<b>4. Technisch mechanische Optimierung am Kehrgerät .....</b>	<b>15</b>
4.1. Kehren um den Gefrierpunkt .....	17
4.2. Verringerung der Staubbelastung .....	19
<b>5. Zusammenfassung .....</b>	<b>22</b>
<b>6. Empfehlungen an die MA 48 .....</b>	<b>24</b>
6.1. Kurzfristige Maßnahmen.....	24
6.2. Langfristige Maßnahmen.....	24
<b>7. Literatur .....</b>	<b>25</b>

## 1. Einleitung

Aufgrund des in den letzten Jahren stark gestiegenen Interesses am Thema Partikel-Emissionen und der EU-weiten Einführung von strengerem Immissionsgrenzwerten für Partikel gemäß Richtlinie 1999/30/EG ergibt sich möglicherweise auch die Notwendigkeit beim Winterdienst auf unseren Straßen der erhöhten Staubbildung entgegenzutreten, bzw. durch vermehrte Zwischenreinigung die Immissionskonzentrationen zu verringern.

Um eine sinnvolle Zwischenreinigung im Zeitrahmen des Winterdienstes zu ermöglichen, sind drei Hauptbedingungen für die Einsatzfähigkeit zu erfüllen, siehe dazu auch Bild 1. Es muss die Reinigungsaufgabe erfüllt werden, wird dieses Ziel nicht erreicht, ist vor allem jeder weitere Kostenaufwand zu hinterfragen. Die technische Zuverlässigkeit der eingesetzten Verfahren muss soweit gewahrt werden, sodass ein geordneter Betrieb möglich ist. Schließlich ist die ökologische Bewertung entscheidend für die Sinnhaftigkeit der gesamten Maßnahme.

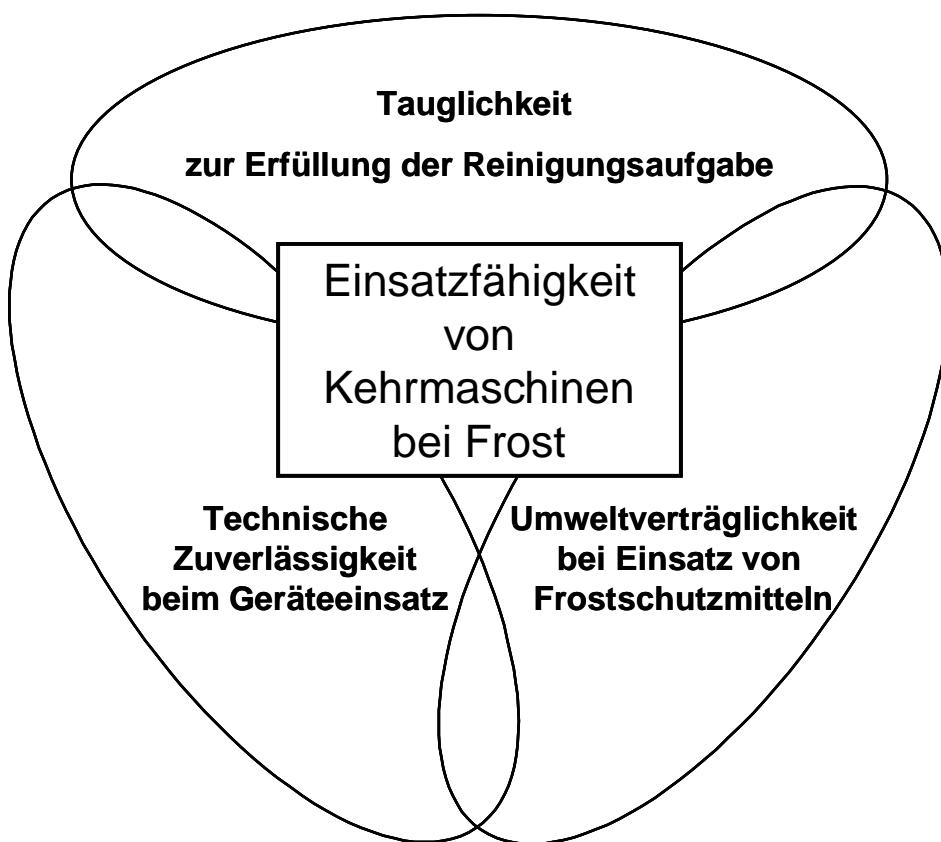


Bild 1: Bedingungen um eine effiziente Straßenreinigung zu gewährleisten.

Wie bei allen vom Umweltgedanken motivierten Maßnahmen ist auch hier darauf zu achten, dass nicht ein Problem durch ein Anderes ersetzt wird. Erinnert sei, dass vor wenigen Jahren die Minimierung von Frostschutzmitteln oberste Priorität hatte. Dies führte zur Ausweitung der Splittstreuung. Nun wird die Salzstreuung forciert und die Splittstreuung verringert. Beides wird jeweils mit Hypothesen zur Umweltverträglichkeit begründet.

Derzeit scheint sich im Sinne des Umweltgedankens die Vorstellung durchzusetzen, in kurzfristigen Zyklen bei Frostgefahr zu streuen und unmittelbar nach Glatteisentwarnung zu kehren. Das bedeutet bei klimatischen Bedingungen wie in Wien im Winterhalbjahr vielfach in den Abendstunden zu streuen, um bei Entwarnung in den Morgenstunden zu kehren.

Kehren bedeutet jedoch immer auch das Aufwirbeln von bereits abgesetztem Staub und daher eine lokale Immissionserhöhung, somit ist auch ein Kompromiss bei der Kehrfrequenz zu suchen.

Die für diese Arbeit gegebene Problemstellung stellt sich wie folgt dar:

Durch das starke Aufwirbeln von Staub in Folge des Kehrens von Streusplitt ist es erforderlich, hier Verbesserungen einzuführen. Dies gilt insbesondere für Zwischenreinigungen in trocknen Frostperioden, in denen es nicht möglich ist, Wasser zum Staubbinden einzusetzen, da durch das anschließende Gefrieren des Wassers auf der Straße Rutschgefahr auftritt.

Versuche durch Wasserzusätze, die die Gefriertemperatur herabsetzen, z.B. Kalium-Carbamat, Verbesserung zu erzielen, waren nicht erfolgreich, da sich die Düsen der Spritzgeräte zusetzen. Das übliche Absaugen des Staubes in der derzeitigen Form erscheint auch nicht ausreichend, da die Kehrbürsten den Split und dann den Staub wegschleudern.

In den folgenden Kapiteln soll nun Bedarf und Möglichkeiten für den Frostschutz-Einsatz dargestellt werden, sowie die technisch mechanische Optimierung am Kehrgerät.

## 2. Bedarf und Möglichkeiten für den Frostschutz Einsatz

### 2.1. Bedingungen zur Funktionsfähigkeit der Kehrmaschine

Die Anforderungen an moderne Kehr- und Saugmaschinen sind vielfältiger Natur. Sie sollen klassischen Müll beseitigen, der von Papier bis zu Dosen und sogar Flaschen reicht, und Jahreszeitlich bedingte Aufgaben lösen, wie Laubkehren und Streusplitt entfernen. Schließlich müssen die Geräte in der Lage sein, die Staub- und Feinstaubbelastung in den Straßen zu senken.

Technisch gesprochen muss die Reinigungswirkung für Stoffe mit stark unterschiedlichen spezifischen Gewichten und unterschiedlichem aerodynamischem Verhalten, wie Steinchen oder Laubblätter, gewährleistet sein. Diese Anforderungen werden zusätzlich verschärft durch den Größenbereich der Verschmutzung von weniger als 1[ $\mu\text{m}$ ] bis über 1[dm], also nahezu 1 zu einer Million.

Zur Bewältigung der spezifisch schweren Schmutzanteile ist eine hohe Saugleistung einzusetzen, die sich auch in einem hohen Volumenstrom von mehreren  $\text{m}^3/\text{sec}$  Luft oder in der Regel deutlich über 10 000  $\text{m}^3$  pro Stunde ausdrückt.

Diese Luftmassen sind andererseits extrem stark mit Staub und Feinstaub belastet. Diese Partikelmassen sind durch geeignete Maßnahmen im Gerät abzuscheiden, wenn man eine deutliche Partikel-Immissionszunahme vermeiden will. In trockenem Zustand ist unter den gegebenen Verhältnissen des begrenzten Raumes in einem Fahrzeug diese Aufgabe durch Abluftfilter nicht zu erfüllen. Daher verwenden alle diese Reinigungsfahrzeuge Anfeuchtsysteme im Saugschacht. Die Anfeuchtung führt zu einer teilweisen Koagulation also Verklumpung der Feinanteile am Kehrgut und fördert so das Absinken in den Kehrbehälter. Außerdem verhindert sie, dass bereits abgeschiedene Anteile vom Luftstrom wieder mitgerissen werden können.

Trotz dieser Maßnahmen ist die Abluft noch im Bereich von einigen [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ] mit  $\text{PM}_{10}$  ( $\text{PM}_{10}$  bedeutet Partikel mit einer Größenobergrenze von 10 $\mu\text{m}$ ) belastet, also doch in der Regel deutlich höher als die Umgebungsluft, für die Grenzwerte im [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] Bereich gelten.

Aus wirtschaftlichen aber auch aus ökologischen Gründen wird zum Anfeuchten Wasser verwendet. Die Unbedenklichkeit von Wasser ist spätestens bei der Deponierung oder Aufarbeitung vom Kehrgut von Bedeutung.

Nachteilig wirkt sich im Winter die Frostgefahr aus. Das Wasser im Wassertank darf nicht einfrieren, das Sauggerät darf nicht vereisen und das Kehrgut darf im Fahrzeug nicht festfrieren. Wenn das Kehrgerät in temperierten Garagen untergebracht ist, kann es begrenzte Zeit auch um den Gefrierpunkt eingesetzt werden. Durch geeignete Wasservorwärmung z.B. vom Kühlkreislauf des Motors und Isolierung des Sammelbehälters kann die Betriebsdauer in Maßen auch erweitert werden. Insgesamt sind dem Einsatz bei Temperaturen um den Gefrierpunkt ohne Frostschutz sehr enge Grenzen gesetzt.

Die Maschinen sind Korrosionsfest ausgelegt, sodass nach Herstellerrücksprache in der Regel auch Frostschutzzugabe möglich scheint, dabei ist dann auf Kosten, aber viel mehr noch auf Eintrag in die Umwelt beim Deponieren zu achten.

## **2.2. Bindung des Staubes beim unmittelbaren Kehrvorganges im Bereich der Bürsten.**

Der zweite Bereich der Reinigungsarbeiten der bei Frosttemperaturen problematisch erscheint, ist die Staubbbindung unmittelbar an der Bürste, speziell an den weit außen vom Saugmund weit entfernten Tellerbürsten, die jedoch für die Rinnsteinreinigung und Eckenkehrung essentiell sind.

Prinzipiell ist Kehren ohne Sprühdüsen oder Sprühbalken möglich und es sind auch nicht alle Kehrfahrzeuge mit dieser Ausstattung versehen. Problematisch ist jedoch der Umstand, dass man bei tieferen Temperaturen Splittkehren möchte, um die Staubbelastung der Luft auf unseren Straßen zu verringern, der trockene Kehrvorgang aber speziell feinen Staub aufwirbelt und der längere Zeit in Schwabe bleib.

Denkbar ist bei Einsatz in kalter Jahreszeit nicht frierende Medien einzusetzen, die den Staub um die Bürste binden. Dieses Medium muss weitestgehend umweltverträglich sein, da ein erheblicher Anteil in der Umgebung direkt zurückgelassen wird.

### **3. Frostschutzmittel im Vergleich**

#### **3.1. Salze**

Es gibt eine Vielzahl von Frostschutzmitteln und Auftaumitteln für eine breite Palette von Anwendungen, die sich zu einigen Hauptgruppen zusammenfassen lassen:

- Salze, wie sie z.B. beim Winterdienst Einsatz finden,
- Alkohole, wie sie für Scheibenwaschanlagen oder als Motorkühlmittel verwendet werden,
- Sonstige, wie Harnstoff oder andere Lösungen mit tiefem Gefrierpunkt.

Die derzeit am häufigsten in Europa verwendeten Auftaumittel sind bei Salzen Natriumchlorid ( $\text{NaCl}$ ), gefolgt von Calciumchlorid ( $\text{CaCl}_2$ ) und Magnesiumchlorid ( $\text{MgCl}_2$ ) und deren Mischungen.

$\text{NaCl}$  also Kochsalz ist das preiswerteste Auftaumittel und eignet sich für Temperaturen bis etwa  $-10^\circ \text{ C}$ , während bei tieferen Temperaturen  $\text{MgCl}_2$  und  $\text{CaCl}_2$  geeigneter sind und bis etwa  $-15^\circ \text{ C}$  anwendbar bleiben; Tabelle 1; [1], [2].

Salzmischungen verbinden die Vorteile der einzelnen Salze und können so den Einsatzbereich verbreitern. Meistens werden Mischungen aus  $\text{NaCl}$  und  $\text{CaCl}_2$  oder  $\text{MgCl}_2$  in verschiedenen Verhältnissen eingesetzt; diese Mischsalze sind nicht so kostengünstig wie reines  $\text{NaCl}$ .

Tabelle 1: Vergleich von Streusalzen für den Winterdienst; [1], [2].

Name	Hygroskopzitat	Wasserlöslichkeit in 100 g H <sub>2</sub> O bei 20° C	Eutektische Temperatur	Grenze der praktischen Verwendung	Kostenvergleich
<b>Natriumchlorid</b> NaCl	schwach	35,9 g	-21° C	-10° C	1
<b>Magnesium-chlorid</b> MgCl <sub>2</sub> 6 H <sub>2</sub> O	stark	302 g	-33° C	-15° C	2
<b>Calcium-Magnesium-Acetat</b> Ca(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O		Ca-Ac. (40° C): 33 g Mg-Ac. (25° C): 65 g	-18° C	-6° C	13-20

Immer mehr Verbreitung findet Feuchtsalz, dieses haftet im Gegensatz zum NaCl-Trockensalz besser auf der Straße und hat eine höhere Tauwirksamkeit, dadurch ist es bei Glatteis effektiver. Bei der Ausbringung von Feuchtsalz wird das Trockensalz mit einer ca. 20%igen Salzlösung angefeuchtet; [1].

Naheliegend war daher die Idee bei Temperaturen um den Gefrierpunkt nur Sole einzusetzen. Diese Art der Glatteisbekämpfung ist bis etwa -5° sinnvoll einsetzbar. Die kritischsten Bereiche der Glatteisbildung liegen bei Temperaturen um den Gefrierpunkt. Speziell für den Einsatz bei Bodentemperaturen zwischen +5° und -5° wurde das Sprühen von Solelösungen entwickelt.

Vorteile dieses Verfahrens sind:

- Verwendung von handelsüblichem Streusalz,
- Kostengünstige Aufbereitung und einfache Handhabung.

Konsequent den Einsatz von Sole weitergedacht, wäre auch der Einsatz in Kehrmaschinen für den Winterbetrieb bei moderaten Minusgraden überlegenswert, da einerseits die Soleaufbereitung ein Standartverfahren ist und der Kehrvorgang auch in Maßen Glatteis-Prävention darstellen könnte.

Bild 2 zeigt das Schema einer kleinen Salzlösestation, wie sie als Standardeinheit für den Winterdienst angeboten wird. Sie könnte ebenfalls zur Beschickung von Kehrmaschinen mit Sole Einsatz finden, ohne das zusätzliche Aufwendungen

notwendig wären. Schließlich wird aus ökologischer Sicht kein über den normalen Winterdienst hinausgehender zusätzlicher Stoff in die Umgebung eingetragen.

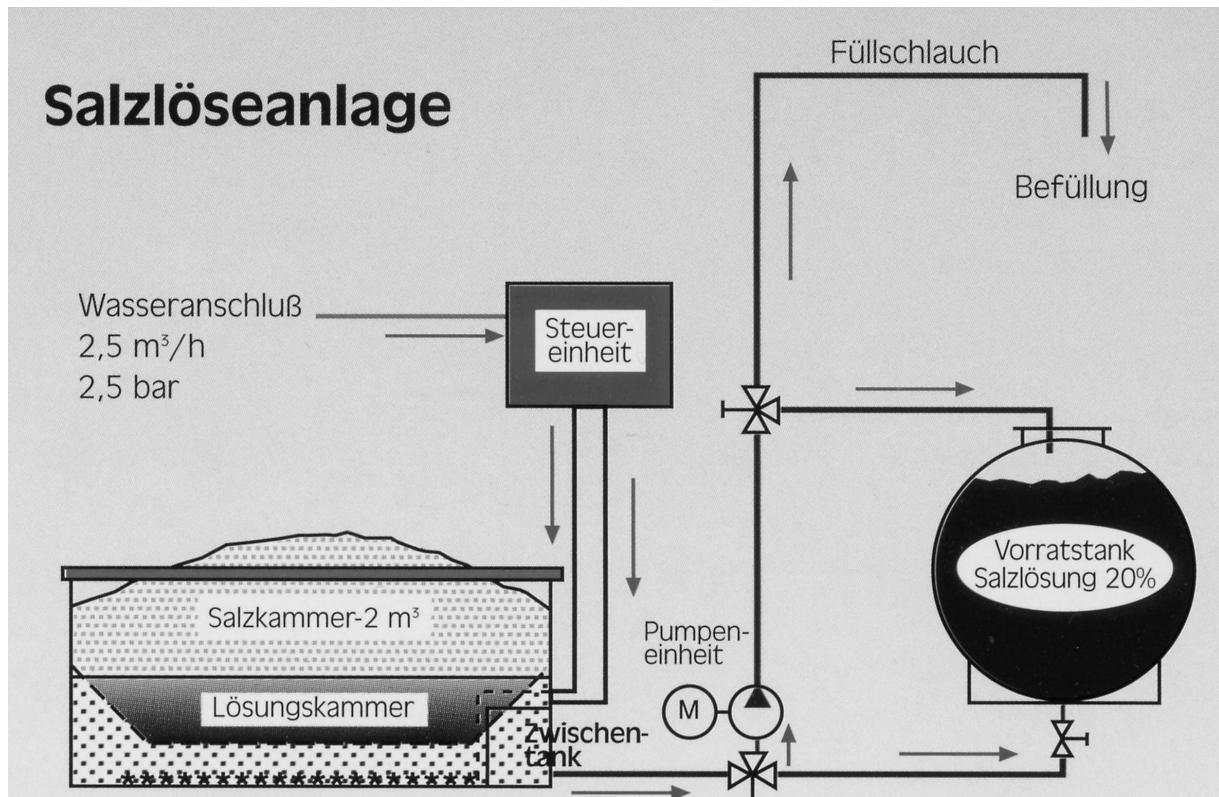


Bild 2: Schematische Darstellung einer Salzlöseanlage; [3].

Studien [2], [4] zum Thema Winterdienst innerorts zeigen:

- Salz ist ein sehr wirtschaftliches Streumittel, insbesondere auch durch die geringen Mengen, die effektiv einsetzbar sind.

Eine Untersuchung zu den Umweltauswirkungen von Salz [5] zeigt:

- Salz in den heute üblichen Mengen bei entsprechend vorsichtiger Dosierung und Ausbringung ist ökologisch vertretbar. Die Untersuchung zeigt auf, dass Mengen, wie sie mittlerweile in der Regel im kommunalen Bereich Einsatz finden, die schädliche Dosis von 1 kg pro m<sup>2</sup> und Jahr weit unterschreiten.

Andere "alternative Taustoffe" als NaCl sind nicht nur wesentlich teurer, sondern in den meisten Fällen wesentlich belastender für die Umwelt.

### 3.2. Alkohole

Zu den als Gefrierschutz verwendeten Alkoholen zählen Flüssigkeiten wie Glykole und andere Alkohole mit verschiedenen Beimengungen. Es stehen eine Reihe von Gefrierschutzmitteln und Enteisungsmitteln in Verwendung. Alkohole setzen den Gefrierpunkt des Wassers herab und werden häufig z.B. auf Flughäfen zur Pistenenteisung eingesetzt. Eine 20%ige bzw. 50%ige Glykol-Wassermischung gefriert bei  $-9^{\circ}\text{C}$  bzw.  $-36^{\circ}\text{C}$ . Ebenso finden Frostschutzmittel auf Alkoholbasis in Kühlkreisläufen und Scheibenwaschwasser Verwendung. Die niedermolekularen Glykole sind süßlich schmeckende, in Wasser leicht lösliche Stoffe, deren Siedepunkt wesentlich höher als bei den einfachen Alkoholen liegt.

#### Methanol und Ethanol

Methanol der einfachste Alkohol der Form  $\text{CH}_3\text{OH}$ , ist eine farblose, brennbare, brennend schmeckende Flüssigkeit, Schmelzpunkt  $-98^{\circ}\text{C}$ , Siedepunkt  $64,5^{\circ}\text{C}$ , er bildet ein zündfähiges Gemisch bei 6,0 bis 36,5 Vol.-%,. Methanol ist mit Wasser beliebig mischbar. Flüssigkeit u. Dämpfe verursachen Schädigung des Zentralnervensystems, besonders der Sehnerven mit der Konsequenz der nachfolgenden Erblindung. Die Flüssigkeit kann auch über die Haut aufgenommen werden. Nieren, Leber, Herz und andere Organe werden geschädigt, die Folgen treten mit Verzögerung auf. Die Gefährdung durch Einatmen der Dämpfe ist geringer als bei Aufnahme durch den Mund; [6].

Ethanol („Weingeist“, „Alkohol“).  $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{OH}$ , ist eine klare, farblose, brennend schmeckende, leicht entzündliche, hygroskopische Flüssigkeit, Schmelzpunkt  $-114,5^{\circ}\text{C}$ , Siedepunkt  $78,32^{\circ}\text{C}$ . Ethanol bildet ein zündfähiges Gemisch von 3,4 bis 15 Vol.-%. Ethanol ist mit Wasser beliebig mischbar. Reines Ethanol ist für Organismen aller Art ein starkes Gift. Daher werden Bakterien in 70%igem Ethanol abgetötet oder in ihrer Entwicklung gehemmt. Es dient deshalb auch als Konservierungsmittel im Haushalt und für anatomische Präparate; [6].

Die einfachen Alkohole Methanol und Ethanol sind aus Gründen der Toxizität nicht geeignet als Frostschutzzusatz in größeren Mengen eingesetzt zu werden, dies gilt auch für Spiritus der im wesentlichen aus Ethanol besteht; [6].

## Glykole

Hauptbestandteile der Frostschutzmittel und Enteisungsmittel sind meist mehrwertige Alkohole, Ethylenglykol, Diethylenglykol oder Propylenglykol; Tabelle 2. Es handelt sich dabei im Prinzip um relativ gut abbaubare organische Stoffe. Dies sagt jedoch nichts über die generelle Umweltverträglichkeit aus, es bedeutet nur dass die Belastung zeitlich begrenzt ist.

Tabelle 2: Frostschutzmittel und Enteisungsmittel; [6].

	<b>Schmelzpunkt [° C]</b>	<b>Siedepunkt [° C]</b>
<b>Ethylenglykol</b>	– 11,5	198
<b>Diethylenglykol</b>	– 10,5	245
<b>Propylenglykol</b>	– 60	188

## Ethylenglykol und Derivate

Das bekannteste und technisch wichtigste Glykol ist Ethylenglykol, das meist in der Praxis als Glykol bezeichnet wird. Die genaue Bezeichnung ist (1,2-Ethandiol) mit der Formel HO-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-OH bzw. C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>. Die Substanz ist eine Farblose, viskose, süß schmeckende, stark hygroskopische Flüssigkeit, mit Wasser, Alkoholen und Aceton mischbar; [6].

Vergiftungssymptome können nach Einatmen der Dämpfe des erhitzten Stoffes, bei anhaltendem Kontakt mit der Flüssigkeit u. nach Aufnahme über den Mund auftreten. Neben der Reizung der Augen u. der Atemwege besteht die Gefahr der narkotisierenden Wirkung, darüber hinaus sind bei großer Dosis Zeichen der Herz- und Lungenschädigung, gefolgt von Nierenschäden zu erwarten; [6].

Ethylenglykol wird daher in geschlossenen Kühlsystemen eingesetzt, es dient zur frostfesten Ausstattung von Motorkühlsystemen. Die Korrosion kann bei glykolhaltigen Mitteln durch Zugabe eines Gemisches von Natriumphosphat oder Kaliumphosphat weitestgehend vermieden werden; [6].

Es gibt eine Reihe von Ethylenglykol – Derivaten, die jedoch alle zumindest im direkten Kontakt gesundheitsschädigend sind, sie sind wenig bis gar nicht in Wasser löslich jedoch mit organischen Medien mischbar. Einige Derivate zeigt Tabelle 3.

Tabelle 3: Ethylenglykol – Derivate; [6].

Ethylenglykol – Derivate in der Form $R^1O-CH_2-CH_2-OR^2$				
Trivialname	Summenformel	$R^1$	$R^2$	Schmelzp. / Siedep. [° C]
Glykol (Ethylenglykol)	$C_2H_6O_2$	H	H	-11,5 / 198
Methylglykol	$C_3H_8O_2$	$CH_3$	H	-85 / 124
Ethylglykol	$C_4H_{10}O_2$	$C_2H_5$	H	-100 / 135
Butylglykol	$C_6H_{14}O_2$	$C_4H_9$	H	-75 / 171
Methylglykol-Acetat	$C_5H_{10}O_3$	$CH_3$	$COCH_3$	-65 / 145
Ethylglykol-Acetat	$C_6H_{12}O_3$	$C_2H_5$	$COCH_3$	-62 / 156
Butylglykolacetat	$C_8H_{16}O_3$	$C_4H_9$	$COCH_3$	-63 / 192

Ethylenglykol und Derivate sind insgesamt nicht für den freien Gebrauch in der Umwelt geeignet; [6].

#### Diethylenglykol und Derivate

Diethylenglykol (2,2 -Oxydiethanol) mit der Formel  $HO-(CH_2)_2-O-(CH_2)_2-OH$ , ist farblos, viskos, hygroskopisch. Die Flüssigkeit schmeckt süßlich, hat einen Schmelzpunkt von -6 °C, einen Siedepunkt von 246 °C. Es ist mit Wasser in jedem Verhältnis mischbar; [6].

Diethylenglykol ist bei Aufnahme durch den Mund sehr giftig, die Dämpfe und die Flüssigkeit reizen die Augen, bei anhaltender Einwirkung auch die Haut. Es ist ein wassergefährdender Stoff. Es ist weniger toxisch als Ethylenglykol. Bei der Aufnahme sehr großer Mengen kommt es zu Symptomen, wie sie von Ethanol-Vergiftungen bekannt sind. Auf die Haut wird fast keine, auf Schleimhäute mäßige Reizwirkung ausgeübt. Diethylenglykol ist in gewisser Hinsicht dem Ethylenglykol ähnlich; [6].

Diethylenglykol vermag den Gefrierpunkt des Wassers herabzusetzen. Es ist indifferent gegenüber Metallen u. greift auch Kautschuk nicht an.

Tabelle 4: Diethylenglykol - Derivate; [6].

Diethylenglykol – Derivate in der Form $R^1-O-(CH_2)_2-O-(CH_2)_2-O-R^2$				
Trivialnamen	Summenformel	$R^1$	$R^2$	Schmelzp / Siedep. [° C]
Diglykol (Diethylenglykol)	$C_4H_{10}O_3$	H	H	-10,5 / 245
Diethylenglykol-dimethylether	$C_6H_{14}O_3$	$CH_3$	$CH_3$	-68 / 162
Ethyldiglykolacetat	$C_8H_{16}O_4$	$C_2H_5$	$COCH_3$	-25 / 218
Butyldiglykol	$C_8H_{18}O_3$	$C_4H_9$	H	-68 / 231
Butyldiglykolacetat	$C_{10}H_{20}O_4$	$C_4H_9$	$COCH_3$	-32 / 245

Diethylenglykol – Derivate sind insgesamt wichtige Bestandteile der chemischen Industrie, dienen als Lösungsmittel, Lackverdünner uvm.. Sind aber trotz teilweise nur geringerer Toxizität nicht geeignet unkontrolliert in die Umwelt eingetragen zu werden; [6].

### Propylenglykol

1,2-Propandiol auch Propylenglykol genannt,  $H_3C-CH(OH)-CH_2-OH$  mit Summenformel  $C_3H_8O_2$ , ist eine farblose u. stark wasserziehende Flüssigkeit mit Schmelzpunkt -60 ° C und Siedepunkt 188 ° C. 1,2 -Propandiol wird auch als Frostschutz-, Enteisungs- und Schmiermittel in Flugzeugen, Autos u. Maschinen eingesetzt; [6].

Obwohl es biologisch abbaubare Alkohole gibt, kommen Alkohole insgesamt wegen ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften und speziell wegen ihrer Umweltgefährlichkeit für den Einsatz im Straßenwinterdienst nicht in Betracht; [1], [6].

### **3.3. Harnstoff**

Harnstoff auch Carbamid, Kohlensäurediamid genannt,  $H_2N-CO-NH_2$ , mit der Summenformel  $CO(NH_2)_2$  ist farblos, und bildet Kristalle. Er ist wasserlöslich. Harnstoff hat eine geringe akute Toxizität; [6].

Technischer Harnstoff wird zusammen mit Alkoholen hauptsächlich auf vereisten Flughafenpisten eingesetzt. Seine Eigenschaften als Pflanzendünger werden häufig als Vorteile aufgeführt. In den Aufwandsmengen von ca. 5 kg/m<sup>2</sup>, mit denen es zur Glättebekämpfung eingesetzt werden muss, führt er zu Überdüngungen, Grundwassergefährdung und Belastung der Kläranlagen und Flughafenabwässer; [1].

Tabelle 5: Vergleich von Streusalz mit Harnstoff für den Winterdienst; [1].

Name	Hygroskopzitat	Wasserlöslichkeit in 100 g H <sub>2</sub> O bei 20 °C	Eutektische Temperatur	Grenze der praktischen Verwendung	Kostenvergleich
<b>Natriumchlorid</b> NaCl	schwach	35,9 g	-21 °C	-8 °C	1
<b>Harnstoff</b> CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	schwach	100 g	-12 °C	-6 °C	3

### 3.4. Kaliumcarbonat

Kaliumcarbonat (Pottasche). K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, ist ein weißes, ungiftiges, hygroskopisches, körniges Pulver oder kristalline Masse, Schmelzpunkt. 891 °C. Bei 25 °C lösen sich 113,5 g Kaliumcarbonat in je 100 g Wasser, es bildet verschiedene Hydrate. Kaliumcarbonat verwendet man unter anderem zur Herstellung von Kühlsolen; [6].

Am Institut für Waldökonomie der BOKU-Wien wurde ein umfangreiches Forschungsprogramm zum Kaliumcarbonat Einsatz als Auftaumittel zusammen mit der MA 22 als einen der externen Projektpartner durchgeführt. Bei dieser Studie konnte die weitgehende ökologische Verträglichkeit von Kaliumkarbonat wohl gezeigt werden, doch scheint die Konsistenz zum Verdüsen und Staubbinden eher nicht geeignet; [7], [8].

#### 4. Technisch mechanische Optimierung am Kehrgerät

Bevor man technische Einzelmaßnahmen zu Optimierung betrachtet, ist es zweckmäßig, sich über die Anforderungen beim Kehren klar zu werden. Der ursprüngliche Zweck war augenscheinliche, eher grobe Verschmutzungen wie Müll oder Laub zu beseitigen, sowie Reste von Streusplitt beim Frühjahrsputz. Dazu sind die Kehrmaschinen mit großdimensionierten zentralangeordneten Saugöffnungen bei hohem Luftdurchsatz ausgestattet, wie schon eingangs ausgeführt, wird ein Volumenstrom von mehreren  $\text{m}^3/\text{sec}$  Luft eingesetzt. Die rotierenden Tellerbürsten und Walzenbürsten dienen dazu das grobe Material in Richtung Saugmund zu leiten. Bild 1 zeigt das Schema einer kompakten Kehrmaschine mit Tellerbürsten, die das Kehrgut zur Mitte leiten, wo es einem großen zentralen Saugmund mit Wassereinspritzung zugeführt wird.

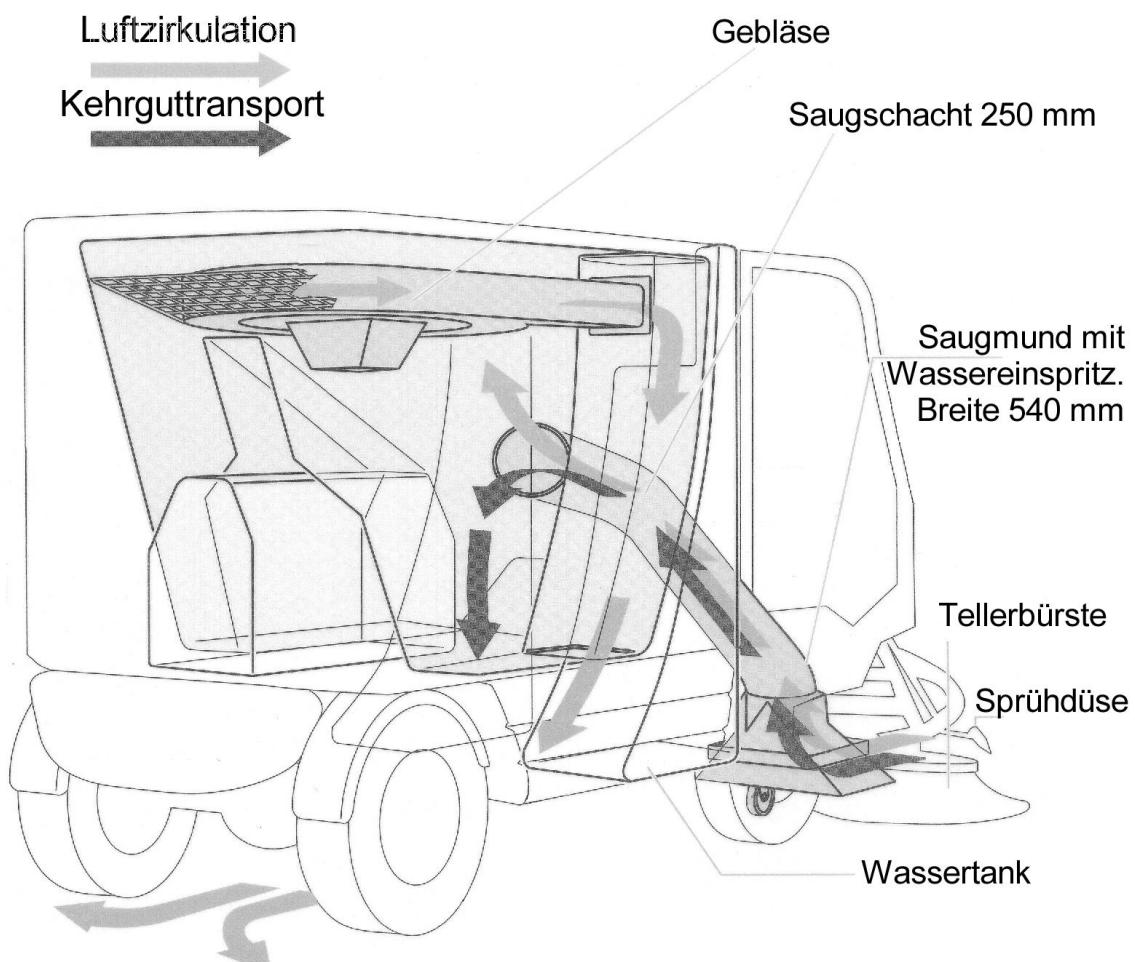


Bild 3: Schema einer Kompakt-Kehrmaschine; [9].

Das Anfeuchten im Saugschacht ist für ein sicheres Absinken des Abfalls im Sammelbehälter notwendig und verhindert das Aufsteigen der leichten Fraktion zurück in den Luftstrom. So bleibt einmal gesammeltes Kehrgut verlässlich im Behälter liegen. Der Luftstrom verlässt das Fahrzeug in gereinigtem Zustand allerdings mit erhöhter Staubbefeuung entweder unter dem Fahrzeug, wie im Bild, oder bei anderen Konstruktionen nach Oben.

Sprühdüsen an den Bürsten außen sollen extreme Staubbildung beim Kehren verhindern und entsprechen auch dem Stand der Technik. Diese Maßnahme verhindert nur teilweise die Staubbildung beim Kehrvorgang.

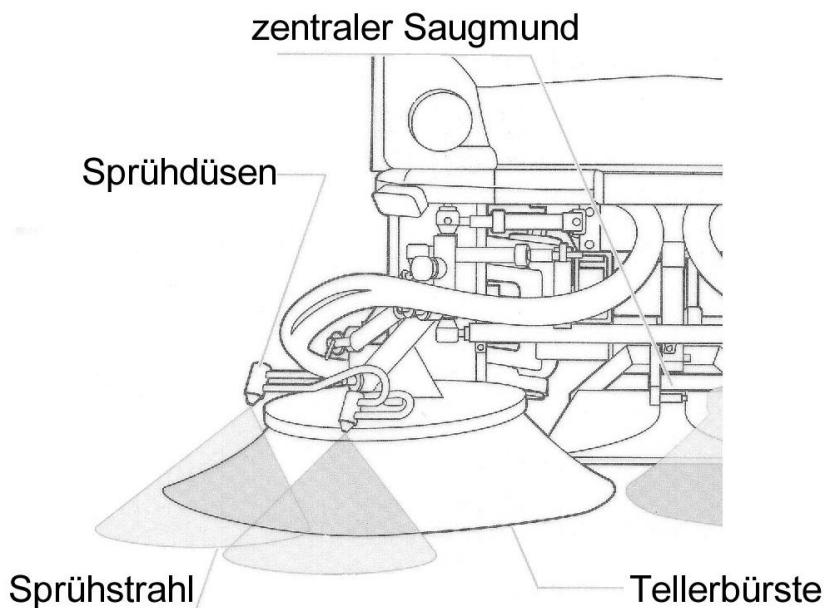


Bild 4: Schematische Darstellung der Düsenanordnung bei Tellerbürsten; [9].

Bis vor wenigen Jahren hatte der Kampf gegen Staub besonders Feinstaub keine hohe Priorität. Dass beim Kehrvorgang Staub und Feinstaub durch die Bürsten zurück in die Luft in Schwebefeuung gebracht wurden und dass der Luftstrom relativ stark mit Partikeln angereichert war im Vergleich zur Umgebungsluft, ist nicht von entscheidender Bedeutung gewesen.

Mittlerweile stehen Maßnahmen zur Feinstaubreduktion an wichtiger Stelle beim Straßenreinigen. Dies wird vor allem verstärkt im Zusammenhang mit dem Winterdienst bei der Splittstreuung gefordert. Dabei sind zwei Hauptaufgaben zu lösen:

- Kehren um den Gefrierpunkt und
- Verringerung der Staubbelastung durch den Kehrvorgang, da insgesamt hohe Kehrfrequenz angestrebt wird.

#### **4.1. Kehren um den Gefrierpunkt**

Beim Kehren um und unter dem Gefrierpunkt muss vor allem sichergestellt werden, dass das Kehrgut im Fahrzeug nicht festfriert und somit der Sammelbehälter nicht entleert werden kann.

Eine weitere kritische Zone stellt der Lufteinlass dar, da besonders beim Übergang in die Unterdruckzone der Saugschlauch allmählich durch Eisbildung zuwachsen kann. Diese beiden Phänomene beenden die Betriebsfähigkeit des Gerätes.

An dritter Stelle schließlich darf die Staubbindung an den Bürsten nicht zu Glatteis auf der Fahrbahn führen, auch sollte das Kehrgut nicht am Asphalt festfrieren.

Im Gerät kann durch entsprechende

- Behälterisolation, sowie begrenzt durch
- Nutzwasserheizung mittels Kühlwasser bzw. Zusatzheizung, unterstützt durch
- Garagierung in temperierter Umgebung die Betriebsfähigkeit auch bei einigen Minusgraden aufrechterhalten werden.

Im Außenbereich kann auf die unterstützende Staubbindung aus technischer Sicht verzichtet werden, es muss dann eine erhöhte Staubbelastung in Kauf genommen werden. Ist diese Staubentwicklung inakzeptabel sind Gefrierschutzmittel zu verwenden.

Wie schon in Kapitel 3 dargelegt, stellt NaCl (Kochsalz) derzeit hinsichtlich Kosten und Umwelt das günstigste Gefrierschutz- bzw. Auftaumittel dar. Durch den Einsatz von Sole statt Wasser ließe sich sowohl die innere Vereisung als auch Fahrbahnglätte vermeiden. Kehren und Glatteisprävention wären praktischerweise miteinander erbunden.

Da die Kehrmaschinen ohnehin geeignet sein müssen, mit Salz ver mengtes Streugut aufzunehmen, sollte die Korrosionsfestigkeit der Geräte kein großes Problem darstellen. Es ist vor der Anwendung von Sole jedoch jeweils der Fahrzeughersteller zu befragen.

Zur Optimierung des Soleeinsatzes ist eine Wasserrückgewinnung bzw. Solerückgewinnung aus dem Kehrgut denkbar. Kehrfahrzeuge mit Wasseraufbereitung werden auch am Markt angeboten, wie Bild 5 zeigt. Durch die Aufbereitung des Wasser steigt die Ergiebigkeit.

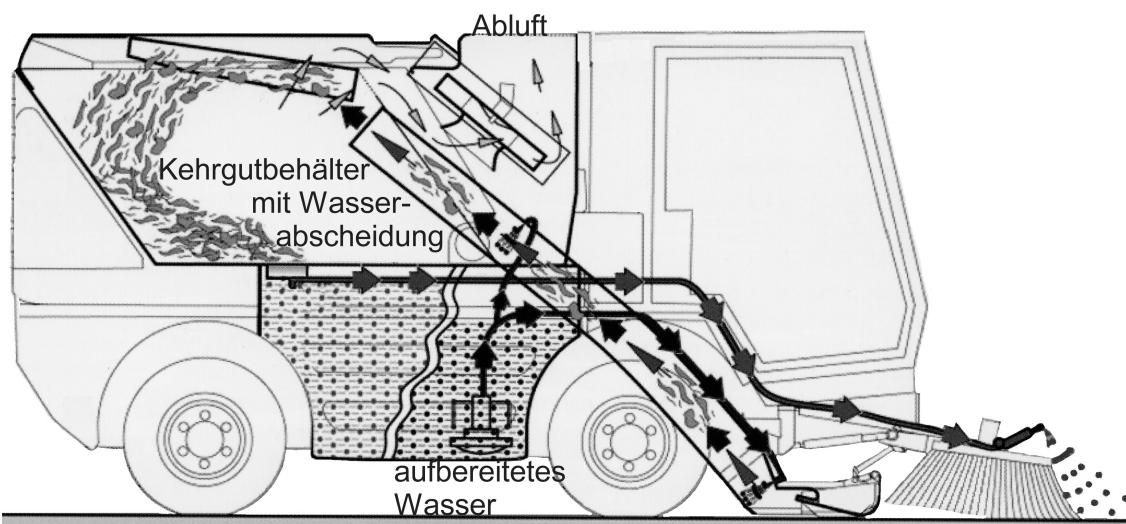


Bild 5: Schema einer Kehrmachine mit Wasserabscheidung und Wasseraufbereitung; [10], [11].

Insgesamt war die Reaktion der Kehrmachinenanbieter eher Zurückhaltend bei der Frage nach Kehren um und unter dem Gefrierpunkt. Die überwiegende Reaktion war eher Skepsis. Die Möglichkeit des Einsatzes von Frostschutz wurde jedoch eingeräumt, da Korrosionsbeständigkeit der Anlagen wegen des korrosiven Mülls gegeben sein muss. Im Einzelfall ist jedoch Rücksprache mit dem Hersteller erforderlich.

Die in diesem Kapitel vorgeschlagenen Maßnahmen zielen prinzipiell darauf die Funktionsfähigkeit des Kehrgerätes um den Gefrierpunkt zu erhalten. Zusätzlich sollten jedoch noch Maßnahmen beachtet werden, wenn man speziell die Staubbelastung durch Splittstreuung durch Kehren verringern will.

## 4.2. Verringerung der Staubbela&lt;stung

Wie bereits erwähnt, wird bisher von Kehrmaschinen erwartet extrem grobe Verschmutzung bis zu Flaschen- und Dosengröße zu beseitigen. Fordert man gleichzeitig auch die Reinigung von Staub und Feinstaub, so muss ein Größenbereich von unter 1[ $\mu\text{m}$ ] bis über 1[dm], also nahezu 1 zu einer Million gehandhabt werden. Dies stellt ohne die Anwendung ausgeklügelter Luftführungssysteme eine Überforderung der Geräte dar.

Eine andere Lösung wäre, zusätzlich nach dem Einsatz der konventionellen Kehrmaschine spezielle Staubkehrmaschinen einzusetzen, die am Markt erhältlich sind; [12]. Dies ist allerdings aufwendig, teuer und unter Umständen zusätzlich verkehrsbehindernd.

Eine besser Möglichkeit sind Universalkehrmaschinen mit spezieller Luftführung sowie optimierten Bürsten-Saugmundeinheiten zu betreiben; [13]. Es gibt quasi geschlossene Luftzirkulationssysteme, die so verhindern, dass gerade die Feinpartikel mit der Abluft in größerem Umfang zurück in die Umwelt geführt werden. Bild 6 zeigt ein quasi geschlossenes Luftführungssystem. Vollkommen geschlossen kann das System wegen der Saugaufgabe nicht werden, sodass ein Teilstrom weiterhin in die Umgebung gelangt.

Bei dem in Bild 6 gezeigten Verfahren wird der Hauptstrom der mit Partikel beladenen Luft über den Saugmund zurück geführt. Somit tritt nur ein kleinerer Teil des Volumenstromes in die Umgebung aus. Dieser Teilstrom trägt somit eine geringere Partikelmasse pro Zeiteinheit bzw. Saugstrecke zurück auf die Straße, im Vergleich zu anderen Verfahren.

Es sind weiters Systeme vorhanden, die einen regulierbaren Volumenstrom einsetzen; [11]. Es kann je nach Kehrfordernissen die optimale Saugkraft eingesetzt werden. Der Kompromiss muss zwischen ausreichender Saugkraft und minimalem Abluft - Volumenstrom gefunden werden.

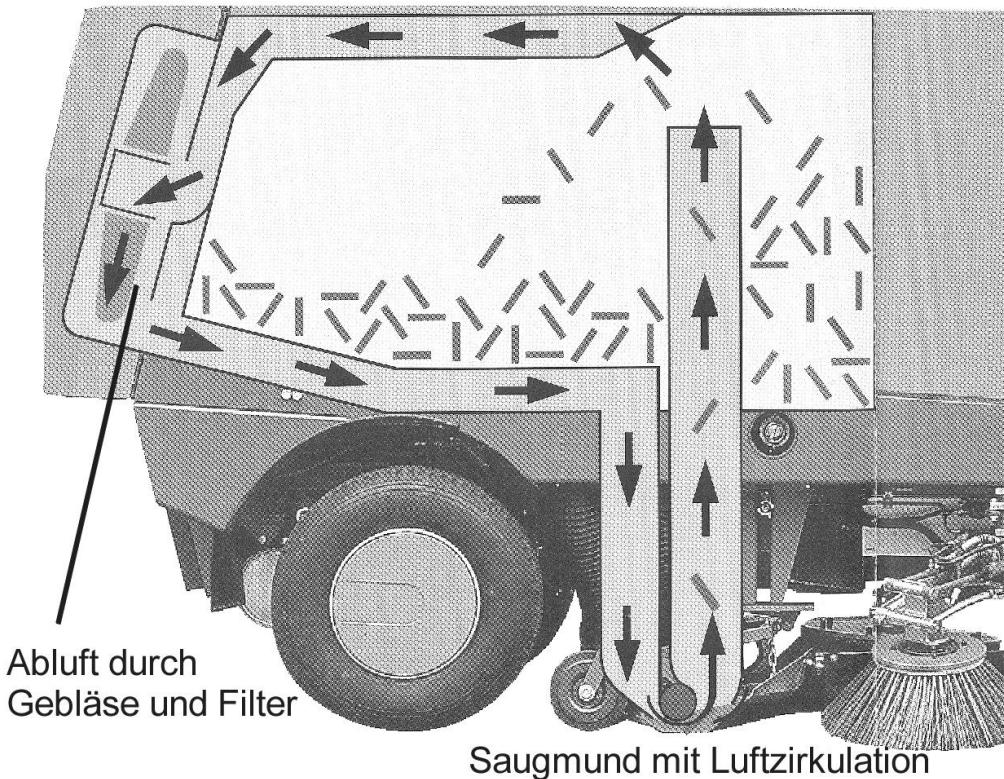


Bild 6: Schema einer Kehrmaschine mit Saugstrom-Zirkulation; [13].

Eine weitere Verbesserung wäre durch folgende Konstruktion zu erreichen:

Beim Kehrvorgang selbst ist auch die eingesetzte Bürstenform von Bedeutung. Einerseits ist der Einsatz von Tellerbürsten beliebt, da mit diesen in Ecken bei Randsteinen eine besonders effektive Reinigung gelingt. Andererseits neigt diese Bürstenart dazu, das Kehrgut in alle Richtungen davon zuschleudern. Es scheint daher überlegenswert möglichst Walzenbürsten einzusetzen, da diese Form das Kehrgut nur in eine Richtung beschleunigt. Ordnet man weiters in der Bewegungsrichtung direkt im Verbund mit der Bürste einen Saugmund an, kann durch diese Anordnung auch die Staubwirkung minimiert werden; siehe dazu Bild 7; [14].

Zum Zwecke der Staubminimierung wäre die geschilderte Konstruktion noch verbesserbar, wenn allen Kehrbürsten auch in der Form entsprechende Saugöffnungen zugeordnet würden. Es liegt in der Natur der Sache, dass diese Konstruktionsart eher schmale Saugdüsen aufweisen muss, damit der Volumenstrom nicht extrem groß gewählt werden muss. Daraus ergibt sich der Nachteil, dass große Müllgegenstände nicht aufgesaugt werden können. Die Lösung wäre variable

Zuschaltbarkeit der Einzelemente bei gleichzeitiger Ausstattung mit einem zentralen, konventionellen Saugmund. Solche Mehrfachsysteme erhöhen allerdings den finanziellen Aufwand.

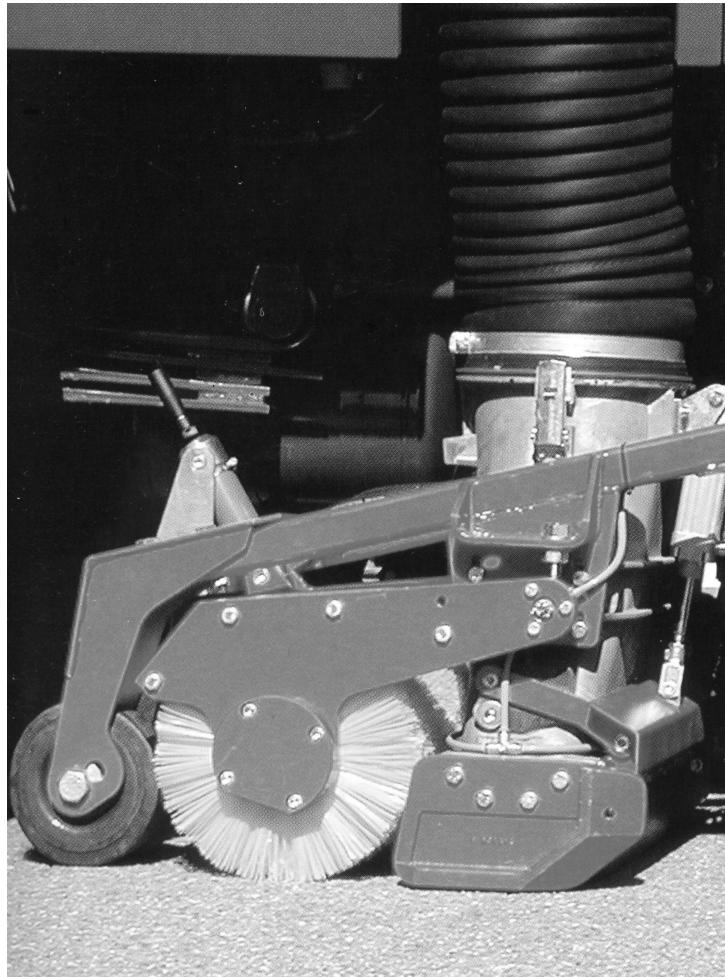


Bild 7: Saugmund mit Walzenbürste als Arbeitseinheit; [14].

Generell gilt:

Zur äußereren Staubreduktion sollten auch einfache und kostengünstige Maßnahmen wie Staubschürzen um alle Kehr – Saug – Einheiten angebracht werden. So lässt sich besonders der Staub besser zum Saugmund leiten.

Als Resümee der technischen Verbesserungs-Möglichkeiten lassen sich eine Reihe von Optimierungsschritten finden, um die Staubbelastung beim Kehren auf unseren Straßen zu verringern. Dies bedingt jedoch konstruktive Verbesserungen an vorhandenen Geräten oder Neukonstruktionen.

## 5. Zusammenfassung

Aufgrund des in den letzten Jahren stark gestiegenen Interesses am Thema Partikel-Emissionen und der EU-weiten Einführung von strengerem Immissionsgrenzwerten für Partikel gemäß Richtlinie 1999/30/EG ergibt sich die Notwendigkeit beim Winterdienst auf unseren Straßen der erhöhten Staubbildung entgegenzutreten, bzw. durch vermehrte Zwischenreinigung die Immissionskonzentrationen zu verringern.

Derzeit scheint sich im Sinne des Umweltgedankens die Vorstellung durchzusetzen, in kurzfristigen Zyklen bei Frostgefahr zu streuen und unmittelbar nach Glatteisentwarnung zu kehren.

Durch das starke Aufwirbeln von Staub in Folge des Kehrens von Streusplitt ist es erforderlich, hier Verbesserungen einzuführen. Dies gilt insbesondere für Zwischenreinigungen in trocknen Frostperioden, in denen es nicht möglich ist, Wasser zum Staubbinden einzusetzen.

Beim Kehren um und unter dem Gefrierpunkt muss vor allem sichergestellt werden, dass das Kehrgut im Fahrzeug nicht festfriert und der Saugschacht nicht durch Eisbildung verlegt wird. Im Gerät kann durch entsprechende

- Behälterisolation, sowie durch
- Nutzwasserheizung mittels Kühlwasser bzw. Zusatzheizung, unterstützt durch
- Garagierung in temperierter Umgebung die Betriebsfähigkeit auch um den Gefrierpunkt zeitlich begrenzt aufrechterhalten werden.

Im Bereich der Kehrbürsten ist starke Staubbildung nur durch Anfeuchten zu erreichen. Glatteisbildung ist jedoch unter allen Umständen zu vermeiden. Es gibt eine Vielzahl von Frostschutzmittel und Auftaumittel für eine breite Palette von Anwendungen. NaCl also Kochsalz ist das preiswerteste Auftaumittel. Speziell für den Einsatz bei Bodentemperaturen zwischen +5° und -5° wurde das Sprühen von Solelösungen entwickelt.

- **Es ist zu empfehlen Sole auch in Kehrmaschinen zu verwenden, da Soleaufbereitung ein Routinevorgang beim Winterdienst ist, kein über den normalen Winterdienst hinausgehender zusätzlicher Stoff in die Umgebung eingetragen wird und bei der Deponie kein zusätzlicher Frostschutz in die Umwelt eingetragen wird, da Salz auch Bestandteil des Kehrgutes ist. Im Einzelfall ist jedoch Rücksprache mit dem Hersteller erforderlich. Andere "alternative Taustoffe" als NaCl sind nicht nur wesentlich teurer, sondern in den meisten Fällen belastender für die Umwelt.**
- Zur Optimierung des Soleeinsatzes ist eine Solerückgewinnung aus dem Kehrgut zu empfehlen, wie sie derzeit bereits als Wasserrückgewinnung im Fahrzeug angeboten wird; [11].

Zusätzliche konstruktive Verbesserungen an Kehrmaschinen sind:

- Quasi geschlossene Luftzirkulationssysteme, die verhindern, dass gerade die Feinpartikel mit der Abluft in größerem Umfang zurück in die Umwelt geführt werden.
- Regulierbarer Volumenstrom - Der Kompromiss muss zwischen ausreichender Saugkraft und minimalem Abluft - Volumenstrom gefunden werden.
- Vermehrter Einsatz von Walzenbürsten direkt im Verbund mit einem entsprechend geformten Saugmund und durch Schürzen umgeben.

Als Resümee der technischen Möglichkeiten lassen sich eine Reihe von Optimierungsschritten finden, um die Staubbelastrung beim Kehren auf unseren Straßen zu verringern.

## 6. Empfehlungen an die MA 48

Beim Kehren um und unter dem Gefrierpunkt muss vor allem sichergestellt werden, dass das Kehrgut im Fahrzeug nicht festfriert und der Saugschacht nicht durch Eisbildung verlegt wird.

### 6.1. Kurzfristige Maßnahmen

- Es ist zu empfehlen Salz-Wasser-Lösungen (Sole) auch in Kehrmaschinen zu verwenden, da Soleaufbereitung ein Routinevorgang beim Winterdienst ist. Es wird kein über den normalen Winterdienst hinausgehender zusätzlicher Stoff in die Umgebung eingetragen und es wird bei der Deponie kein zusätzlicher Frostschutz in die Umwelt eingetragen, da Salz auch Bestandteil des Kehrgutes ist. Andere "alternative Taustoffe" als NaCl sind nicht nur wesentlich teurer, sondern in den meisten Fällen belastender für die Umwelt.
- Im Einzelfall ist jedoch Rücksprache mit dem Hersteller erforderlich.

### 6.2. Langfristige Maßnahmen

Konstruktive Verbesserungen für neu anzuschaffende Kehrmaschinen:

- Zur Optimierung des Soleeinsatzes ist eine Wasserrückgewinnung bzw. Solerückgewinnung aus dem Kehrgut zu empfehlen.

Zur Minimierung der Staubbelastung aus dem Kehrvorgang ist ein ganzes Bündel von Maßnahmen empfehlenswert:

- Quasi geschlossene Luftzirkulationssysteme, die verhindern, dass gerade die Feinpartikel mit der Abluft in größerem Umfang zurück in die Umwelt geführt werden.
- Regulierbarer Volumenstrom - Der Kompromiss muss zwischen ausreichender Saugkraft und minimalem Abluft - Volumenstrom gefunden werden.
- Vermehrter Einsatz von Walzenbürsten direkt im Verbund mit einem entsprechend geformten Saugmund und durch Schürzen umgeben.

## 7. Literatur

- [1] Kohmanns, Barbara: Streusalz/Auftaumittel - Fachinformation "Umwelt und Gesundheit", Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen; Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, PS 3, 1995.
- [2] Ruess, Beatrice: Salz und Splittstreuung im Winterdienst, RUS AG (Raum – Umwelt – Sicherheit), Forschungsauftrag 4/95 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Zürich, 1998.
- [3] N.N.: Salzlöseanlage S 2000 – Schmidt Winterdienst und Kommunaltechnik GmbH, Informationsblatt, Deutschland, 2003.
- [4] Durth, W.: Untersuchungen der Wirksamkeit des Winterdienstes, IX<sup>th</sup> PIARC International Winter Road Congress, Seite 421, Seefeld, 1994.
- [5] Brod, H.G.: Auswirkungen des Winterdienstes auf die Umwelt, IX<sup>th</sup> PIARC International Winter Road Congress, Seite 532, Seefeld 1994.
- [6] N.N.: Römpf Lexikon, Organische Chemie, Georg Thieme Verlag KG, RÖMPP Online, <http://www.Roempf.com>, Stuttgart, 2003.
- [7] Sieghardt Monika: K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> als alternatives Auftaumittel: Einfluß auf Boden und Bewuchs. Langzeitstudie, 01.01.91 - 31.12.01, Projektleitung Institut für Waldökologie BOKU-Wien, im Auftrag der MA48, Wien.
- [8] Sieghardt, M., Wresowar, M. (2000): Anwendungskriterien für den Einsatz von Kaliumkarbonat als alternatives Auftaumittel: Interdisziplinäre Studie zur ökologischen Verträglichkeit. Forschungsbericht am Institut für Waldökologie BOKU-Wien, im Auftrag der MA 48, Wien, 2000.
- [9] N.N.: Azura - Informationsblatt, Mathieu YNO Deutschland GmbH – (FAYAT GROUP Frankreich), Deutschland, 2003.
- [10] N.N.: CityCat 2002, Bucher Kommunalfahrzeuge, Informationsblatt, Bucher-Guyer AG, Schweiz, 2003.
- [11] N.N.: Kompakt-Kehrmaschine Swingo – Schmidt Winterdienst und Kommunaltechnik GmbH, Informationsblatt, Deutschland, 2003.
- [12] N.N.: Wir zeigen Kehrkompetenz, – Schmidt Winterdienst und Kommunaltechnik GmbH, Informationsblatt, Deutschland, 2003.
- [13] N.N.: Koander-System bei MFH-Kehrmaschinen, Aebi MFH AG, Informationsblatt, Schweiz, 2003.
- [14] N.N.: LKW Aufbaukehrmaschine – Schmidt Winterdienst und Kommunaltechnik GmbH, Informationsblatt, Deutschland, 2003.