

# **Umweltauswirkungen abstumpfender Streustoffe im Winterdienst**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 66**

**bast**



# **Umweltauswirkungen abstumpfender Streustoffe im Winterdienst**

**Literaturanalyse**

von

Karl Moritz

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 66**

**bast**

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines  
B - Brücken- und Ingenieurbau  
F - Fahrzeugtechnik  
M - Mensch und Sicherheit  
S - Straßenbau  
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, daß die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BASt-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt 95 650:**  
Umweltauswirkungen abstumpfender Streustoffe im Winterdienst (Literaturanalyse)

### Herausgeber:

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

### Redaktion:

Referat Öffentlichkeitsarbeit

### Druck und Verlag:

Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven  
Telefon (04 71) 9 45 44 - 0  
Telefax (04 71) 9 45 44 77

ISSN 0943-9331  
ISBN 3-89701-329-0

Bergisch Gladbach, April 1999

## Kurzfassung · Abstract

### **Umweltauswirkungen abstumpfender Streustoffe im Winterdienst**

In der Bundesrepublik Deutschland tragen die Straßen den weitaus größten Anteil am Personen- und Güterverkehr. Ein funktionsfähiges Straßennetz ist daher sowohl für den einzelnen Bürger als auch für die gesamte Volkswirtschaft von existentieller Bedeutung. Es muß nicht nur baulich, sondern auch betrieblich stets in einem dem Bedarf entsprechenden Zustand erhalten werden. Aus dem Bundesfernstraßengesetz, den Straßen- und Straßenreinigungsgesetzen der Länder sowie aus der Verkehrssicherungspflicht nach dem Bürgerlichen Gesetzbuch ergibt sich bei winterlicher Glätte auf Außerortsstraßen eine Streupflicht für besonders gefährliche Stellen der Straßen bzw. innerorts für Stellen, die sowohl gefährlich als auch verkehrswichtig sind.

In der Diskussion um die Wahl des im Rahmen eines „umweltfreundlichen“ Winterdienstes zweckmäßigen Streustoffes kommt vor allem in Kommunen abstumpfenden Streustoffen eine erhebliche Bedeutung zu. Die Umwelt schädigende Auswirkungen abstumpfender Streustoffe sind noch kaum bekannt, in Fachkreisen bekannte Schadwirkungen nur zum geringen Teil einer breiteren Öffentlichkeit. Aus diesem Grund wurde vom Arbeitskreis 3.14.3 „Kommunaler Winterdienst“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), gleichzeitig Fachausschuß „Winterdienst“ im Verband Kommunale Abfallwirtschaft und Stadtreinigung e.V. (VKS), eine Untersuchung initiiert, in der das aktuell verfügbare Wissen über abstumpfende Stoffe und ihre Auswirkungen auf die Umwelt im Rahmen einer Literaturanalyse zusammengetragen sowie allgemein gültige Aussagen und Empfehlungen für ihren Einsatz im Straßenwinterdienst abgeleitet werden sollten.

Als Ergebnis der Literaturanalyse werden Vorschläge und Empfehlungen für den Einsatz oder auch „Nicht“-Einsatz abstumpfender Streustoffe abgeleitet, die aus der Gesamtbetrachtung der Auswirkungen auf die Umwelt resultieren. Sie beziehen sich zum einen auf die Auswahl eines geeigneten Streustoffes, zum anderen auf dessen mögliche/sinnvolle Anwendung, aber auch auf die Grenzen des Einsatzbereiches abstumpfender Streustoffe. Dabei wird unterschieden nach den Anwendungs-

möglichkeiten auf Außerortsstraßen und im kommunalen Bereich, hier zudem auf Fahrbahnen, Rad- und Gehwegen. Obwohl eine Reihe von Fragen unbeantwortet blieb und es einige Ansätze für weiterführende Untersuchungen gibt, sind die erarbeiteten Empfehlungen soweit abgesichert, daß ursprünglich vorgesehene weiterführende Arbeiten nicht erforderlich sind.

### **Effects on the Environment caused by Abrasives used in Winter Maintenance**

By far the largest percentage of passenger and goods transport in Germany takes place on the roads. A functional road network is therefore of vital importance for both individual citizens and the national economy as a whole. It must be constantly maintained in a condition which meets not only structural but also operational requirements. The regulations contained in the Law relating to Federal Trunk Roads and in the laws on roads and road cleaning applicable in the Laender as well as the duty under the German Civil Code to make traffic safe mean that there is a duty in the case of icy conditions in winter to grit particularly dangerous areas of the roads and areas which are both dangerous and important for traffic.

Abrasives play a highly important role, particularly in municipalities, in the discussion on the selection of an expedient gritting substance as part of an „environmentally friendly“ winter maintenance service. Very little is as yet known about the harmful environmental effects caused by abrasives; harmful effects which are known in expert circles are only familiar to a wider public to a limited extent. For this reason „Municipal Winter Maintenance“ (work group 3.14.3 at the Road and Transportation Research Association (FGSV)) and „Winter Maintenance“ (the specialist committee in the Association of City Cleansing Departments (VKS)) initiated an investigation in which the facts currently available on abrasive materials and the effects these have on the environment were brought together in a literature analysis; it was intended to then derive from these facts generally applicable statements and recommendations for the use of such materials in the winter maintenance of roads.

The literature analysis enabled proposals and recommendations for the use or „non-“use of abrasives to be derived from an overall consideration of the effects of these materials on the environment. The proposals and recommendations refer to the selection of a suitable gritting substance, its possible/meaningful use and to the limits of the areas in which abrasives can be applied. Differentiations are drawn between the possibilities of use on roads outside built-up areas and in the municipal area, and, regarding the latter, also between roadways, bicycle paths and pavements. Although a series of questions remained unanswered and there still exist some areas for further investigation, the recommendations drawn up are based on sufficiently sound findings to make it unnecessary to carry out the projects originally envisaged.

## Inhalt

<b>0</b>	<b>Vorwort</b> .....	7	<b>5</b>	<b>Auswirkungen auf den Betrieb</b> .....	52
<b>1</b>	<b>Allgemeines</b> .....	8	5.1	Allgemeines .....	52
1.1	Grundsätzliches zur Untersuchung ...	8	5.2	Gewinnung, Herstellung .....	52
1.2	Was sind Umweltauswirkungen? .....	9	5.3	Lagerung, Ausbringung / Streudichten .....	53
<b>2</b>	<b>Wirkungsweise abstumpfender Stoffe</b> .....	10	5.4	Aufnahme, weitere Verwendung .....	54
2.1	Allgemeines .....	10	5.4.1	Kompostierung .....	56
2.2	Auswirkungen auf den Kraftschluß zwischen Reifen und Fahrbahn .....	11	5.4.2	Trocken- oder Heißreinigung .....	57
2.3	Wirkung von Streustoffresten nach Ende der Glätteperiode .....	16	5.4.3	Naßreinigung .....	59
2.4	Auswirkungen auf das Fahrverhalten .....	17	5.4.4	Vergleichende Bewertung .....	61
<b>3</b>	<b>Auswirkungen auf die Umwelt - Beschreibung</b> .....	21	5.5	Kosten .....	62
3.1	Straßenumfeld: Vegetation, Böden, Gewässer, Tierwelt .....	21	5.6	Rechtliche Würdigung .....	64
3.2	Bauwerk Straße, Fahrzeuge .....	22	<b>6</b>	<b>Mögliche weiterführende Untersuchungen</b> .....	66
3.3	Luft .....	23	<b>7</b>	<b>Einsatz abstumpfender Streustoffe</b> .....	68
<b>4</b>	<b>Auswirkungen auf die Umwelt - Beurteilung</b> .....	25	<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	70
4.1	Straße, Straßenumfeld .....	26	<b>9</b>	<b>Literatur</b> .....	74
4.1.1	Fahrbahn .....	26			
4.1.2	Bauwerke .....	26			
4.1.3	Fahrzeuge .....	27			
4.1.4	Straßenrandvegetation .....	27			
4.1.5	Gewässer, Kläranlagen .....	28			
4.1.6	Straßenrandböden .....	29			
4.2	Mensch und Tier .....	30			
4.2.1	Tiere im Straßenumfeld .....	30			
4.2.2	Haustiere .....	31			
4.2.3	Der Mensch als Bürger .....	31			
4.2.4	Der Mensch als Verkehrs- teilnehmer .....	32			
4.2.4.1	Außerhalb geschlossener Ortschaften .....	33			
4.2.4.2	In Kommunen .....	37			
4.2.4.3	Als Radfahrer .....	41			
4.2.4.4	Als Fußgänger .....	42			
4.3	Rechtliche Würdigung .....	44			
4.4	Qualitätsanforderungen .....	46			
4.4.1	Allgemeines .....	46			
4.4.2	Geeignete Materialien .....	47			
4.4.3	Granulometrische Eigenschaften .....	48			
4.4.4	Schwermetalle .....	49			



## 0 Vorwort

In der Bundesrepublik Deutschland tragen die Straßen den weitaus größten Anteil am Personen- und Güterverkehr. Über 90 % des Personenverkehrs und etwa zwei Drittel des landgebundenen Güterverkehrs werden auf Straßen abgewickelt [Verkehr in Zahlen, 1997]. Ein funktionsfähiges Straßennetz ist sowohl für den einzelnen Bürger als auch für die gesamte Volkswirtschaft von existentieller Bedeutung. Es muß nicht nur baulich, sondern auch betrieblich stets in einem dem Bedarf entsprechenden Zustand erhalten werden. Winterglatte Fahrbahnen behindern und gefährden den Verkehr. Der Winterdienst soll Glättebildung nach Möglichkeit vermeiden, entstandene Glätte nach besten Kräften beseitigen oder ihre Auswirkungen auf den Verkehr mildern.

Im Bundesfernstraßengesetz, in den Straßen- und Straßenreinigungsgesetzen der Länder sowie in den Satzungen der Kommunen sind Regelungen für den Winterdienst enthalten. Gemäß § 3 Abs. 3 Bundesfernstraßengesetz und analogen Regelungen in den Straßengesetzen der Länder sollen Außerortsstraßen bei Winterglätte nach besten Kräften geräumt und gestreut werden. Für Städte und Gemeinden ergibt sich die Verpflichtung zum Winterdienst auf Grund der Landesstraßengesetze bzw. der Straßenreinigungsgesetze der Länder sowie der darauf basierenden örtlichen Satzungen.

Zusätzliche Anforderungen ergeben sich aus der Verkehrssicherungspflicht nach dem Bürgerlichen Gesetzbuch, wonach derjenige, der eine Gefahrenlage schafft oder andauern läßt, auch zumutbare Vorkehrungen zur Abwehr der daraus resultierenden Gefahren zu treffen hat, d.h. auch gegen Schnee und Glätte. So gibt es auf Außerortsstraßen nach der Rechtsprechung eine Streupflicht für „besonders gefährliche Stellen“ der Straßen. Das sind Stellen, an denen Anlage und Zustand der Straße die Bildung von Glatteis derart begünstigen oder seine Wirkung in einer Weise erhöhen, daß diese besonderen Verhältnisse von einem Kraftfahrer trotz der bei Fahren auf winterlichen Straßen von ihm zu fordernden erhöhten Sorgfalt nicht oder nicht rechtzeitig zu erkennen sind. Innerorts besteht eine Streupflicht auf Fahrbahnen einschließlich der Radwege nur an Stellen, die sowohl gefährlich als auch verkehrswichtig sind.

In der Diskussion um die Wahl des notwendigen Streustoffes im Rahmen eines „umweltfreundlichen“ Winterdienstes kommt abstumpfenden

Streustoffen eine erhebliche Bedeutung zu. In vielen Gemeinden werden abstumpfende Streustoffe als Alternative angesehen, die dem Einsatz von tauenden Streustoffen vorzuziehen ist. Die Diskussion ist aufgrund der Ergebnisse neuerer Forschungsarbeiten sachlicher geworden. Ökonomische und auch ökologische Nachteile der lange Zeit eher emotional favorisierten abstumpfenden Streustoffe sind deutlich geworden.

Sämtliche Auswirkungen abstumpfender Streustoffe auf die Umwelt - vom Straßenbegleitgrün über Gewässer, das Bauwerk Straße, den Verkehrsteilnehmer und seine Gesundheit bis hin zum Verbleib nach Einsatz und Wiederaufnahme - sind noch nicht bekannt; in Fachkreisen bekannte Auswirkungen sind nur zum geringen Teil einer breiteren Öffentlichkeit bewußt. Aus diesem Grund wurde vom Arbeitskreis 3.14.3 „Kommunaler Winterdienst“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), gleichzeitig Fachauschuß „Winterdienst“ im Verband Kommunale Abfallwirtschaft und Stadtreinigung e.V. (VKS), eine Untersuchung initiiert, in der das aktuell verfügbare Wissen über abstumpfende Stoffe und ihre Auswirkungen auf die Umwelt in einem weitgespannten Sinne zusammengetragen sowie möglichst allgemein gültige Aussagen und Empfehlungen für ihren Einsatz im Straßenwinterdienst abgeleitet werden sollten.

Wegen der Komplexität der Aufgabenstellung war vorgesehen, in einem ersten Teil zunächst eine Literaturanalyse durchzuführen. Aus dem Arbeitsergebnis zusätzlich abzuleitende, weiterführende Untersuchungen waren weiteren, zeitlich und thematisch begrenzten Teilschritten vorbehalten. Eine Ausschreibung des Vorhabens bei vier potentiellen Auftragnehmern blieb aus verschiedenen Gründen erfolglos. Deshalb übertrug das Bundesministerium für Verkehr der Bundesanstalt für Straßenwesen die Aufgabe, eine entsprechende Literaturanalyse zu „Umweltauswirkungen abstumpfender Streustoffe des Winterdienstes“ durchzuführen.

Die Literaturanalyse lies eine Reihe von Fragen offen, vor allem Fragen, die zu beantworten im Rahmen einer umfassenden „Öko-Bilanz“ erforderlich gewesen wäre. Über die Aufwendungen zur Gewinnung abstumpfender Stoffe sowie ihren Transport und den damit verbundene Energieverbrauch wurden keine öffentlich zugänglichen Literaturstellen gefunden; die Verwertung wieder aufgenommenen Streugutes ist im Rahmen des erst 1997 erschienenen Kreislaufwirtschaftsgesetzes

neu zu überdenken. Die Kosten des Winterdienstes mit abstumpfenden Streustoffen wurden sicher innerhalb vieler Kommunen genau untersucht, die Ergebnisse dieser Untersuchungen allerdings nur selten veröffentlicht. Die offenen Fragen bieten einige vielversprechende Ansätze für ergänzende, weiterführende Untersuchungen. Dennoch scheinen die erarbeiteten Empfehlungen für den Einsatz abstumpfender Streustoffe, zumindest was die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer und ihre Auswirkungen auf das Straßenumfeld angeht, soweit abgesichert, daß die ursprünglich vorgesehenen weiteren Arbeiten nicht erforderlich sind.

## 1 Allgemeines

### 1.1 Grundsätzliches zur Untersuchung

„Nachdem in Deutschland schon in den Jahren 1936 - 1940 Versuche zur Glättebekämpfung mit Streusalz stattgefunden hatten, hatte sich Salz seit dem Winter 1956/57 immer mehr als bevorzugtes Streumittel durchgesetzt. Die massenhafte Verwendung von Tausalzen in den sechziger und siebziger Jahren hat zu erheblichen Schäden an Fahrzeugen und Bauwerken (Fahrbahnen und Brücken) sowie zur langdauernden Schädigung der Vegetation am Straßenrand geführt. Die daran anknüpfende Umweltdiskussion und der „Streusalzbericht I“ des Umweltbundesamtes haben inzwischen viele Gemeinden zu einer schrittweisen Verringerung des Streusalzgebrauches und zur Verwendung anderer Streustoffe veranlaßt. Mancherorts ist ein völliger Streusalzverzicht gefordert worden und auch erfolgt. Allerdings fragt sich, ob ein völliger Verzicht auf Taumittel verkehrstechnisch und rechtlich vertretbar ist.“ [JORDAN, 1989]

Der wesentliche Inhalt dieses Zitates aus dem Vortrag eines aus der Sicht des Betriebsdienstes „interessierten Laien“ (in diesem Fall der mit der Problematik intensiv befaßte Vorsitzende Richter am Hamburger Landgericht) Ende der achtziger Jahre ist - mit Ausnahme des letzten Satzes - bis zum heutigen Datum weitgehend Stand des Wissens der Öffentlichkeit. Hierzu zählen auch die meisten Ratsmitglieder, die über den Einsatz von Streustoffen im Winterdienst einer Gemeinde zu befinden haben. Nach wie vor ist es „Allgemeinwissen“, daß Taustoffe die Umwelt zerstören. Nur in seltenen Fällen wird auch reflektiert, ob ein völliger Verzicht auf Taustoffe und ihr Ersatz durch abstumpfende Stoffe verkehrstechnisch, rechtlich, ökonomisch

sowie ökologisch vertretbar ist. Insbesondere der letztgenannte Aspekt wird erst in jüngster Zeit überhaupt diskutiert.

Auf dem Markt wird neben natürlichen gebrochenen Gesteinen (Splitt, Brechsand, Lavaschlacke) eine Vielzahl anderer abstumpfender Streustoffe angeboten, wie Sande und/oder Kiese (u.a. aus Flußentnahmen), gebrochene (granulierte) Hochofen- und andere Schlacken, Haldenmaterialien, zermahlener (gebrochener) Bauschutt, Asche, Sägespäne, gemahlene Olivenkerne u.v.a.m., die z.T. aus preislichen Gründen auch eingesetzt werden. Die Auswirkungen aller dieser Stoffe auf die (auch Straßen-) Umwelt - vom Straßenbegleitgrün über Gewässer, das Bauwerk Straße, den Verkehrsteilnehmer und seine Gesundheit bis hin zum Verbleib nach Einsatz und Wiederaufnahme - sind nur zum Teil bekannt, in Fachkreisen bekannte Auswirkungen nur zum geringen Teil allgemein. Für Teilbereiche liegen Untersuchungen vor, auch können Ergebnisse von Untersuchungen aus anderen Forschungsgebieten zur Bewertung von abstumpfenden Stoffen herangezogen werden. Aus diesem Grund wurde vom Arbeitskreis 3.14.3 „Kommunaler Winterdienst“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), gleichzeitig Fachausschuß „Winterdienst“ im Verband Kommunale Abfallwirtschaft und Stadtreinigung e.V. (VKS), eine Untersuchung initiiert, in der das aktuell verfügbare, der Öffentlichkeit in Schriftform zugängliche Wissen über abstumpfende Stoffe und ihre Auswirkungen auf die Umwelt in einem weitgespannten Sinne zusammengetragen werden sollte. Ziel der Arbeit sollte sein, im Rahmen einer Analyse der verfügbaren Literatur den aktuellen Kenntnisstand - soweit möglich - im Sinne einer Öko-Bilanz aufzubereiten.

Mit der Öko-Bilanz war geplant, den gesamten Weg abstumpfender Stoffe von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung, Lagerung, Ausbringung, Aufnahme, Aufbereitung/Entsorgung sowie die potentielle weitere Verwendung einschließlich aller erforderlichen Transportwege zu erfassen und zu bewerten. Besonders eingegangen werden sollte nach Vorstellung des Arbeitskreises auf die Problematik der Staubentwicklung, die daraus resultierende Belastung von Verkehrsteilnehmern und Winterdienstpersonal, die Wiederaufnahme und Reinigung der Streustoffe nach Ende der Winterperiode sowie ihre Entsorgung / Wiederverwendung im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben. Auch wirtschaftliche Überlegungen sollten - soweit entspre-

chende Literaturstellen vorliegen - einbezogen werden.

Zum Erreichen des vorgegebenen Zieles wurde im Rahmen dieser Untersuchung die in verschiedenen Datenbanken verfügbare in- und ausländische Literatur über abstumpfende Stoffe erhoben und gesammelt. Ebenso wurde Literatur aus Randbereichen und benachbarten Disziplinen beschafft, die mittelbar Bezug zu dem übergeordneten Thema „Abstumpfende Streustoffe“ haben. Anhand einer vergleichenden Beurteilung und kritischen Beurteilung von insgesamt 235 Publikationen wurde versucht, allgemein gültige Aussagen über Umweltauswirkungen abstumpfender Stoffe zu treffen und daraus Empfehlungen für ihren Einsatz im Straßenwinterdienst abzuleiten.

Zur besseren Übersicht wurden die Literaturstellen für die Bearbeitung zunächst in Sachthemen gegliedert, und zwar in die Themenkreise Anwendung, Kosten, Recycling, Umwelt und Verkehrssicherheit. Diese Einteilung ist grob, weitgehend willkürlich und sicher nicht sehr differenziert. Allerdings ist auch keine eindeutige Abgrenzung zwischen den einzelnen Themenkreisen möglich, da die einzelnen Bereiche ineinander übergreifen, voneinander z.T. abhängig sind und demzufolge Publikationen, die sich mit dem Einsatz abstumpfender Streustoffe befassen oder zumindest deren Einsatz im Straßenwinterdienst mit behandeln, fast immer mehrere Komplexe des Gesamtthemas behandeln. Auch wäre eine eigener Themenkomplex zu juristischen Fragen (Bewertung des Einsatzes, der Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und der Entsorgung abstumpfender Stoffe) denkbar; die entsprechenden Literaturstellen wurden hier unter „Anwendung“ mit erfaßt.

Zum Thema „Anwendung“ wurden 111 Beiträge gefunden, zum Thema „Kosten“ 34, zum Thema „Recycling“ 26, zum Thema „Umwelt“ 92 und zum Thema „Verkehrssicherheit“ 45 Beiträge. Daß die Summe der Beiträge zu den Einzelthemen größer ist als die Gesamtzahl der gefundenen Veröffentlichungen liegt, wie oben bereits ausgeführt, daran, daß viele Beiträge mehrere Themenkomplexe behandeln.

## 1.2 Was sind Umweltauswirkungen?

Das der Literaturanalyse vorgegebene Thema heißt „Umweltauswirkungen« abstumpfender Streustoffe im Straßenwinterdienst“. Der Begriff „Umweltauswirkungen“ ist dabei umfassender als der Be-

griff der „Umweltschäden“, der im Zusammenhang mit dem Einsatz tauender Streustoffe nahezu ausschließlich verwendet wird. Dennoch sind auch im Fall dieser Untersuchung vornehmlich schädigende Auswirkungen - „Schadwirkungen“ - des Einsatzes abstumpfender Streustoffe auf die Umwelt im weitesten Sinne gemeint.

Der Teil „Umwelt“ des Wortes Umweltauswirkung im Sinne der Untersuchung war beim ersten Auftreten von Schäden an Straßenbäumen aufgrund von Tausalzeinsatz im Winter inhaltlich zunächst auf den unmittelbaren Straßenrandbewuchs beschränkt, wurde dann - mit dem verstärkten Aufkommen des Umweltschutzes - jedoch sehr schnell auf die „Natur“ übertragen. Dazu gehörten neben dem unmittelbaren Straßenumfeld auch Gewässer (Grundwasser, Vorfluter) und Böden, ebenso wie auf der Straße (in diesem Fall dem Gehweg) spazieren geführte Haustiere. Hinzu kamen wie selbstverständlich - es handelte sich um Schäden durch Salzeinwirkung - Beschädigungen am Bauwerk Straße selbst, d.h. an Straßendecken und Brücken, sowie an den am Verkehr teilnehmenden Fahrzeugen. Alle diese Schadensarten sind umfangreich untersucht und viele als Folge des früher unkontrollierten und damit überreichlichen Salzeinsatzes im Winterdienst bestätigt. Der Mensch war zunächst nur als Nutzer der „Natur“ Teil seiner Umwelt und Teil dieser Diskussion; erst später wurden auch Leib und Leben des Menschen als Verkehrsteilnehmer als zur Umwelt gehörig - auch in den Medien - wieder entdeckt [KULLIK, 1992].

Inzwischen wird im Rahmen einer sich verbreitenden Versachlichung der Diskussion der Begriff der Umwelt (in dem nach wie vor engen Rahmen des Einsatzes von Streustoffen im Straßenwinterdienst) weiter gefaßt. Zur Umwelt gehören und werden im Rahmen dieser Untersuchung - soweit entsprechende Literatur zu der Fragestellung gefunden wurde - diskutiert:

- die Straßenrandvegetation
- Gewässer (Vorfluter, ruhende Gewässer, Grundwasser, Kläranlagen)
- die Fauna im Straßenrandbereich und auf Verkehrswegen
- das Bauwerk Straße (Fahrbahndecken, Brücken, Gebäude neben der Straße)
- das Fahrzeug auf der Straße
- die Luft an und über der Straße
- der Mensch als aktiver Verkehrsteilnehmer
- der Mensch als passiver Verkehrsteilnehmer (Einwohner einer Gemeinde)

- das weitere Umfeld der Straße

Schadwirkungen, Schädigungen gehen von „Schadstoffen“ aus, d.h. von Stoffen, die eine schädliche, weil unerwünschte (toxische = giftige, gefährliche) Wirkung ausüben. Gebräuchliche Synonyme für das Wort Schadstoffe sind in diesem Zusammenhang z.B. „Umweltchemikalien“, „Anthropogene Verbindungen“, „Kontaminanten“ oder auch seltener „Xenobiotica“. Umweltchemikalien sind von der Wortbedeutung Chemikalien in der Umwelt, also natürliche ebenso wie anthropogene Chemikalien. Viele der in der Umwelt vorhandenen Chemikalien sind notwendig und nützlich, andere indifferent und etliche haben unerwünschte Wirkungen. Dieser Anteil ist weitgehend gemeint, wenn von Umweltchemikalien die Rede ist, also Substanzen, die durch menschliche Tätigkeit in die Umwelt gelangen und dort in Konzentrationen auftreten können, die toxische Wirkung haben. Ein anderer Ausdruck für solche Chemikalien ist Anthropogene Verbindungen, d.h. durch den Menschen erzeugte Substanzen. Xenobiotica sind Fremdstoffe in der Biosphäre. Das Wort Kontaminanten (= Verunreinigungen) enthält bereits eine Wertung dieser Stoffe.

Chemikalien in der Umwelt können grundsätzlich eingeteilt werden in Naturstoffe (biogene Stoffe) oder anthropogene Verbindungen. Der wesentliche Unterschied liegt nicht in der Toxizität begründet (viele Naturstoffe sind bekanntermaßen toxisch), sondern darin, daß anthropogene Stoffe nicht „natürlich“ gehandhabt werden können; d.h. nicht alle können durch natürliche Mechanismen wieder aus der Biosphäre verschwinden. Viele anthropogene Stoffe sind persistent und können akkumulieren.

Eine bis heute gültige und bekannte Schadstoff-Definition lieferte bereits PARACELUS. Danach macht erst die Menge einen Stoff zum Schadstoff. Es geht dabei jedoch nicht nur um die Menge eines Stoffes, sondern sowohl um seine Toxizität (die einem Stoff immanente gefährliche Wirkung) als auch die Exposition (Konzentration  $\times$  Zeit). Stoffe sind demnach Schadstoffe, wenn sie aufgrund ihres Gefährdungspotentials eine unerwünschte (toxische) Wirkung ausüben bzw. ausüben können. Kein Stoff ist also von seinem Ursprung her ein Schadstoff; es kommt vielmehr darauf an, ob, wie und wo er eine toxische Wirkung entfalten kann (HUTZINGER, 1991).

Andere Auswirkungen als Schäden gehen von Streustoffen im Winterdienst ebenfalls aus. So wir-

ken sie z.B. positiv auf den Kraftschlußbeiwert von Glätteschichten und damit auf die Sicherheit eines diese glatte Fläche (möglicherweise notgedrungen) nutzenden Verkehrsteilnehmers.

Die umfassende Betrachtung der Umwelt im dargestellten Sinn entfernt sich somit von der alten Diskussion der „Gratwanderung im Spannungsfeld zwischen Verkehrssicherheit und Umweltschutz“ [SPETH, 1983/1984 u.a.] und bezieht die Verkehrssicherheit und den erweiterten Umweltbegriff mit ein.

## 2 Wirkungsweise abstumpfender Stoffe

### 2.1 Allgemeines

Aus den gesetzlichen Grundlagen des Straßenwinterdienstes ergibt sich die Verpflichtung, Straßen bei Winterglätte nach besten Kräften zu räumen und zu streuen. Aus der Verkehrssicherungspflicht nach dem Bürgerlichen Gesetzbuch ergibt sich, daß derjenige, der der Öffentlichkeit eine Einrichtung zur allgemeinen Nutzung zur Verfügung stellt, auch zumutbare Vorkehrungen zur Abwehr von Gefahrenlagen bei der Nutzung dieser Einrichtung zu treffen hat. Das gilt auch bei Schnee und Glätte auf Straßen. Winterglatte Fahrbahnen behindern und gefährden Verkehr und Verkehrsteilnehmer. Der Winterdienst soll also Glättebildung nach Möglichkeit vermeiden, entstandene Glätte nach besten Kräften beseitigen oder ihre Auswirkungen auf den Verkehr mildern. Der winterlichen Situation entsprechend sind wirkungsvolle Streustoffe zu verwenden.

Um beurteilen zu können, welcher Streustoff in welcher winterlichen Situation wirkungsvoll und damit auch wirtschaftlich sinnvoll eingesetzt werden kann, ist es zunächst notwendig, sich über die Wirkungsweise der verschiedenen Streustoffarten grundsätzlich klar zu werden. Tauende Streustoffe wirken physikalisch/chemisch. Sie beseitigen Glätte, indem der feste Aggregatzustand auf der Fahrbahn vorhandenen Wassers (Schnee, Eis) in die flüssige Phase (Wasser) überführt und so die eis-/schneebedeckte Fahrbahn in eine nasse Fahrbahn umgewandelt wird. Abstumpfende Stoffe wirken mechanisch. Sie liegen zunächst auf der Glätteschicht auf und verzahnen sich durch den überrollenden Verkehr mit der Oberfläche. Auf diese Weise wird die Griffigkeit winterlicher Fahrbahnen erhöht,

Fahrbahnglätte verliert an Gefährlichkeit für den Verkehrsteilnehmer. Die Griffigkeit einer Fahrbahn wird durch den Kraftschlußbeiwert zwischen Fahrbahnoberfläche und Reifen beschrieben.

Für die Verzahnung mit der Oberfläche ist eine gewisse Widerstandsfähigkeit (Härte) des Streustoffes gegen Zerstörung (Zermahlen) durch überrollende Reifen erforderlich, insbesondere wenn die Glätteschicht dünner ist als der Korndurchmesser. Auch die Farbe des Streugutes hat einen Einfluß. Dunkle Streustoffe absorbieren mehr Sonnenenergie, erwärmen sich und schmelzen so leichter in die abzustumpfende Glätteschicht ein. Bei hellen Streustoffen, die Wärmeenergie in Form von Licht eher reflektieren, geht dieser Vorgang langsamer vonstatten. Von rundkörnigem Material wird vermutet, daß wegen der möglichen geringen Verzahnung mit der Glätteschicht die Griffigkeit nur sehr gering erhöht werden kann. Nach dem Abtauen der Glätte auf der Fahrbahn verringert - insbesondere rundkörniges - abstumpfendes Streugut deren Griffigkeit.

Als abstumpfende Streustoffe werden vor allem Sande, gebrochene Naturgesteine wie Splitte, Brechsande, Lavaschlacken oder sogenannte „Granulate“ verwendet, also gebrochene Materialien, die aus Schlacken unterschiedlicher Herkunft, Haldenbergen (Abraum aus dem Bergbau) stammen. Andere Abfallstoffe wie z.B. Bauschutt, Asche aus dem Hausbrand, Sägespäne o.ä. sind für einen großflächigen Einsatz aus verschiedenen Gründen nicht geeignet.

## 2.2 Auswirkung auf den Kraftschluß zwischen Reifen und Fahrbahn

Da Straßenbauverwaltungen und kommunale Reinigungsbetriebe erhebliche Summen aufwenden, um winterglatte Fahrbahnen aufzutauen oder abzustumpfen, ist die Frage der Wirksamkeit einer Maßnahme zur Beseitigung winterlicher Glätte von wesentlicher Bedeutung. Bereits in den Wintern 1957/58 und 1958/59 wurden daher im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr vom, Institut für Straßen- und Verkehrswesen der Technischen Universität Berlin [WEHNER, 1960] „systematische Griffigkeitsmessungen auf winterglatten Fahrbahnen durchgeführt mit dem Ziel, die Griffigkeitswerte von Glatteis und Schnee im Vergleich zu den Werten nasser Fahrbahnen zu ermitteln und festzustellen, in welchem Maße der Kraftschuß auf win-

terlichen Fahrbahnen durch abstumpfende Streustoffe verbessert werden kann, welche Streustoffe und Streudichten zweckmäßig sind und wie sich die verschiedenen üblichen Streustoffe in ihrer Abstumpfwirkung unterscheiden."

Die Untersuchungen wurden nach dem Verfahren des blockierten Schlepprades (Stuttgarter Reibungsmesser) durchgeführt. Dieses auch heute noch gültige Standardmeßverfahren für die Beurteilung der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen simuliert den allgemeinsten Fall einer Gefahrbremung eines Kraftfahrzeuges mit blockierten Rädern. Die dabei zwischen der Aufstandsfläche des blockierten Rades und der Fahrbahnoberfläche aktivierte Reibungskraft (Gleitreibung) stellt - bezogen auf die Radlast - den Kraftschlußbeiwert  $\mu$  dar, der als maßgebliche Kenngröße für die Griffigkeit bei der Messung gewonnen wird und dessen Kenntnis auch für die Berechnung von Bremsweglängen notwendig ist.

Bevor die Räder blockieren, sind die zur Verfügung stehenden Griffigkeitswerte im allgemeinen größer (Haftreibung). Diese Maximalwerte müssen zunächst überschritten werden, bevor die Räder blockieren. Die Maximalwerte unmittelbar vor dem Blockieren mit dem Stuttgarter Reibungsmesser zu erfassen, war zum Zeitpunkt der Untersuchung mit dem damaligen Stand der Technik jedoch nur auf nasser Fahrbahn bei Geschwindigkeiten bis etwa 40 km/h und nur auf Fahrbahnen mit hervorragender Ebenheit möglich. Es erwies sich aus meßtechnischen Gründen nicht als möglich, eine zuverlässige Bestimmung des Kraftschlußbeiwertes auf winterglatten Fahrbahnoberflächen durchzuführen. Die Messungen mit dem Stuttgarter Reibungsmesser wurden unter Laborbedingungen durch vergleichende Messungen mit dem Pendelgerät Leroux ergänzt.

In die Untersuchung wurden insgesamt neun Streustoffe einbezogen: ein Feinsplitt (1/3 mm), drei verschiedene Splittkörnungen (2/5 mm, 5/8 mm, 8/15 mm), je ein Mittel- und Grobsand, ein Flußkies (3/7 mm) sowie zwei Schlackengranulate, eine Verbrennungsschlacke (1/5 mm) und eine Hochofenschlacke (0,1/3 mm). Die Streustoffe wurden in Streudichten zwischen 25 g/m<sup>2</sup> bis 1100 g/m<sup>2</sup> auf Eis und 45 g/m<sup>2</sup> bis 1735 g/m<sup>2</sup> auf festgefahrenen Schnee ausgebracht.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

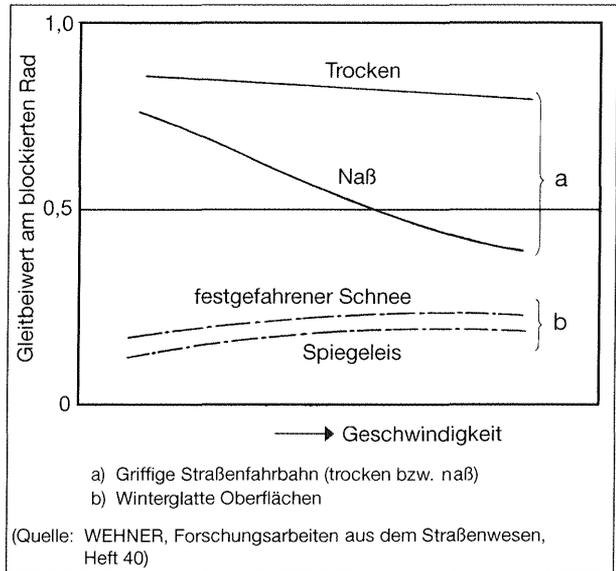
- Abhängigkeit der Gleitbeiwerte von der Gleitgeschwindigkeit:

Die Gleitbeiwerte am blockierten Rad auf nassen Fahrbahnen fallen mit zunehmender Geschwindigkeit mehr oder weniger stark ab. Im Gegensatz zu nassen Fahrbahnen sind die Gleitbeiwerte auf winterglatten Oberflächen nur wenig von der Gleitgeschwindigkeit des blockierten Rades abhängig. Sie bleiben in dem untersuchten Geschwindigkeitsbereich von 10 km/h - 60 km/h nahezu konstant und steigen in den meisten Fällen mit zunehmender Geschwindigkeit sogar leicht an (Bild 1). Aufgrund der durchgeführten Versuche ist zu sagen, daß die geringe Geschwindigkeitsabhängigkeit der Gleitbeiwerte für festgefahrene Schneedecken ebenso gilt wie für Glatteis bzw. Eisglätte, und zwar unabhängig davon, ob die Flächen abgestumpft wurden oder nicht.

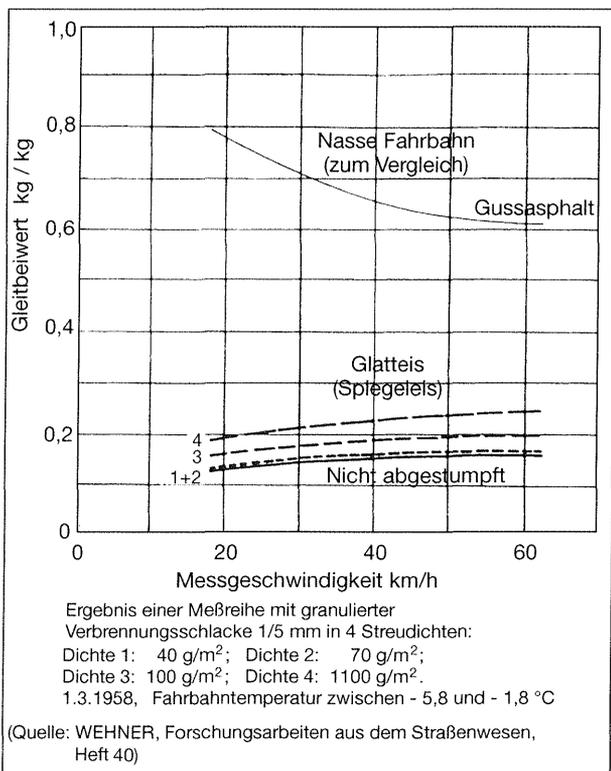
- Einfluß von Glätteart und -temperatur:  
Glatteis und Eisglätte unterscheiden sich nicht grundsätzlich in ihren Glätteigenschaften. Die Reibungswerte auf winterglatten Fahrbahnen sind bei Temperaturen knapp unter dem Gefrierpunkt am niedrigsten und steigen mit sinkenden Temperaturen an. Eis ist bei Temperaturen knapp unter 0 °C ungefähr doppelt so glatt wie bei etwa -10 °C. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen wurden innerhalb der erfaßten Geschwindigkeiten von 10 km/h bis 60 km/h und des Temperaturbereiches zwischen 0 °C und -12,7 °C für Eis Gleitbeiwerte von  $\mu = 0,10$  bis  $\mu = 0,20$  und für festgefahrenen Schnee von  $\mu = 0,15$  bis  $\mu = 0,35$  ermittelt.

- Verbesserung des Kraftschlusses durch abstumpfungsfähige Streustoffe:

Die Versuchsreihen haben gezeigt, daß mit geringen Streudichten (von 40 g/m<sup>2</sup> oder 70 g/m<sup>2</sup>) kaum Verbesserungen der Griffigkeit auf Eis zu erzielen sind. Erst eine Dichte von 100 g/m<sup>2</sup> ergibt eine merkbare Erhöhung der Gleitbeiwerte (Bild 2). Die Verbesserung der Gleitbeiwerte am blockierten Rad auf Glatteis steht bei Streudichten bis zu etwa 300 g/m<sup>2</sup> noch in einem angemessenen Verhältnis zum Aufwand. Die Unterschiede zwischen den verwendeten Streustoffen sind nicht markant und liegen innerhalb des Vertrauensbereiches der Meßergebnisse. Besonders gering war die abstumpfungsfähige Wirkung des verwendeten trockenen Mittelsandes, der selbst bei einer Streudichte von 1000 g/m<sup>2</sup> nahezu keine Erhöhung der Gleitbeiwerte erbrach-

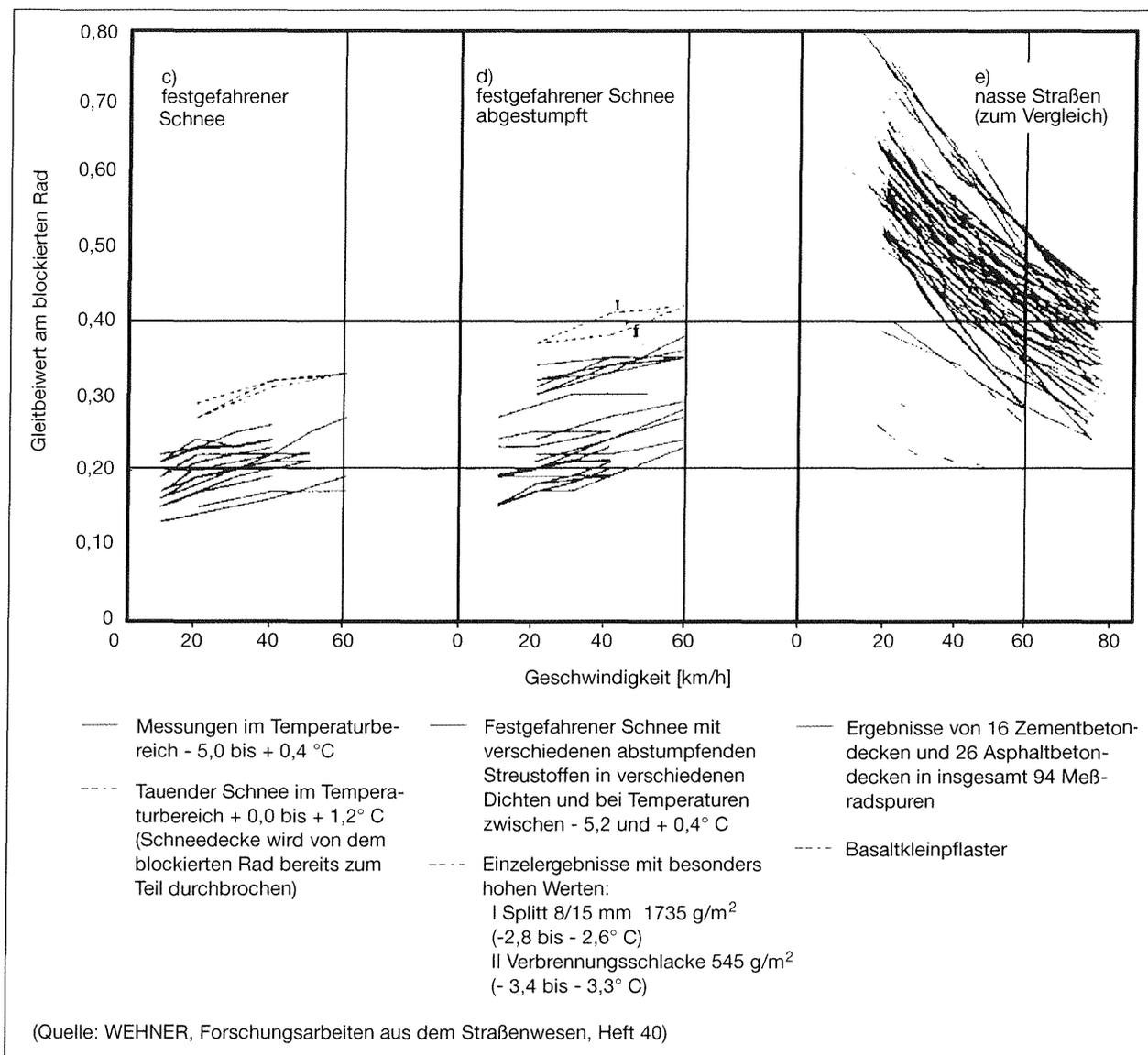


**Bild 1:** Allgemeine Tendenz des Verlaufs der Gleitbeiwerte am blockierten Rad in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit



**Bild 2:** Untersuchungen über die Wirksamkeit abstumpfungsfähiger Streustoffe auf Glätte (Spiegeleis)

te. Die Verbesserungen der Gleitbeiwerte auf Glatteis, die durch die angewendeten abstumpfungsfähigen Streustoffe erreicht werden konnten, liegen in der gleichen Größenordnung wie die selbst bei gleicher Temperatur auftretenden Schwankungen der Gleitbeiwerte auf verschiedenen - auch auf zusammenhängenden - Eisflächen.



**Bild 3:** Übersicht über die im Winter 1957/58 und im Winter 1958/59 gemessenen Gleitbeiwerte auf winterglatten und abgestumpften winterglatten Fahrbahnen im Vergleich zu Gleitbeiwerten auf nassen Straßen, gemessen im Herbst 1958 und im Frühjahr 1959 (Blockiertes Schlepprad, Reifen Continental R, Innendruck 1,5 atü, Radlast 360 kg)

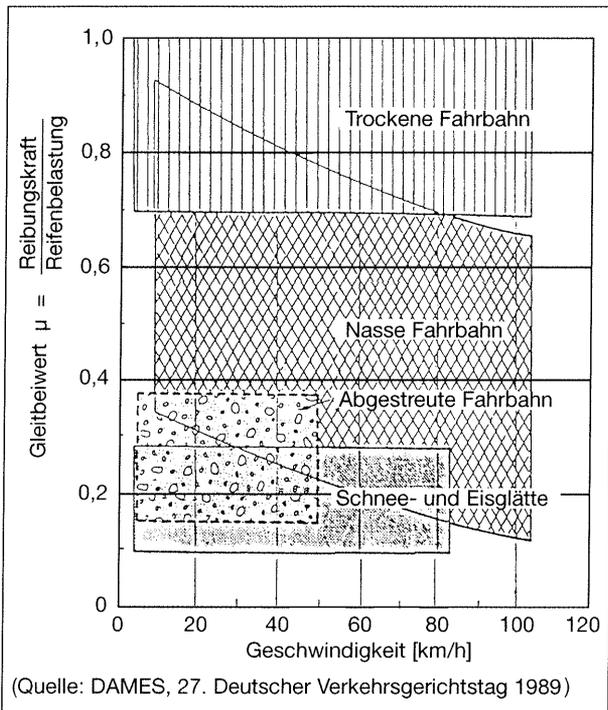
Auf festgefahrener Schnee ergeben sich vergleichbare Meßergebnisse. Nur liegen hier die Gleitbeiwerte an sich schon höher und können, vorzugsweise durch gröbere Streustoffe, wirksamer als auf Glätteis verbessert werden.

Durch abstumpfende Streustoffe können in Ausnahmefällen Gleitbeiwerte erzielt werden, die z.B. bei der Geschwindigkeit 60 km/h denen einer Straße bei Nässe entsprechen (Bild 3).

Die Untersuchungen der technischen Universität Berlin waren und sind Grundlage der bisherigen Erkenntnisse zu den Kraftschlußsituationen auf winterglatten Straßen. Die Ergebnisse sind in Bild 4 [DAMES, 1898] noch einmal grob vereinfachend zusammengestellt. Zu grundsätzlich gleichen Er-

gebnissen gelangt eine amerikanische Untersuchung über den Einfluß des Streuens von Sand auf Glätteschichten auf die Griffigkeitseigenschaften von Glätteschichten [COMFORT / DINOVIKZER, 1996].

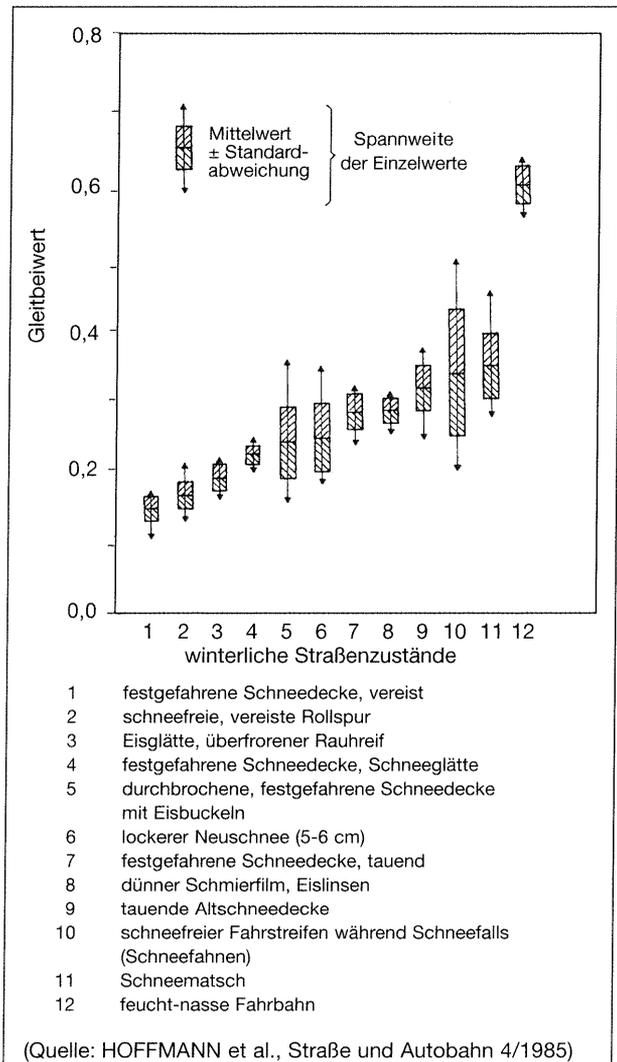
Die Ergebnisse der Untersuchung wurden auf Straßen bzw. Straßenabschnitten gewonnen, die nicht unter Verkehr lagen. Sie beschreiben somit stets nur die Kraftschlußsituation des ersten Fahrzeuges, das unmittelbar dem Streufahrzeug folgt. In welchem Maße sich die Werte durch die Überrollungen des nachfolgenden Verkehrs ändern, wurde in dieser grundlegenden Arbeit nicht untersucht. Die Ergebnisse geben somit Aussagen über die momentane Wirkung des Abstreuens; Aussa-



**Bild 4:** Bewertungshintergrund für Reibungsmessungen mit dem blockierten Schlepprad („Stuttgarter Reibungsmesser“) bei verschiedenen Fahrbahnzuständen

gen zur längerfristigen Wirkung dieser Maßnahme sind nicht herzuleiten. Im Rahmen der Untersuchungen zum „Einfluß eines streusalzlosen Straßenwinterdienstes in Städten auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf“ (in Berlin [HOFFMANN et al., 1985]) zeigten Beobachtungen und Erfahrungen, daß es besonders durch die Einwirkungen des Fahrzeugverkehrs zu sehr unterschiedlichen Ausprägungen des Kraftschlußangebotes auf winterlichen Fahrbahnen kommen kann. Deshalb wurde mit einem neuen Konzept Untersuchung versucht, verschiedenen weiterführenden Fragestellungen nachzugehen:

- In welchem Bereich variiert das Kraftschlußangebot auf unterschiedlichen winterlichen Fahrbahnen ohne Einsatz mineralischer Streustoffe?
- Welchen Einfluß haben unterschiedliche Streumengen je Streugang auf die abstumpfende Wirkung bei verschiedenen winterlichen Fahrbahnzuständen?
- Welchen Einfluß haben winterdienstliche Maßnahmen mit abstumpfenden Streumaterialien auf den zeitlichen Verlauf des Kraftschlußangebotes?
- Wie ist das Verhalten von Winterreifen bei Verwendung mineralischer Streustoffe im Straßenwinterdienst zu bewerten?

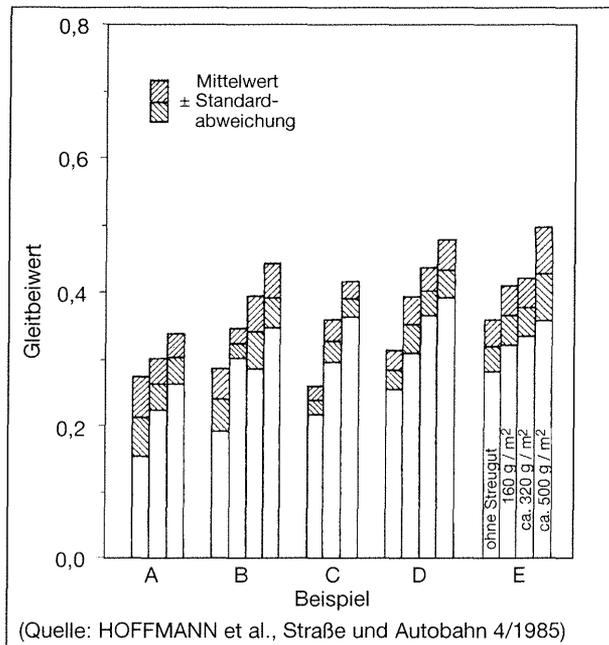


**Bild 5:** Beispiele für Ergebnisse von Kraftschlußmessungen auf winterlichen, nicht abgestreuten Fahrbahnen

- Führt das Vorhandensein von Resten mineralischen Streumaterials auf der nicht winterlichen Fahrbahn im Sinne eines „Rollsplitt-Effektes“ zu einer wesentlichen Verminderung des Kraftschlußangebotes?

Die Messungen wurden - wie bei der Untersuchung von WEHNER - mit dem Stuttgarter Reibungsmesser (blockiertes Schlepprad) durchgeführt. Ergänzend wurde ein am Institut für Verkehrsplanung und Verkehrswegebau der TU Berlin weiterentwickelter schwedischer Meßanhänger (Skiddometer BV 8S) eingesetzt.

Bei den Messungen auf winterlichen Fahrbahnen wurden jeweils Teilstrecken „mit in sich gleichen Fahrbahnzuständen“ hinsichtlich ihres momentanen Kraftschlußangebotes untersucht. Beispielhafte Werte für im innerstädtischen Bereich häufig auftretende winterliche Straßenzustände zeigt Bild 5

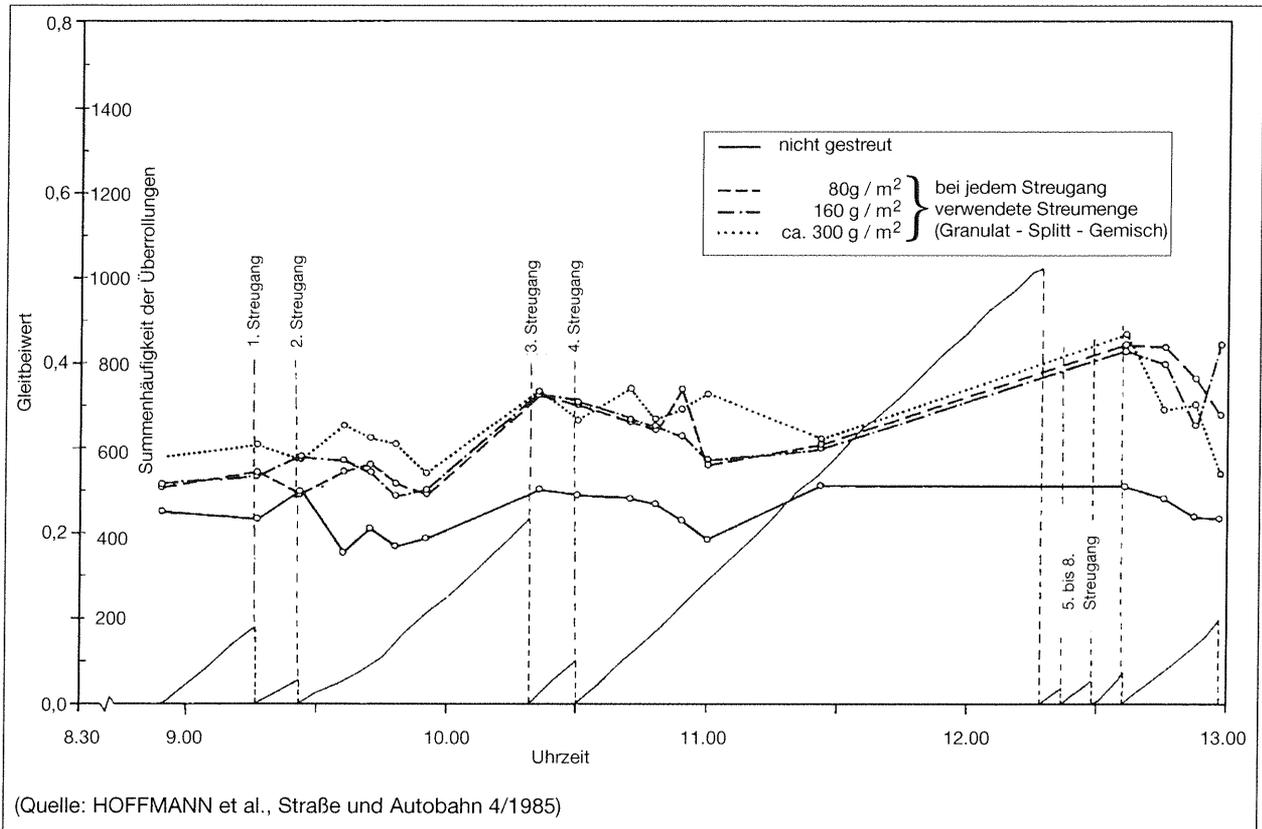


**Bild 6:** Gleitbeiwerte auf winterlichen Fahrbahnen ohne Verkehrseinfluß bei Variation der Streumenge - Beispiele für unterschiedliche Fahrbahnzustände -

[HOFFMANN, 1985]. Der Variationsbereich umfaßt Werte von  $\mu = 0,11$  (vereiste, festgefahrene Schneedecke) bis  $\mu = 0,70$  (feucht-nasse, teilweise abgetaute Fahrbahn). Die Ergebnisse lassen sich ohne weiteres in die von WEHNER ermittelten Werte einordnen, so daß diese Darstellung als Erweiterung seiner Ergebnisse gelten und allgemein die breit streuenden Kraftschlußverhältnisse auf winterlichen Stadtstraßen beschreiben kann.

Die Variation der Streumenge von  $80 \text{ g/m}^2$  über  $160 \text{ g/m}^2$  und  $300 \text{ g/m}^2$  bis zu  $500 \text{ g/m}^2$  auf festgefahrenen Schneedecken ohne Verkehrseinfluß läßt erkennen, daß eine Erhöhung des Kraftschlußniveaus durch den Einsatz abstumpfender Streustoffe abhängig von der ausgebrachten Menge möglich ist (Bild 6). Auch hier werden die von WEHNER erzielten Ergebnisse weitestgehend bestätigt. Beim Einsatz einer Streudichte von  $500 \text{ g/m}^2$  ergeben sich Gleitbeiwerte von  $\mu = 0,40$ , ein Kraftschlußniveau, das auf regennassen Fahrbahnen im allgemeinen nur für Geschwindigkeiten von  $v > 40 \text{ km/h}$  unterschritten wird. Weitergehende Untersuchungen ergaben, daß die erzielte Anfangsverbesserung bereits nach kurzer Zeit wieder aufgehoben sein kann. Die Wahrscheinlichkeit einer länger andauernden Kraftschlußverbesserung erhöht sich bei Einsatz größerer Streudichten. Diese Aussage gilt grundsätzlich für alle untersuchten abstumpfenden Streustoffe.

Der zeitliche Verlauf der Wirkung abstumpfender Streustoffe nach dem Ausbringen ist schwierig zu ermitteln, da winterliche Fahrbahnen unterschiedlichsten Einflüssen unterliegen. Die für die Wirkung von Streustoffen wesentlichen sind Temperatur und Verkehrsdichte. Am Beispiel einer Meßreihe auf einer winterlich „stabilen“ Fahrbahn mit „festgefahrener, in den Rollspuren teilweise durchbrochener Schneedecke mit Eisbuckeln“ - bei Außentemperaturen von ganztägig unter  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  - soll diese Problematik aufgezeigt werden (Bild 7). Bei einem sehr niedrigen Kraftschlußangebot der unbehandelten Strecke zwischen  $\mu = 0,20$  und  $\mu = 0,25$  wurde mit unterschiedlichen Dichten von jeweils  $80 \text{ g/m}^2$ ,  $160 \text{ g/m}^2$  und  $300 \text{ g/m}^2$  acht mal gestreut. Bereits nach der dritten Streuung sind keine Kraftschlußunterschiede für die verschiedenen gestreuten Mengen mehr festzustellen. Der Einfluß des Verkehrs auf die Verteilung des Streumaterials im Straßenquerschnitt - das Streugut wird aus den Rollspuren hinausgefahren - zeigt sich in der Darstellung andeutungsweise nach dem dritten Streugang. Der Wert von  $\mu = 0,35$  unmittelbar nach dem Streuvorgang sinkt etwa 40 Minuten später nach der Überfahrt von etwa 400 Fahrzeugen auf  $\mu = 0,30$ . Auch das nach vier kurz nacheinander erfolgten Streuungen erreichte Kraftschlußniveau mit Werten von  $\mu = 0,40$  sinkt nach 20 Minuten und rund 200 Überrollungen wieder auf  $\mu = 0,30$ . Insgesamt vermittelt die Darstellung den Eindruck, daß das Kraftschlußangebot der Fahrbahnoberfläche zwischen den Streuvorgängen eher ansteigt (z.B. zwischen der 2. und 3. Streuung sowie zwischen der 4. und 5. Streuung). Zusammenfassend wird ausgeführt, „daß eine Verbesserung des Kraftschlußangebotes auf winterlichen Fahrbahnen durch das Ausbringen mineralischer Streustoffe über einen längeren Zeitraum hinweg nur unter bestimmten Randbedingungen zu gewährleisten ist.“ Für glatteis-ähnliche Fahrbahnzustände stellt das Ausbringen mineralischer Streustoffe in vielen Fällen keine ausreichende Maßnahme zur Glättebekämpfung dar. Das ausgebrachte Material wird wegen der relativ hohen Energie beim Verlassen des Streutellers und der dann besonders glatten Straßenoberfläche überwiegend an den Fahrbahnrand geworfen, da es sich mit der Glattschicht nicht direkt verzahnen kann. Zudem wird das liegengebliebene Material durch den nachfolgenden Verkehr innerhalb kurzer Zeit zur Seite geschleudert.

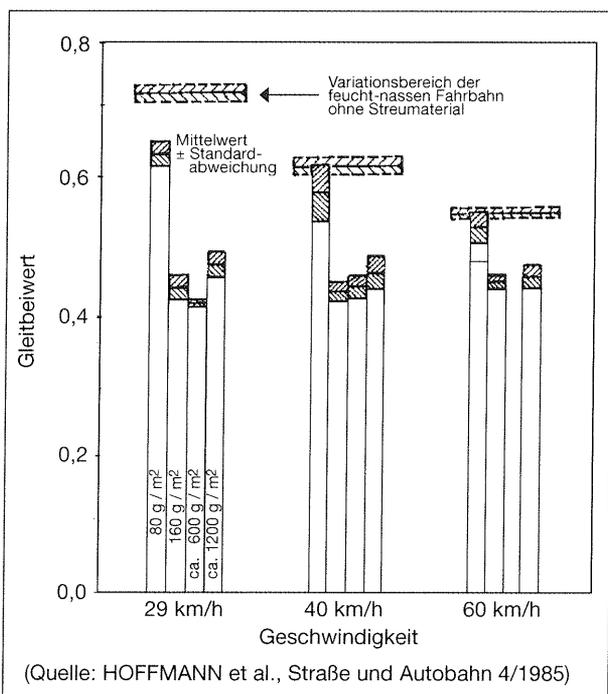


**Bild 7:** Zeitlicher Verlauf des Kraftschlusses bei stabilen Witterungsbedingungen für verschiedene ausgebrachte Streumengen - Beispiel Straße des 17. Juni in Berlin-Charlottenburg am 12. Dezember 1983, Ausgangszustand: durchbrochene festgefahrene Schneedecke mit Eisbuckeln

### 2.3 Wirkung von Streustoffresten nach Ende der Glätteperiode

Um festzustellen, welchen Einfluß nach der Glätteperiode auf der Fahrbahn verbleibende Restmengen abstumpfenden Streugutes haben, wurde auf einer wenig befahrenen Straße der Kraftschluß zwischen Reifen und Fahrbahn gezielt untersucht. Auf einer feucht-nassen Fahrbahn wurden Mengen von 80 g/m<sup>2</sup>, 160 g/m<sup>2</sup>, ca. 600 g/m<sup>2</sup> sowie ca. 1200 g/m<sup>2</sup> Streugut ausgebracht und Kraftschlußmessungen nach der Methode des blockierten Schlepprades durchgeführt. Das Kraftschlußniveau der unbehandelten Fahrbahn wurde ebenfalls aufgenommen und zur Bewertung der Meßergebnisse herangezogen (Bild 8).

Die Anwesenheit abstumpfender Streustoffe auf einer feucht-nassen Fahrbahn führt zu deutlichen Einbußen im Kraftschlußangebot. Ein unteres Niveau von  $\mu = 0,40$  wird jedoch nicht unterschritten. Bei geringen Geschwindigkeiten wird der Unterschied zwischen der Fahrbahn mit Streugut und ohne Streugut größer. Ähnliche Untersuchungen auf trockener Fahrbahn führten unter realistischen Bedingungen tatsächlich vorhandener Reststremengen (ca. 1200 g/m<sup>2</sup>) in der Tendenz zu gleichen



**Bild 8:** Gleitbeiwerte bei Vorhandensein unterschiedlicher Mengen von Streumaterial auf feucht-nasser Fahrbahn (Rollsplitt-Effekt) für unterschiedliche Meßgeschwindigkeiten

Ergebnissen. Auch hier sank das Kraftschlußangebot von Ausgangswerten bei  $\mu = 0,70$  für die trockene Fahrbahn ohne Reste abstumpfender Stoffe auf Werte um  $\mu = 0,40$ .

## 2.4 Auswirkung auf das Fahrverhalten

Zwischen den Reifen eines Fahrzeuges und der Fahrbahnoberfläche gemessene Gleitreibungsbeiwerte sind relativ und für den Kraftfahrer wenig aussagekräftig. Bedeutung erlangen für ihn diese Angaben erst, wenn sie umgerechnet und in Bezug gesetzt werden mit dem, was ein Kraftfahrer im täglichen Verkehr an physikalischen Auswirkungen des Kraftschlußangebotes erfährt. Das heißt:

- Wie ändert sich der Anhalte- bzw. Bremsweg?
- Kann ich vor Ampeln früh genug anhalten?
- Komme ich diese Steigung noch herauf?
- Kann ich da hinunter fahren, ohne ins Rutschen zu kommen?
- Wie stark muß ich vor dieser Kurve abbremesen, um nicht ins Schleudern zu geraten?
- Wie schnell darf ich überhaupt fahren, um andere nicht zu gefährden?

Zunächst eine Anmerkung zu der Tatsache, daß der Gleitbeiwert auf Glätteschichten mit zunehmender Geschwindigkeit - wenn auch nur geringfügig - anwächst. Für den praktischen Fahrbetrieb ergibt sich daraus, daß bei einem auf winterglatter Fahrbahn mit blockierten Rädern abgebremsten Fahrzeug die Reibungswerte beim langsamer werden des Fahrzeuges bis zum Stillstand geringfügig abnehmen. Dagegen nehmen die Reibungswerte auf nasser Fahrbahn beim Bremsen mit absinkender Geschwindigkeit ständig zu. Daraus ergibt sich, daß auf winterglatten Flächen die Bremswege mit blockierten Rädern länger sind als auf nasser Fahrbahn, selbst wenn die Ausgangs-Gleitbeiwerte bei gleicher Geschwindigkeit beim Tritt auf die Bremse gleich sind [WEHNER, 1960].

Der Weg, den ein Fahrzeug vom Erkennen der Notwendigkeit einer Bremsung bis zum Stillstand zurücklegt, errechnet sich als Summe aus dem Reaktions- bzw. „Verlust“weg und dem eigentlichen Bremsweg. Der Verlustweg wird vom Fahrzeug zwischen der „Aufforderung“ zum Bremsen bis zum Eintreten der vollen Bremsverzögerung zurückgelegt, d.h. mit der vollen Ausgangsgeschwindigkeit des Fahrzeuges zum Zeitpunkt des Erkennens der Notwendigkeit zu bremsen. Die Verlustzeit umfaßt die Reaktionszeit des Fahrers, die Ansprechdauer der Bremse und sowie einen Zeit-

anteil bis zum Wirksamwerden des Kraftschlußangebotes. Dieser Anteil des Anhalteweges ist unabhängig vom Fahrbahnzustand und einzig eine Funktion der Geschwindigkeit.

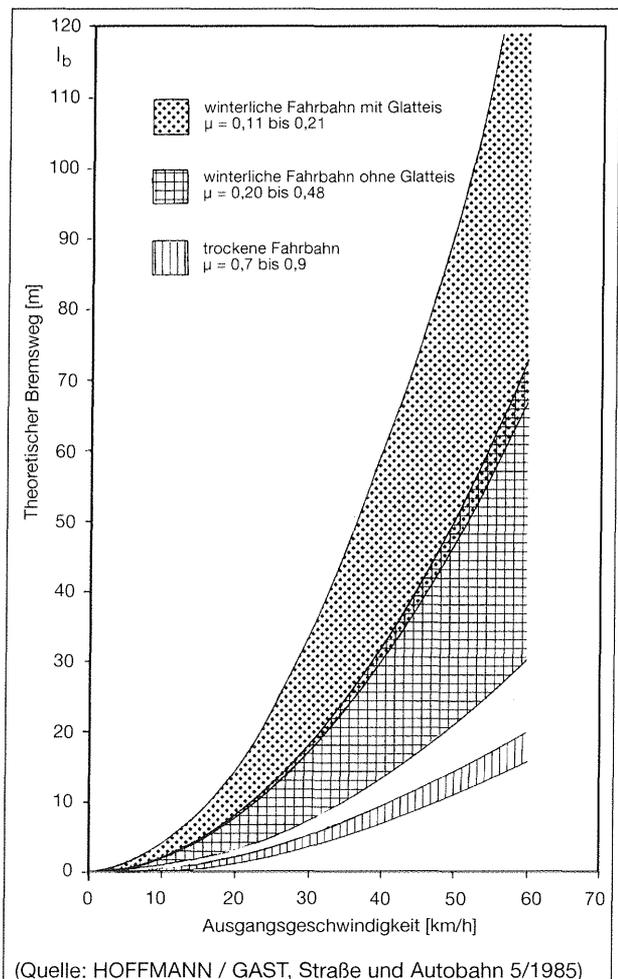
Der Bremsweg  $l$  errechnet sich als Quotient aus dem Quadrat der Ausgangsgeschwindigkeit und dem doppelten Produkt aus der Erdbeschleunigung und dem Gleitbeiwert:

$$l = \frac{v_0^2}{2g \cdot \mu} \quad [\text{m}]$$

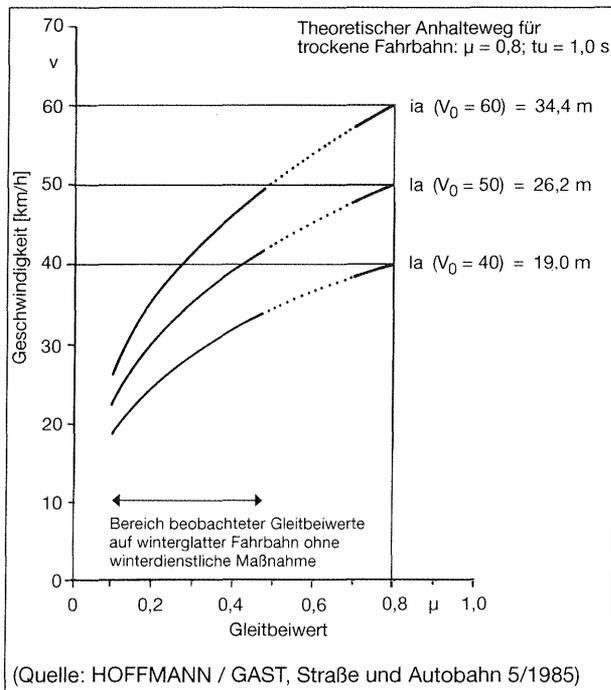
HOFFMANN u. GAST (1985) haben für die drei Bereiche:

- winterliche Fahrbahn mit Glätteis ( $\mu = 0,11$  bis  $\mu = 0,21$ ),
- winterliche Fahrbahn ohne Glätteis ( $\mu = 0,20$  bis  $\mu = 0,48$ ),
- trockene Fahrbahn ( $\mu = 0,7$  bis  $\mu = 0,9$ ),

Bremswege ermittelt und zusammenfassend dargestellt (Bild 9). Mit der Spannweite der in die Be-



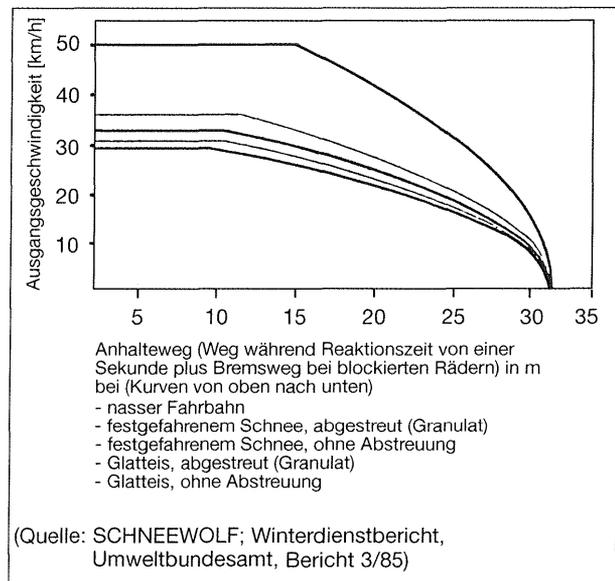
**Bild 9:** Theoretische Bremswege für unterschiedliche Fahrbahnzustände bei verschiedenen Ausgangsgeschwindigkeiten



**Bild 10:** Theoretisch einzuhaltende Geschwindigkeit auf winterlicher Fahrbahn zur Realisierung gleicher Anhaltewege wie auf trockener Fahrbahn bei verschiedenen Ausgangsgeschwindigkeiten auf trockener Fahrbahn

trachtung einbezogenen Werte sind die von WEHNER und HOFFMANN ermittelten Variationsbreiten möglicher Gleitbeiwerte einschließlich der Gleitbeiwerte auf abgestumpften Fahrbahnen abgedeckt. Die Kurvenverläufe machen deutlich, um welches Maß sich Bremswege auf winterlichen Fahrbahnen gegenüber trockenen Fahrbahnen verlängern können. Bei der in geschlossenen Ortschaften zulässigen Geschwindigkeit von 50 km/h können die Bremswege von ca. 14 m auf trockener Fahrbahn auf bis zu 50 m auf schneebedeckter, abgestreuter Fahrbahn ansteigen.

Für die Fahrpraxis wesentlich interessanter ist die umgekehrte Fragestellung: Wie langsam muß ich auf winterglatten Fahrbahnen fahren, um einen vorgegebenen Anhalteweg einhalten zu können? Bild 10 [HOFFMANN U. GAST (1985)] stellt die theoretisch einzuhaltenden Geschwindigkeiten gegenüber. So müßten z.B. Kraftfahrer, die auf einem trockenen Streckenabschnitt mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h fahren, ihre Geschwindigkeit auf winterlichen Fahrbahn mit Glatteis um ca. die Hälfte verringern, um innerhalb der gleichen Strecke zum Stehen zu kommen wie auf der trockenen Fahrbahn. SCHNEEWOLF (1984) wählt für den Vergleich andere Ausgangsbedingungen und eine andere Art der Darstellung (Bild 11): Eine Ausgangsgeschwindigkeit von 50 km/h führt auf

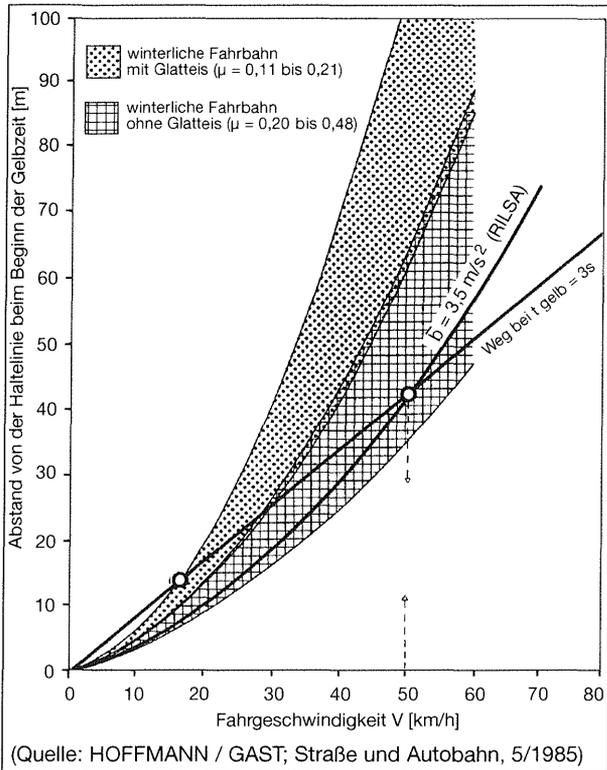


**Bild 11:** Vergleich von Ausgangsgeschwindigkeiten auf nasser und winterglatter Fahrbahn bei gleich langen Anhaltewegen

einer nassen Fahrbahn zu einem ca. 32 m langen Anhalteweg. Erst eine Geschwindigkeitsreduzierung von ca. 30 % auf Werte um 35 km/h und weniger auf gestreuten, festgefahrenen Schneedecken sowie um ca. 40 % auf Werte um 30 km/h auf Glatteis führen zu vergleichbar niedrigen Anhaltewegen.

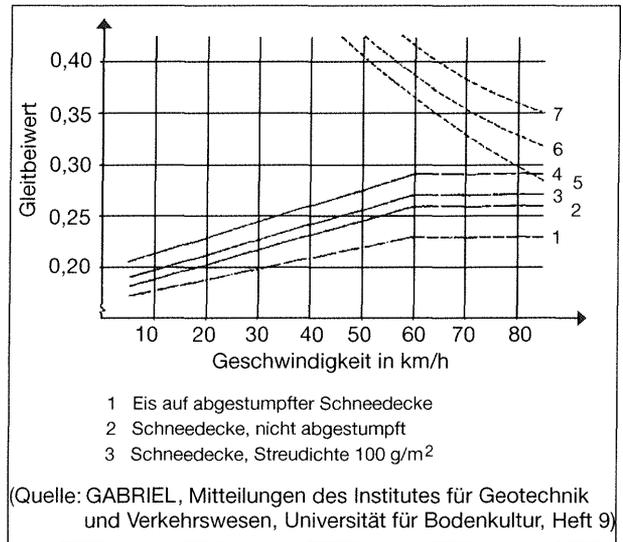
Gerade die auf winterlichen Fahrbahnen erreichbaren Anhaltewege sind besonders wichtig für die Frage, ob ein Kraftfahrer vor einer auf gelb umspringenden Ampel ausreichend schnell/früh genug anhalten kann. Eine Gelbzeit von drei Sekunden innerhalb geschlossener Ortschaften geht davon aus, daß ein Kraftfahrer, der sich mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h der Lichtsignalanlage nähert, beim Umschalten von „Grün“ auf „Gelb“ die Entscheidung entweder zum Anhalten oder zum Weiterfahren treffen kann, ohne erst beim nachfolgenden „Rot“ die Haltlinie zu überfahren. Dabei wird von einer Bremsverzögerung von  $3,5 \text{ m/s}^2$  ausgegangen, die auch auf nasser Fahrbahn für das Anhalten bis zum Stillstand erzielt werden kann.

Bild 12 verdeutlicht, daß Kraftfahrer sich auf winterglatten Fahrbahnen den Lichtsignalanlagen mit erheblich geringerer Geschwindigkeit nähern müssen als auf nassen oder trockenen Fahrbahnen, um nicht eine Überfahrt der Haltlinie bei „Rot“ zu riskieren, solange die Gelbzeit von drei Sekunden auf städtischen Hauptstraßen nicht den Straßenverhältnissen angepaßt wird.

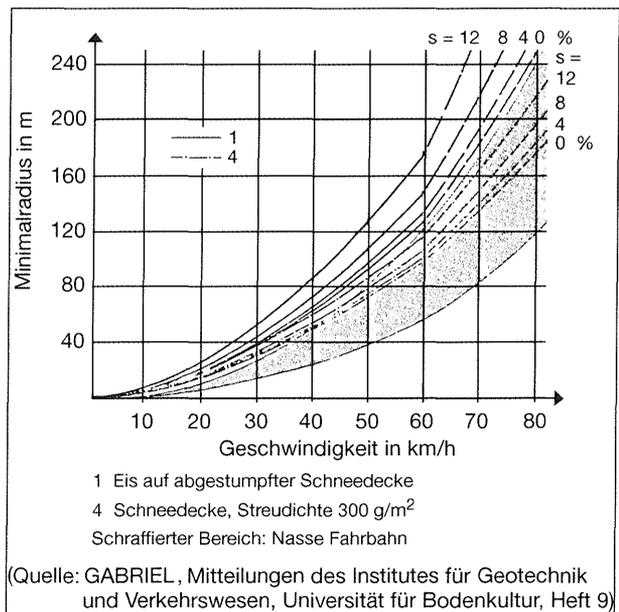


**Bild 12:** Unterschiedliche Auswirkungen der Gelblichtproblematik bei winterglatten Straßenoberflächen gegenüber der Festlegung in den RiLSA

Der Kraftschluß zwischen Reifen und Fahrbahn hat nicht nur Einfluß auf die Bremswege eines Fahrzeuges, sondern auch auf das Anfahren, auf mögliche Kurvenradien und Gefälle bzw. Steigungen. Um hier weiterführende Aussagen bezüglich der möglichen Verwendung von abstumpfenden Streustoffen auf schneeglatten Fahrbahnen treffen zu können, hat GABRIEL (1983) die Untersuchungsergebnisse von WEHNER nach den Merkmalen Gleitgeschwindigkeit, Streudichte und Streustoffart geordnet und einer multiplen linearen Regression unterzogen. Die so erhaltenen Zusammenhänge (Bild 13) wurden - aus sicherheitstechnischen Erwägungen - nur bis zu einer Geschwindigkeit von 60 km/h als gültig vorausgesetzt, darüber hinaus als konstant (gleich dem Maximalwert) angenommen. Die Auswertung in Bezug auf mögliche noch befahrbare Kurvenradien in Abhängigkeit von Geschwindigkeit des Fahrzeuges und Längsneigung der befahrenen Straße ist in Bild 14 dargestellt. Es zeigt sich, daß bei der - in Städten zulässigen - Geschwindigkeit von 50 km/h auf nassen Straßen Kurven mit einem Radius von 40 m noch ohne Probleme befahren werden können, während bei einer mit 300 g/m<sup>2</sup> abgestreuten Schneedecke auf ebener Strecke der Mindestradius ca. 75 m betragen muß, damit das Fahrzeug nicht ins Schleudern gerät. Auf



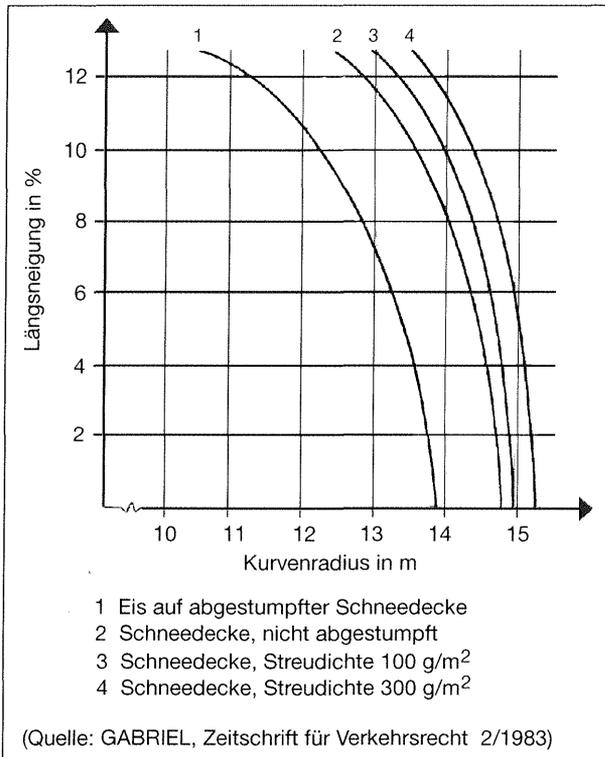
**Bild 13:** Zusammenhang zwischen Gleitbeiwert und Geschwindigkeit



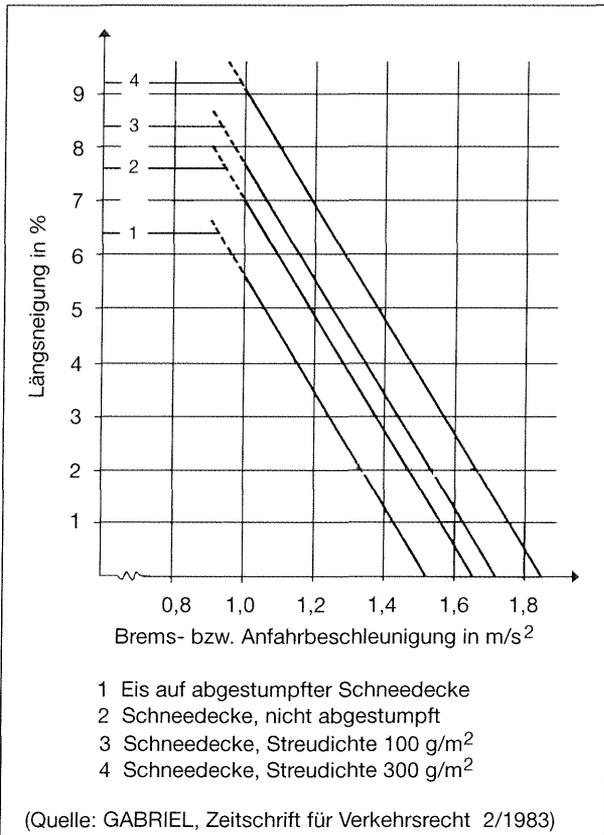
**Bild 14:** Minimal zulässiger Kurvenradius in Abhängigkeit von der Verkehrsgeschwindigkeit und der Längsneigung

eisglatten Straßen beträgt dieser Wert nahezu 100 m. Um Kurven mit Radien von 20 m ohne Probleme durchfahren zu können, muß die Geschwindigkeit (auf ebener Strecke) auf abgestumpften Schneefahrbahnen auf ca. 20 km/h, auf eisglatten Straßen auf ca. 15 km/h reduziert werden gegenüber möglichen 40 km/h auf nassen Straßen.

Konkretisiert für in Ortsgebieten übliche enge Kurvenradien wird der Zusammenhang zwischen Längsneigung und Kurvenradius für Ein- und Abbiegevorgänge in Bild 15. Hier wird für relativ geringe, vom Kurvenradius abhängige Geschwindigkeiten (nach der empirischen Beziehung:  $v$  [km/h]



**Bild 15:** Einsatzgrenzen für Ein- und Abbiegemanöver in Ortsgebieten



**Bild 16:** Zusammenhang zwischen den Brems- bzw. Anfahrbeschleunigungen und der Längsneigung

= 2 R [m] · 10) dargestellt, wie mit abnehmendem Kraftschlußbeiwert der mögliche mit einem Fahrzeug zu befahrene Kurvenradius mit zunehmender Längsneigung abnimmt.

Bild 16 zeigt, welche Brems- bzw. Anfahrbeschleunigungen abhängig von der Längsneigung auf verschiedenen Fahrbahnoberflächen möglich sind. Aus Feldversuchen konnte festgestellt werden, daß auf winterglatten Fahrbahnen die bei vorsichtigem Anfahren bzw. Bremsen auftretenden Beschleunigungs- und Verzögerungswerte in einer Größenordnung von 0,8 m/s<sup>2</sup> bis 1,0 m/s<sup>2</sup> liegen. Die übliche Anfahrbeschleunigung von Pkw auf trockenen Fahrbahnen liegt bei 3 m/s<sup>2</sup> bis 4 m/s<sup>2</sup>. Die Darstellung macht deutlich, daß je nach Art und Zustand der Winterglätte ein Anfahren bzw. Bremsen mit einer Beschleunigung/Verzögerung von 1,0 m/s<sup>2</sup> nur bis zu Steigungen von ca. 5,5 % bis 9 % möglich ist. JUNGINGER (1986) faßt von Kraftfahrzeugen zu bewältigende mögliche Längsneigungen für bestimmte Fahrzeugtypen tabellarisch zusammen. Für die Berechnung wurden Kraftschlußwerte von  $\mu = 0,3$  für Schnee und  $\mu = 0,1$  für Eis zugrunde gelegt.

Die vorgestellten Wirkungen von abstumpfenden Streustoffen auf die Griffigkeit winterglatter Fahrbahnen und die daraus resultierenden Auswirkungen für den Verkehrsteilnehmer auf das Befahren solcher Fahrbahnen mit einem Motorfahrzeug machen deutlich, warum diese Art einer Winterdienstmaßnahme in Österreich häufig als „optische Streuung“ [DEDIC, 1985] bezeichnet wird. Auf die Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit wird in Abschnitt 4 eingegangen.

	Steigung		Gefälle	
	Schnee	Eis	Schnee	Eis
Pkw				
- Frontantrieb	8 %	3 %	21 %	7 %
- Heckantrieb	7 %	3 %	21 %	7 %
Lkw	7 %	2 %	21 %	7 %
Unimog (Allrad)	21 %	7 %	21 %	7 %

**Tab. 1:** Ungefähre Grenzwerte für potentielle Steigungen bzw. Gefälle

### 3 Auswirkungen auf die Umwelt - Beschreibung

Bei der Frage nach Umweltauswirkungen abstumpfender Stoffe wird ganz allgemein davon ausgegangen, daß keine schädlichen Wirkungen auf die „Umwelt“ zu befürchten sind. Wenn überhaupt, wird auf einen möglichen Gehalt an löslichen Schwermetallen oder auf organische Beimengungen verwiesen [AUGUSTIN et al., 1981]. Diese Einstellung beschreibt stellvertretend für andere Aussagen folgendes Zitat: „Aus ökologischer Sicht sind die üblichen abstumpfenden Streumittel wie Sand, Splitt oder andere natürliche Materialien i.a. unbedenklich. Die verschiedentlich gegen abstumpfende Streustoffe vorgebrachten Bedenken wegen eines eventuellen Schwermetallgehaltes beziehen sich vorrangig auf Granulate und ähnliche Stoffe, die aus Feuerungsrückständen gewonnen werden. Bei der Beurteilung der Umweltgefährdung durch diese Stoffe spielt nicht allein der Gehalt an Schwermetallen eine Rolle, sondern auch die Frage, in welchen Mengen umweltschädliche Verbindungen herausgelöst werden können.“ [WICHMANN, 1995]

Etwas differenzierter beantwortet allerdings bereits 1982 die Bundesregierung eine kleine Anfrage zum Verkehr auf winterlichen Straßen [Drucksache 9/1403]. Auf die Frage „Welche anderen Streumittel (gegenüber Streusalz, Anm. des Verfassers) kommen bei den verschiedenen Straßenkategorien in welchen Größenordnungen als Ersatz in Frage und welche

- a) Umweltschäden,
- b) Schäden an Straßen,
- c) Schäden an Fahrzeugen

gehen von diesen Streumitteln aus?“ werden bei den Schädwirkungen durch Sand und Splitt auf die Umwelt die „Verstopfung von Kanalisation und Beeinträchtigung der Kläranlagen“ sowie „Ablagerungen auf anliegenden Grundstücken“ genannt. Welche Schädwirkungen sind in der Literatur aufgeführt?

#### 3.1 Straßenumfeld: Vegetation, Böden, Gewässer, Tierwelt

Allgemein ist - wie bereits ausgeführt - davon auszugehen, daß von abstumpfenden Streustoffen keine chemischen Wirkungen auf die Straße und das Straßenumfeld ausgehen [OECD, 1989]. Sie

werden jedoch vom Verkehr über die Fahrbahnränder hinaus auf angrenzende Flächen geschleudert. Dadurch können nachteilige Wirkungen entstehen, wie in den alten Winterdienst-Merkblättern [AA Winterdienst, 1984; AK Kommunalen Winterdienst, 1985] ebenso ausgeführt wird wie in dem neuen Merkblatt für den Unterhaltungs- und Betriebsdienst an Straßen, Teil: Winterdienst [AA 3.14, 1997]. Im Teil: Winterdienst außerhalb geschlossener Ortslagen [FGSV, 1984] wird bei den möglichen nachteiligen Auswirkungen abstumpfender Streustoffe u.a. konkretisiert: „Ablagerungen auf angrenzenden Flächen können Schäden am Straßenbegleitgrün hervorrufen und die Qualität insbesondere von landwirtschaftlich genutzten Böden verschlechtern.“

Konkrete Aussagen zu Auswirkungen dieses Vorganges z.B. auf das Straßenbegleitgrün liegen vor. Nicht nur durch den Verkehr sondern auch im Zuge der Schneeräumung kommt es zu Splittablagerungen auf Banketten, Böschungen und angrenzenden Grundstücken. Eine Entfernung des Streusplittes nach Winterende ist - im Außerortsbereich - aus Wiesengrundstücken nur mit hohem Zeitaufwand und nicht restlos möglich, aus Äckern und Waldgrundstücken, besonders bei Jungholz, nahezu unmöglich. Landwirte beklagen Schäden an ihren Mähgeräten und einen Minderertrag [SCHNEIDER, 1986]. Der Grasbewuchs kann dadurch schwer geschädigt oder vernichtet werden, so daß nur tiefwurzelnde Unkräuter überleben können. Ein von der Bezirkskammer für Land- und Forstwirtschaft Münzzuschlag erstelltes Gutachten hat auch einen Zuwachsverlust beim Baumbestand um zwei Bonitätsstufen festgestellt. Dies würde eine Wertminderung des Holzertrages um 20 % bedeuten [DIRNBÖCK, 1993]. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen begleitende Untersuchungen zur Bodenbelastung durch Streumaterialien im Winterdienst im Rahmen des Modellversuches „Optimierter Straßenwinterdienst in Dortmund und Berlin“. Dreijährige Untersuchungen an einem Freilandstandort in Dortmund neben einer Straße, die mit Splitt gestreut wurde, zeigten für Haselsträucher (*Corylus avellana*) im Vergleich zu weißen Strecken ohne Streustoffeinsatz kleinere Laubblätter, eine frühere Laubvergilbung und zeitigeren Laubfall. Diese Ergebnisse werden vom Verfasser jedoch durch den Hinweis auf die Immissionsbelastung des Standortes relativiert [GEWU, 1992].

Neben der beobachteten und beschriebenen Verunreinigung und Aufhöhung der Bankette von

Außerortsstraßen sind keine Literaturstellen bekannt, in denen unmittelbar über Beeinträchtigungen von Böden durch abstumpfende Stoffe berichtet wird. Auf mögliche Auswirkungen mineralisch gebundener oder angelagerter Schwermetalle auf Böden sowie die möglicherweise notwendige Verwertung (Ablagerung, Wiederverwendung) oder Entsorgung von abstumpfenden Streustoffen nach dem Einsatz im Winterdienst wird in Abschnitt 4 „Bewertung“ und Abschnitt 5 „Auswirkungen auf den Betrieb“ eingegangen. Untersuchungen liegen allerdings vor zur Frage der Verwendung von mineralischen Abfallstoffen zur Bodenverbesserung und Bodenherstellung im Landschaftsbau [KLASSEN, 1987], d.h. von Materialien, die auch als abstumpfendes Streugut verwendet werden können. Anhand von Versuchen wird nachgewiesen, daß verschiedene Schlacken- und Schmelzkammergranulate - insbesondere in Verbindung mit Klärschlamm - für vegetationstechnische Zwecke verwendet werden können. Als Einsatzgebiete werden z.B. die Rekultivierung von Deponien u.ä., die Anlage von Park- und Grünanlagen oder sogar der Bau von Spiel- und Sportplätzen genannt. Ziel der Untersuchung war, Einsatzgebiete für sonst als Abfall zu behandelnde industrielle Nebenprodukte zu finden. Es ist davon auszugehen, daß auch natürliche abstumpfende Streustoffe für derartige Zwecke ähnlich geeignet sind, zumal bei den Versuchen die vorgefundenen Schwermetallgehalte das Wachstum nicht negativ beeinflussten. Abstumpfende Stoffe an sich haben somit zumindest keine negativen Auswirkungen auf im Landschaftsbau verwendete Böden. Über Auswirkungen auf die Bearbeitbarkeit landwirtschaftlich genutzter Böden wurden keine Literaturstellen gefunden.

Sehr wenige Literaturstellen wurden zu Auswirkungen von abstumpfenden Streustoffen auf Gewässer gefunden. Nur WICHMANN (1995) zitiert eine Literaturstelle, nach der nach einer Winterperiode abstumpfende Streustoffe auch in Vorflutern gefunden werden. Dasselbe Zitat bestätigt das Vorhandensein dieser Materialien in der Kanalisation und sogar in Kläranlagen. Auch das Verstopfen von Entwässerungsanlagen (vorwiegend auf der freien Strecke) wird aufgeführt. Auswirkungen auf die Qualität von fließenden oder stehenden Gewässern oder gar von Grundwasser werden an keiner Stelle erwähnt oder beschrieben.

Auch für am Rande der Straße lebende Tiere wird offenbar vorausgesetzt, daß abstumpfende Streustoffe keine oder zumindest keine negativen Aus-

wirkungen haben. Aus diesem Grund liegen auch hier kaum verwertbare Literaturstellen vor. Schädigungen der Mesofauna in Straßenrandböden oder im Bankett sind nicht bekannt. Die bereits angesprochene Verunreinigung landwirtschaftlich genutzter Flächen führt häufig zu Bitten von Landwirten, wieder auf Salz umzusteigen, da weidendes Vieh im Gegensatz zu reinen Salzstreustrecken die an Splittstreustrecken angrenzenden Weideflächen meidet [SCHNEIDER, 1986]. Rein subjektiv sind in Artikeln der Tagespresse zitierte Aussagen von Haustierbesitzern, die ihre Hunde auf abgestumpften Gehwegen lieber „Gassi“ führen als auf gesalzene: „Früher mußten wir immer mit unseren Hunden wegfahren, da sie sich an der mit Salz gestreuten Straße die Pfoten wundgelaufen haben. Jetzt kann man mit ihnen auch mal um die Ecke gehen, ohne sich gleich Sorgen zu machen.“ [VILLINGER, 1982]

### 3.2 Bauwerk Straße, Fahrzeuge

Nachteilige Wirkungen von abstumpfenden Stoffen auf Fahrbahndecken (Beton oder Asphalt) sind nicht bekannt und wohl auch nicht zu erwarten. Auch Auswirkungen auf Pflasteroberflächen sind nicht zu befürchten [GÜTTNER, 1983]. An Fahrbahnmarkierungen wurde allerdings vorzeitiger Verschleiß als negative Auswirkung der schmirgelnden Wirkung abstumpfender Stoffe beobachtet [FGSV, 1984/1985]. Durch abstumpfendes Streugut werden Entwässerungsanlagen von Straßen und Brücken verstopft, ebenso Einlaufschächte und Rohrleitungen. Rinnen und Gräben (vornehmlich im Außerortsbereich) werden leicht zugeschwemmt. Nicht geeignet sind abstumpfende Stoffe für den Winterdienst auf offenporigen Fahrbahnbelägen (Drän- oder Flüsterasphalt) [ROOS / HOLDORP, 1997 u.a.], da sie die Poren zusetzen und so die Funktion dieser Beläge aufheben.

Schäden an Brückenbauwerken durch abstumpfende Stoffe sind nicht bekannt. Diese Aussage gilt sowohl für die Fahrbahnbeläge auf Brücken als auch für den Brückenbaustoff (Stahl, Beton, Stahlbeton). Verletzungen von Korrosionsschutzanstrichen als Folge von „Steinschlag“, d.h. durch Einzelkörner beim Ausbringen oder durch Aufwirbeln durch den Verkehr, sind nicht auszuschließen.

Abstumpfende Stoffe können aufgrund ihrer Kornstruktur bereits bei Ausbringen an vorbeifahrenden

und parkenden Fahrzeugen Lackschäden hervorrufen. Derartige Schäden sind mehrfach belegt und haben zu entsprechenden Urteilen bei Klagen gegen den Verursacher dieser Schäden geführt. Zumindest ein Teil der ausgebrachten abstumpfenden Stoffe bleibt auf der Straße liegen und kann in den meisten Fällen nicht unmittelbar mit Kehrfahrzeugen wieder aufgenommen werden. Einzelkörner werden so durch Fahrzeuge aufgewirbelt und können an den nachfolgenden Fahrzeugen Lack- und Glasschäden verursachen. An den geschädigten Lackstellen setzt atmosphärische Korrosion ein, die den Karosseriestahl unter Feuchtigkeitseinfluß rosten läßt. Genau dieses ist der Grund für die starken Korrosionsschäden bei Verwendung abstumpfender Stoffe [GÜTTNER, 1983].

Korrosionsschäden an Winterdienstfahrzeugen, -geräten und -maschinen kommen kaum vor, da die Hersteller dieser Geräte ihre Produkte größtenteils mit sehr guten Bitumenauskleidungen versehen. So wird auch im Streustoffbehälter ein guter Schutz gegen die mechanische Beanspruchung durch abstumpfende Streustoffe erzielt. Kritisch ist jedoch der Staub, der bei Verwendung abstumpfender Streustoffe entsteht, in die Lager von Streustoffbehältern und Fahrzeugen gelangt und diese festsetzt [GÜTTNER, 1983].

### 3.3 Luft

Insbesondere weniger harter Streusplitt wird durch Verkehrseinwirkung zum Teil zu Feinstaub zermahlen und am Fahrbahnrand sowie auf unbefahrenen Trennflächen abgelagert. Nach dem Abtrocknen der Fahrbahn wird vielfach Feinstaub in Aerosolgröße aufgewirbelt und stellt für Verkehrsteilnehmer und Anrainer eine Belästigung dar [DIRNBÖCK, 1993]. In Helsinki ist der im Winterdienst ausgebrachte Sand neben dem Abrieb von Asphaltdecken einer der zwei Hauptgründe für die Verschmutzung der Luft mit Staub im Winter [KAREOJA, 1990]. In Denver/Colorado beträgt der Beitrag des Winterdienst-Sandes an der Verschmutzung der Luft mit Partikelstaub bis zu 45 % [CHANG et al., 1995]. Auch aus Wien wird als Auswirkung großzügig ausgestreuten „Rollsplittes“ über erhöhte Staubbelastung in Teilen der Stadt berichtet. Erhöhte Schwebestaubkonzentrationen an zahlreichen Wiener Luftgütemeßstellen führten - zusammen mit hohen Schwefeldioxid-Konzentrationen - im März 1996 fast zu einer Smog-Vorwarnung [DIE PRESSE, 20.03.1996].

Genauere Untersuchungen über Höhe und Art dieser Verschmutzung liegen aus Deutschland vor. Die Berliner Stadtreinigungsbetriebe (BSR) haben in zwei Gutachten die in Berlin verwendeten abstumpfenden „Streumittel, Kehricht, Gullyschlamm und Gesamtstaub auf ihre Gehalte an Schwermetallen“ sowie die „silikogenen Bestandteile des Feinstaubes in Folge des Berliner Straßen-Winterdienstes mit Quarzkiessplitt“ [ASPHALTA, 1987] und die „Staubbelastung durch abstumpfende Streumittel (Quarzkiessplitt) an Straßen“ [LASKUS et al., 1991] untersuchen lassen.

Freie kristalline Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$  - kristalliner Quarz) wirkt gesundheitsschädlich, wenn sie als Feinstaub ( $< 5\mu\text{m}$  Korngröße [ASPHALTA, 1987]) eingeatmet wird. Ein kleiner Teil des Staubes gelangt in die Lungenbläschen (Alveolen) und wird dort zurückgehalten (retiniert). So kommt es zu einer Fibrose, d.h. ursprünglich atmungsaktives Lungengewebe wird bindegewebig umgeformt und ist dann nicht mehr atmungsaktiv. Das Maß der Schädigung wird bestimmt durch

- die Konzentration freier kristalliner Kieselsäure in der Atemluft,
- die Menge, Einwirkdauer und -rhythmik des in den Alveolarbereich gelangenden Staubes sowie
- individuelle Disposition.

Das ASPHALTA-Gutachten untersuchte die silikogene Gefährdung des Kehrpersonals und der Bevölkerung durch beim Kehren aufgewirbelten Straßenstaub. Einbezogen wurden Straßen der Streustufen I (generelle Streuung von Quarzkiessplitt) und II (ausnahmsweise Streuung). An einer Kehrmachine wurden der Gesamtstaub und die lungengängigen Quarzfeinstaubkonzentrationen gemessen. In einem weiteren Untersuchungsteil wurde die Gesamtstaubbelastung ermittelt, die beim Handkehren entsteht. Die Meßdauer betrug jeweils mindestens eine Stunde bei trockener Witterung, Außentemperaturen von  $10\text{ }^\circ\text{C}$  bis  $15\text{ }^\circ\text{C}$  und geringen Windgeschwindigkeiten. Bei der Wichtung der Meßwerte wird darauf hingewiesen, daß vor den Messungen starke Regenfälle möglicherweise einen Teil des in der Luft und auf der Straße vorhandenem Feinstaubes ausgewaschen und in die Kanalisation abgeführt haben.

Die Untersuchung kommt zu den folgenden Ergebnissen:

- In einer Straße mit hoher Verkehrsdichte wurde eine „Nullmessung“ durchgeführt. Der auf dem

Parkstreifen gemessene silikogene Feinstaub lag ca. 25 % unterhalb des MAK-Wertes (MAK = maximale Arbeitsplatzkonzentration). Da zudem die Expositionszeiten sehr gering sind, schließt das Gutachten eine mögliche Gefährdung von Fußgängern und sonstigen Verkehrsteilnehmern aus.

- Die Staubmessung an Kehrfahrzeugen ergab eine Überschreitung des MAK-Wertes in Straßen der Streustufe I und II. Das Gutachten zieht daraus folgende Schlüsse bezüglich einer Gefährdung des Kehrpersonals:
  - Mitarbeiter im Innern des Fahrerhauses sind nicht gefährdet, da dort ein um eine Zehnerpotenz geringerer Wert an Feinstaub herrscht.
  - Bei einer Bewertung der Gefährdung von Mitarbeitern, die sich nicht im Fahrerhaus aufhalten, ist die Dauer der Expositionszeit zu berücksichtigen. Bei einer Einwirkdauer von nur 3-4 h/d z.B. ist der gemessene Staubbewertungswert durch 1,5 zu dividieren. Dennoch ist bei Mitarbeitern, die Straßen der Streustufen I und II per Hand reinigen, eine Gefährdung durch silikogenen Staub nicht auszuschließen, wenn auch unwahrscheinlich. Das Tragen einer Feinstaubmaske mit der Schutzstufe P 3 schließt eine Gefährdung völlig aus.

Ein weiteres Gutachten (Bundesgesundheitsamt, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene (WaBoLu) [LASKUS et al., 1991]) untersucht ebenfalls das Gefährdungspotential von Anwohnern, Verkehrsteilnehmern und Kehrpersonal. An drei exponierten Stellen des Berliner Straßennetzes wurden z.T. mehrtägige (48 h bis 72 h) Messungen des alveolengängigen Staubanteiles sowie der Gesamtstaubkonzentration durchgeführt. Dabei wurde bei der Bewertung des Feinstaubes zwischen dem Gehalt an kristallinem Quarz und anderen nichtlöslichen Silikatpartikeln unterschieden. Außerdem wurden die Staubproben auf Blei, Cadmium, Chrom und Nickel analysiert. Festgestellt wurde, daß die Quarzgehalte der gezogenen Proben gering waren. Sie lagen im Bereich von 1 bis 21 % des Gesamtstaubes und bei 0 - 66,5 % im alveolengängigen Feinstaubanteil (hier angegeben mit  $\leq 7,5 \mu\text{m}$ ).

Die gemessenen Gesamtstaubwerte überschreiten in vielen Fällen die Konzentration von  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . In diesen Fällen ist davon auszugehen, daß über die

jeweilige Probenahmedauer der MIK-Wert (MIK = maximale Immissionskonzentration) von  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (24-Stunden-Mittelwert) für die Exposition an aufeinanderfolgenden Tagen oder aber der MIK-Wert von  $250 \text{mg}/\text{m}^3$  für die einmalige Exposition über 24 Stunden an jeweils einem der Meßtage überschritten worden ist. Auch wird nicht ausgeschlossen, daß bei den gemessenen besonders hohen Konzentrationen Spitzenbelastungen aufgetreten sind, die den MIK-Wert von  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1-Stunden-Mittelwert) für die Exposition in bis zu drei aufeinanderfolgenden Stunden überschritten haben. Die auch im Mittel recht hohen Staubwerte an den einzelnen Meßpunkten werden „im wesentlichen auf Aufwirbelungen des mit dem - überwiegend am Straßenrand konzentrierten - Splitt vermischten Staubes durch den Kraftfahrzeugverkehr, die höhere Staubbewertung der Straßen im Winter durch Heizungsanlagen und Kraftwerke sowie - nicht zuletzt - die im Vergleich zu den Sommermonaten nur seltene Naßreinigung der Straßen durch die Berliner Stadtreinigungsbetriebe im Winter“ zurückgeführt.

Der MAK-Wert von  $0,15 \text{mg}/\text{m}^3$  (entsprechend  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) für den Quarzfeinstaub bietet nach Ansicht der Gutachter des WaBoLu keine sinnvolle Grundlage zur Bewertung des gesundheitlichen Risikos. In der Regel sind MAK-Werte - wie auch der Quarzfeinstaub-MAK-Wert - auf eine tägliche 8stündige Exposition am Arbeitsplatz bei einer festgelegten Wochenarbeitszeit bezogen. Sie sind auf gesunde Personen im erwerbsfähigen Alter anwendbar, wenn diese einer ständigen betriebsärztlichen Kontrolle unterliegen. Die im Gutachten festgestellten Quarzstaubwerte werden dagegen als reale mittlere Belastung von Passanten und als untere Belastung von BSR-Mitarbeitern im Einsatz mit Handkehrgeräten angesehen. So wird für Passanten aufgrund der überwiegend doch recht niedrigen Quarzfeinstaubwerte und ihrer relativ geringen Aufenthaltsdauer an den mit Quarzkiessplitt abgestreuten Straßen keine silikogene Gefährdung angenommen. Bei Mitarbeitern der Stadtreinigungsbetriebe, die häufig zum Handkehrdienst eingesetzt werden, werden jedoch ärztliche Untersuchungen hinsichtlich der Unbedenklichkeit der durch das Kehren entstehenden, als hoch anzusetzenden und direkt einwirkenden Konzentrationen von Quarzfeinstaub und auch von „normalem“ Staub empfohlen.

Zusammenfassend wird ausgeführt:

- Eine gesundheitliche Beeinträchtigung von Passanten wie auch von Anwohnern stark befahrener, mit Quarzkiessplitt abgestreuter Straßen durch Schwebstaub-Immissionen ist nicht anzunehmen, aber auch nicht auszuschließen.
- BSR-Mitarbeiter, die häufig zum Handkehrdienst eingesetzt werden, sollten - auch hinsichtlich der direkten Einwirkung von aufgewirbeltem Quarzfeinstaub - einer ärztlichen Kontrolle unterzogen werden. Es wird geraten, beim Kehren geeignete Staubmasken zu tragen. Eine silikogene Gefährdung ist bei häufigem Einsatz nicht auszuschließen.
- Die gemessenen Schwermetallgehalte haben im Vergleich zum Staub keine gesundheitsrelevante Bedeutung.

## 4 Auswirkungen auf die Umwelt - Beurteilung

Noch in den dreißiger Jahren verstand man unter Straßenwinterdienst lediglich die Schneeräumung und den Schutz der Straße vor Schneeverwehungen. Die Beseitigung von Glätte auf den Fahrbahnen war weitgehend unbekannt und vor allem unerwünscht, weil der vielerorts übliche Schlittenverkehr erschwert, wenn nicht unmöglich geworden wäre. Von den Fahrern der wenigen, im Winter überhaupt verkehrenden Kraftfahrzeuge - Pkw wurden größtenteils im Winter stillgelegt, der Lkw-Verkehr war überaus gering - wurde erwartet, daß sie sich entsprechend auf die winterlichen Straßenverhältnisse und Erschwernisse einstellten. Auf Gehwegen war es allerdings damals schon üblich, Maßnahmen gegen Glätte zu ergreifen. Das war nach den geltenden Ortssatzungen in der Regel Sache der Anlieger und geschah mit - als Abfallprodukt der wohl in jedem Haushalt vorhandenen Öfen - reichlich vorhandener Asche, z.T. auch mit Sand oder anderen abstumpfenden Stoffen.

Erst langsam begann man, mit der zunehmenden Verbreitung des Kraftwagens und der Inbetriebnahme der ersten Kraftwagenstraßen, zunächst Steigungs- und Gefällestrecken in gleicher Weise wie Gehwege zu behandeln, nämlich abzustumpfen. Immer mehr erwies es sich als notwendig, dem anwachsenden und vor allem schneller werdenden Kraftverkehr auch im Winter überall sichere Fahrwege zu bieten. Die Bemühungen, die von den Gehwegen bekannte abstumpfende Streuung zu

optimieren und das Streugut auf der Fahrbahn zu halten, wurden jedoch bald, erstmalig 1936 - initiiert durch den Generalinspekteur für das deutsche Straßenwesen -, durch Versuche der Glättebeseitigung mit Hilfe von Taustoffen ergänzt. In der „Dienstanweisung für die Verwendung von Streusalzen im Winterdienst“ aus dem Jahre 1940 heißt es als Ergebnis dieser Versuche im Vorwort: „Glätte und Schneeglätte wurden bisher zumeist durch das Bestreuen der Fahrbahn mit abstumpfenden Stoffen (Asche, Sand, Splitt) bekämpft. Umfangreiche Versuche in den letzten Wintern haben gezeigt, daß in vielen Fällen die Verwendung von Streusalzen eine durchgreifendere und wirtschaftlichere Bekämpfung ermöglicht.“

Nach dem 2. Weltkrieg war die Zahl der Kraftfahrzeuge im Gebiet der damaligen Bundesrepublik erheblich dezimiert ( $\approx$  1,4 Mio. Kraftfahrzeuge, davon ca. 615.000 Krafträder). Der Verkehr war entsprechend gering und die wenigen zur Verfügung stehenden Geldmittel wurden für die Instandsetzung der zerstörten Brücken und Straßen verwendet. Deshalb beschränkte man sich im Winterdienst zunächst erneut auf das Abstumpfen von Steigungsstrecken und ging erst mit wieder zunehmendem Verkehr dazu über, winterglatte Straßen - auch die Autobahnen - allgemein mit abstumpfenden Stoffen zu behandeln. Im Winter 1956/57 wurden pro Kilometer Autobahn bis zu 63 Tonnen Splitt gestreut, eine Menge, die auf Dauer weder personell, noch materiell, noch finanziell zu verwirklichen war. Um das im Freien gelagerte Streugut vor dem Zusammenfrieren zu schützen, wurde im „Merkblatt für Maßnahmen gegen Winterglätte auf Straßen“ aus dem Jahre 1955 empfohlen, jedem Kubikmeter Streugut „30 bis 80 kg Salz (NaCl) oder 20 bis 50 kg  $\text{CaCl}_2$  oder  $\text{MgCl}_2$ “ zuzusetzen. Das entspricht einem Taustoffanteil zwischen 1 % und 5 %.

Da das Streugut selbst bei der damaligen mittleren Verkehrsbelastung der Autobahnen von ca. 8.000 Kfz/24h (DTV) bereits nach 15 bis 20 Minuten zum größten Teil an den Fahrbahnrand oder auf den Seitenstreifen geschleudert wurde und auch eigens für diesen Zweck konstruierte Geräte das so verschleuderte Streugut nicht wieder nachhaltig auf die Fahrspuren bringen konnten, wurde fast zwangsläufig die Salzstreuung neu erfunden und im Winter 1956/57 erstmals in der Bundesrepublik erprobt. Die darauf folgende, zunächst unkontrollierte Verwendung von Tausalzen in den sechziger und siebziger Jahren führte zu erheblichen Schäd-

den an Fahrzeugen, an Bauwerken und vor allem an der Straßenrandvegetation. Die daran anknüpfende Umweltdiskussion und der „Streusalzbericht I“ des Umweltbundesamtes [AUGUSTIN et al., 1980] kehrten die Entwicklung zumindest im Innerortsbereich gründlich um, die abstumpfenden Streustoffe wurden sozusagen „neu erfunden“. Dabei wurden die bekannten Nachteile ignoriert oder zumindest anders gewertet. Viele Gemeinden haben daraufhin den Streusalzverbrauch drastisch eingeschränkt. Ob und inwieweit auch dieser Trend gestoppt oder gar umgekehrt werden sollte, bedarf der ausführlichen und umfassenden Wertung der bis heute gewonnenen und publizierten Erkenntnisse über die Auswirkungen der Verwendung abstumpfender Streustoffe im Winterdienst, die in den folgenden Abschnitten vorgenommen wird.

## 4.1 Straße, Straßenumfeld

### 4.1.1 Fahrbahn

In Abschnitt 3.2 wurde festgestellt, daß nachteilige (Schade-) Wirkungen von abstumpfenden Streustoffen auf Asphalt- oder Betonfahrbahnen nicht bekannt sind, zumindest in der gefundenen Literatur nicht aufgeführt werden. Gleiches gilt für gepflasterte Verkehrsflächen. Berichtet wurde über schnelleren Verschleiß von Fahrbahnmarkierungen, der allerdings nicht mit Zahlen belegt wurde und sich somit einer zumindest quantitativen Bewertung entzieht. Kosten, die entstehen, um durch die schmirgelnde Wirkung abstumpfender Stoffe vorzeitig verschlissene Fahrbahnmarkierungen früher als eigentlich vorgesehen zu erneuern, können deshalb nicht beziffert werden.

Der Hinweis, daß ein Winterdienst mit abstumpfenden Stoffen die Funktionalität von Drän- bzw. Flüsterasphalt nicht nur mindert, sondern durch das Verstopfen der für die Entwässerung und die lärmindernden Wirkung erforderlichen porösen Oberfläche außer Kraft setzt, ist für einen verantwortungsvollen und mitdenkenden Winterdienstleistenden eigentlich nicht erforderlich. Durch abstumpfende Streustoffe entstehende Funktionsbeeinträchtigungen offener Fahrbahndecken können nach Meinung des Verfassers somit nicht als schädliche Wirkung bewertet werden.

### 4.1.2 Bauwerke

Das gesamte „Bauwerk Straße“ umfaßt neben den oben behandelten Fahrbahndecken eine Reihe

weiterer Einzelbauwerke. Die offenkundigsten Bauwerke sind die Brücken. Auch hier gilt das für die Fahrbahndecken bereits gesagte: Schäden an Brückenbauwerken durch abstumpfende Streustoffe werden in der Literatur nicht beschrieben. Da von abstumpfenden Stoffe keine chemischen Wirkungen ausgehen, führt ihre Verwendung auch nicht zu den von den Chloriden bekannten Korrosionsschäden der Metall-, insbesondere der Stahlbaustoffe der Brückenbauwerke. Die von GÜTTNER (1983) für Kraftfahrzeuge beschriebene atmosphärische Korrosion des Karosseriestahls, die durch Lack-, in diesem Fall besser Korrosionsschutz-Schäden aufgrund von Steinschlag durch ausgebrachte oder aufgewirbelte Einzelkörner entstehen, sind für Brückenbauwerke in der Literatur nicht belegt. Derartigen Schäden wird allerdings bereits dadurch vorgebeugt, daß für den durch Streusplitt erreichbaren Teil der Stahlkonstruktion mechanisch strapazierfähiger Korrosionsschutz auf Basis von Polyurethanharzen ausgeschrieben wird. Weiche PVC-Überzüge als Korrosionsschutz sind in den kritischen Bereichen nicht zugelassen. Durch diese Praxis entstehende zusätzliche Kosten sind aber so geringfügig einzustufen, daß sie in der Gesamtbewertung keine Rolle spielen.

Zu den Bauwerken an Straßen gehören neben den Brücken auch die verschiedenen Arten von Entwässerungseinrichtungen, die weniger ins Auge fallen, für den Unterhaltungs- bzw. Betriebsdienst aber einen nicht unerheblichen Wartungsaufwand darstellen. Nachweislich werden abstumpfende Stoffe nicht nur durch den Verkehr sondern auch im Zuge der Schneeräumung von der Straße in den Straßenseitenraum verlagert. In diesem Straßenseitenraum - im Kommunen zum Teil direkt auf und/oder unter der Straße - befinden sich Einlaufschächte der Kanalisation, Sickerschächte zum Aufnehmen von Regenwasser, Rinnen und Gräben, die Straßenabwässer in Vorfluter leiten, sowie Regenrückhaltebecken. Die Auswirkungen der Verlagerung des Streugutes in die genannten Entwässerungseinrichtungen beschränken sich sämtlich auf die Notwendigkeit der z.T. sicher recht aufwendigen mechanischen Reinigung der Anlagen. Ergänzend wird darauf hingewiesen, daß „in den Entwässerungseinrichtungen mitgeschlepptes Streugut durch seinen Schleifeffekt die Wände der Leitungen zerstört.“ [REMLINGER, 1984] Auch hier sind die Angaben in der Literatur nicht ausreichend, um die entstehenden Kosten quantifizieren zu können.

Einen Teil des Bauwerkes Straße stellen die Bankette dar. In der Literatur wird darauf hingewiesen, daß es durch den Einsatz von abstumpfenden Streustoffen zu Aufhöhungen der Bankette kommt. Als Folge der Aufhöhung sind die Bankette häufiger abzuschälen, um den Abfluß von Regenwasser - im Winter auch Schmelzwasser - von der Straße zu gewährleisten. Mangelnder Abfluß von Regen (und Schmelz-)wässern von der Straße erhöht die Gefahr von Aquaplaning und im Winter von Eisglätte und hat so mittelbar Auswirkungen auf die Sicherheit von Verkehrsteilnehmern. Mit einer Bankettschälmaßnahmen „einher geht jeweils der Verlust der vorhandenen Vegetationsdecke.“ [REMLINGER, 1984] Zur Kostenschätzung für zusätzliche Bankettschälmaßnahmen reichen auch hier die Angaben der Literatur nicht aus. Erstmals kommt jedoch - im Rahmen der hier durchgeführten Beurteilung der Auswirkungen abstumpfender Stoffe - als Möglichkeit einer sekundären Folge die Sicherheit von Verkehrsteilnehmern ins Spiel, die sich jedoch erst recht einer Quantifizierung entzieht.

#### 4.1.3 Fahrzeuge

Im Vergleich zu Korrosionsschäden durch tauende Streustoffe, die in erheblichem Umfang aufgetreten waren, inzwischen jedoch durch entsprechende Maßnahmen der Automobilindustrie (Hohlraumversiegelung u.ä.) nicht mehr oder nur noch selten auftreten, sind Schäden durch abstumpfende Stoffe häufig auf eine bestimmte Situation, ein definierbares Ereignis zurückzuführen. Insbesondere in Kommunen kommt es an parkenden Fahrzeugen zu Lackschäden, für deren Behebung der Verursacher - sofern er nachweisbar ist - die Kosten zu tragen hat. Die Anzahl der Fälle, in denen Kommunen verurteilt wurden, beim Ausbringen abstumpfender Stoffe an Fahrzeugen verursachte Lack- und deren Folgeschäden zu tragen, scheint bislang jedoch gering zu sein. Generelle Schätzungen von Kosten, die als Haushaltsposten für den Winterdienst aufzunehmen wären, sind auch hier nicht möglich. Allgemein dürften die Schäden durch abstumpfendes Streugut jedoch erheblich höher sein. So zitiert die Zeitschrift „Motor im Schnee“ (2/1984) aus einer (dem Verfasser nicht zugänglichen) Untersuchung eines Autolack- und Unterbodenschutz Herstellers, nach der die Rostquote von Fahrzeugen auf gesplitteten Straßen 2,5 mal so hoch ist wie bei Fahrzeugen, die überwiegend auf gesalzenen Straßen fahren. Besonders hoch sind die Schäden an Fahrzeugen aus Gebieten mit gemischtem Streuein-

satz. Der Satz: „Erst nachdem der Splitt-Dauerbeschuß die Lackschicht aufgesprengt hat, kann das Salzwasser ungehindert eindringen und sein Vernichtungswerk vollbringen.“ beschreibt in Journalistendeutsch die Beobachtungen von GÜTTNER (1983).

In Abschnitt 3.2 wurde beschrieben, daß sich Staub von Streustoffen in den nur unzureichend geschützten Lagern von Streugeräten ablagert und diese festsetzt. Bei der Beurteilung dieses Vorganges muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß sich „Salzstaub“ aufgrund seiner korrosiven Wirkung „auf die blanken Lagerstellen noch verheerender auswirkt als der Staub, der durch abstumpfende Mittel frei wird.“ [GÜTTNER, 1983]

Zusammenfassend ist zur Beurteilung der Auswirkungen abstumpfender Streuung im Winterdienst auf die Bereiche „Fahrbahn“, „Bauwerk“ und „Fahrzeug“ der Straße und des Straßenumfeldes, das auch einen Teil unserer Umwelt darstellt, zu sagen, daß die bekannt gewordenen Schadwirkungen nahezu ausschließlich mechanischer Natur sind. Sie sind überwiegend mit - wenn auch z.T. erheblichem - finanziellem Aufwand zu beheben und keine Umwelt“schäden“ an der straßennahen Natur in dem unter 1.2 beschriebenen früher gebräuchlichen engeren Sinne.

Eine Ausnahme macht die potentielle sekundäre Auswirkung der Erhöhung der Aquaplaning- und im Winter der erhöhten Glättegefahr als Folge durch abstumpfende Mittel aufgehöhter und nicht frühzeitig abgetragener Bankette. Hier sind jedoch keine Unfälle als „Ursache - Folge“ - Schäden des beschriebenen Vorganges belegt, können somit auch nicht in eine seriöse Beurteilung einfließen.

#### 4.1.4 Straßenrandvegetation

Unmittelbare chemische Wirkungen auf das Straßenbegleitgrün - wie von Streusalz - gehen, wie bereits mehrfach erwähnt, von abstumpfenden Stoffen nicht aus. Ähnlich wie bei den beschriebenen Lack- und Karoserieschäden und auch bei der erhöhten Aquaplaninggefahr wurden aber auch bei den Auswirkungen auf Pflanzen im Straßenumfeld inzwischen Folgeschäden im Sinne von „Umweltschäden“ ausgemacht. So schreibt die Zeitschrift „Motor im Schnee“ (2/1983): „Basler Biologen, die im Auftrag des Kantons St. Gallen nach dem Winter 1981/82 sogenannte mechanische Beschädigungen an Straßenbäumen und Buschwerk durch hochgeworfenen Splitt und Sand untersuch-

ten, sind sicher, daß die durch dieses Bombardement hervorgerufenen Rindenwunden nicht nur die Lebenskraft der Flora stärker beeinträchtigen, sondern zudem auch das Eindringen von CO-Schadstoffen in den biologischen Kreislauf mehr begünstigen als schlimmste Salzwunden." Einen Versuch, die Höhe derartiger Schäden zu bestimmen, wurde in Österreich unternommen (s. Abschnitt 3.1). Über die Ausdehnung der Schäden mit zunehmendem Abstand in der Straße wird bei DIRNBÖCK (1993) nicht berichtet.

Die Skepsis, die Untersuchungsergebnissen dieser Art entgegen gebracht wird, wird im Relativieren der Untersuchungsergebnisse im Rahmen des Modellversuches „Optimierter Winterdienst in Dortmund und Berlin“ durch die Autoren deutlich. Die in 3.1 beschriebenen Beeinträchtigungen der Blattgröße, die frühe Laubvergilbung und der zeitige Laubfall werden ebenso wie geringe Werte für die Gewebeflächen „eher durch die Immissionsbelastung des Standortes ... als durch Splitt-Streuung“ erklärt. Eine Verstärkung der Immissionsbelastung durch mechanische Schädigungen der beobachteten Haselsträucher wird nicht in die Überlegungen einbezogen.

Die Schädigung des Grasbewuchses wurde in keiner Literaturstelle mit Zahlen belegt, ist aber als Beobachtung unbestritten. Die Bewertung derartiger Schäden unterliegt dabei dem Standpunkt des Betrachters. Während auf landwirtschaftlich genutzten Flächen z.B. eine Ertragsminderung beim Mähen von Wiesen die Folge ist, kann im Straßenunterhaltungsdienst möglicherweise ein Pflegegang (Mahd) des straßennahen Bereiches entfallen. Diese potentielle Einsparung würde aber durch die Kosten des erforderlichen arbeitsaufwendigen Entfernens der abstumpfendem Streustoffes von den Grünflächen mehr als kompensiert.

Bei der Beurteilung von Auswirkungen abstumpfender Streuung im Winterdienst auf das Straßengeleitgrün kann von wirklichen „Umweltschäden“ im Sinne der üblichen Verwendung dieses Begriffe gesprochen werden. Baum-, Strauch- und Grasbewuchs des - zumindest unmittelbaren - Straßenumfeldes weisen nach dem Einsatz abstumpfender Streustoffe Schädigungen auf; die „natürliche“ Umgebung der Straßen wird über das normale Maß hinaus nachhaltig beeinträchtigt. Hier ergibt sich aus der Bewertung der vorliegenden Literaturstellen die Notwendigkeit weitergehender Untersuchungen, die sowohl die flächenmäßige Ausdeh-

nung der beschriebenen Schädigungen als auch die Langzeitwirkungen der in der Schweizer Untersuchung festgestellten mechanischen Schäden umfassen sollte. Ähnlich wie bei Forschungen zu Salzsäuren könnten diese Untersuchungen erweitert werden um die Frage der Behandlung der Wunden und die Möglichkeiten der Sanierung der geschädigten Flächen.

#### 4.1.5 Gewässer, Kläranlagen

Noch weniger Literatur als über Schädigungen abstumpfender Streustoffe auf die Vegetation im Straßenumfeld liegt über Schäden an stehenden und fließenden Gewässern, am Grundwasser sowie an Kläranlagen vor. Das Original der von WICHMANN zitierten Literaturstelle ist gleichermaßen ungenau: „Wenn einmal 500 g/qm Splitt ausgestreut werden müssen, so bedeutet dies am Ende des Winters in einer Stadt tonnenweise Ablagerung am Straßenrand und zum Teil in der Kanalisation, im Vorfluter sowie in der Kläranlage.“ [HÜTTL, 1992] Ansonsten sind keine die unmittelbare Wirkung abstumpfender Stoffe auf Wasser beinhaltende Literaturstellen gefunden worden. Allerdings ist zu beachten, daß die an den Straßenrand sowie in Entwässerungsanlagen verlagerten Streustoffe nicht mehr nur die Originalstoffe sind, die ausgebracht wurden. In Abschnitt 5 wird noch auszuführen sein, inwieweit sich sonstige im Straßenraum befindliche, anthropogene Schmutz-/Schadstoffe an das abstumpfende Streugut anlagern und wie sich diese Verschmutzung auf die Aufbereitung und eventuelle Weiterverwendung des nach der Winterperiode wieder aufgenommenen Streugutes auswirkt.

Auf die Verunreinigung von Vorflutern sowie der Kanalisation wurde bereits in Abschnitt 4.1.2 eingegangen. Die Auswirkungen - Kosten für zusätzliche Reinigungsmaßnahmen - wurden erörtert und sollen hier nicht vertieft werden. Mögliche Ansammlungen von Streusplitt in Kläranlagen sind sicher auch eine Funktion des vom Abwasser bis zur Kläranlage zurückzulegenden Fließweges, der Menge und der Fließgeschwindigkeit des Abwassers sowie vorhandener Schutzeinrichtungen (Siebe o.ä.), die dem Zufluß des Abwassers in die Klärbecken vorgeschaltet sind. Chemische Verunreinigungen des geklärten Wassers bei der Einleitung in einen Vorfluter sind nicht zu erwarten.

Es ist davon auszugehen, daß bei Temperaturen über dem Gefrierpunkt (Tauwetter) beim Schmel-

zen der bestreuten Glätteschicht nur wasserlösliche Bestandteile der Streustoffe in Lösung gehen. Insofern sind in den ausgebrachten Streustoffen in erster Linie lösliche mineralogene Schwermetalle sowie - z.B. bei Streustoffen aus Flußentnahmen (Kiese, Sande) - angelagerte anthropogene Verschmutzungen für eine mögliche Beeinträchtigung von Gewässern von Bedeutung. Konkrete Untersuchungen in dieser Richtung sind nicht bekannt. Um eine Gefährdung von Gewässern weitestgehend auszuschließen, sollte deshalb für die Bewertung des Gehaltes an gefährdenden wasserlöslichen Bestandteilen bereits an bzw. in den angelieferten Streustoffen bestimmte Güteanforderungen (Grenzwerte für Schadstoffe) gestellt werden. Hier bietet sich für die Beurteilung des Gefährdungspotentials gegenüber Gewässern (fließende und stehende Gewässer) die Allgemeine Rahmen-Verwaltungsvorschrift über Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer - Rahmen-AbwasserVwV -, Anhang 22: Mischabwasser, vom 31. Juli 1996 an.

Es ist eher unwahrscheinlich, daß abstumpfenden Streustoffen immanente oder anhaftende Schadstoffe den Weg bis ins Grundwasser finden. Möglich wäre ein solcher Vorgang erst, wenn Streustoffe nach der Winterperiode auf straßennahen Böden verbleiben und dort Schadstoffe aus-/abgewaschen würden. Die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) hat für den Einbau von mineralischen Stoffen in Böden Zuordnungswerte definiert („Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen / Abfällen - Technische Regeln“), für deren Festlegung das Schutzgut Grundwasser maßgebend war. Bei Einhaltung dort definierter Werte in abstumpfenden Streustoffen ist selbst unter ungünstigen hydrogeologischen Voraussetzungen davon auszugehen, daß bei deren Verbleib auf Straßenrandböden keine nachteiligen Veränderungen des Grundwassers auftreten.

#### 4.1.6 Straßenrandböden

Bei der Frage nach Auswirkungen der Verwendung abstumpfender Streustoffe auf die Qualität der Böden im Straßenumfeld sind sinngemäß gleiche Aussagen und daraus resultierende Bewertungen zu erwarten respektive anzustellen wie bei der Straßenrandvegetation und bei Gewässern. Die in Abschnitt 3.1 zitierte Verschlechterung der „Qualität insbesondere von landwirtschaftlich genutzten Böden“ [FGSV, 1984] zielt eindeutig auf die Nutzung als Weidefläche sowie die mögliche Bearbeit-

barkeit als Ackerfläche mit Pflug und Egge. Überlegungen zu chemischen Wirkungen oder zu Anreicherungen immanenter oder angelagerter Schadstoffe im Streugut sind mit dieser Aussage nicht angesprochen.

Wie weit abstumpfende Stoffe über den Fahrbahnrand hinaus verschleudert werden, wird in der Literatur nicht berichtet. Mineralkörner werden im Gegensatz zu gelösten (hydratisierten) (Tau-)Salzen jedoch vom Straßenabwasser nicht weiterverlagert. Deshalb ist davon auszugehen, daß der Verschmutzungsbereich landwirtschaftlich genutzter Böden neben der Straße eine Breite von ca. 10 m bis 15 m nicht überschreitet. Auf dieser Fläche kommt es zum Ablagerungen möglicherweise schadstoffbelasteten Streugutes. Neben den bereits oben angesprochenen mineralogenen oder angelagerten Schwermetallen handelt es sich bei den potentiellen zusätzlichen Schadstoffen um zumeist anthropogene - aus der allgemeinen Umweltbelastung und insbesondere dem Verkehr stammende - organische und anorganische Verbindungen.

Die weitaus meisten der neben die Straße verlagerten Streustoffkörner dürften im unmittelbaren Straßenseitenraum landen, d.h. auf Banketten (s. 4.1.2), in Rinnen, Gräben und auf Böschungen. Über die Belastung speziell von Schnittgut aus diesen Bereichen mit anthropogenen anorganischen Schadstoffen (Schwermetallen) liegen für Bundesautobahnen ausführliche Untersuchungen vor [KRIEGER / BREITENSTEIN, 1996]. Als für diese Bewertung interessantes Ergebnis ist festzuhalten, daß z.B. manuell gemähtes Gras von Straßen erst ab einer (ganzjährigen) Verkehrsbelastung von  $\geq 17.500$  Kfz/24 h nicht unbedenklich kompostiert werden kann. Zu aufgrund der Verkehrsbelastung der untersuchten Strecken vergleichbaren Unterschieden zwischen Bundesautobahnen und Bundes- und Landstraßen bezüglich der Belastung durch anorganische sowie auch organische Schadstoffe gelangen Untersuchungen am Bankettschälgut [GALLENKEMPER, 1993 / GALLENKEMPER et al., 1996]. Auf Außerortsstraßen liegt das Kriterium für die Anwendbarkeit abstumpfender Streustoffe bei einer Verkehrsbelastung von ca. 1.000 bis höchstens 3.000 Kfz/24 h (s. Abschnitt 6). Daraus läßt sich ableiten, daß zumindest für den Fernstraßenbereich aber auch auf Böden neben Land-, Kreis- und anderen Straßen die zusätzliche Belastung mit anthropogenen, verkehrsbedingten

Schadstoffen durch abgelagertes abstumpfendes Streugut vernachlässigbar klein ist.

Bei den Schwermetallgehalten der Ausgangsmaterialien sollte zur Bewertung ihres Gefährdungspotentials gegenüber landwirtschaftlich genutzten Böden auf vergleichbare Verfahren zurückgegriffen werden, für es die bereits bestehende Regelwerke gibt. Als sinnfälligstes Beispiel kommt hier die Verwertung von Klärschlämmen zur „Bodenverbesserung“ in Frage. Die Klärschlammverordnung (AbfKlärV) vom 15. April 1992 unterscheidet nach den zulässigen Schwermetallgehalten der Böden, auf die Klärschlamm ausgebracht werden soll, sowie nach denen der auszubringenden Klärschlämme. Eine Übertragbarkeit der Grenzwerte für dem Klärschlamm zugestandene Schwermetallgehalte auf diejenigen abstumpfender Stoffe wäre insofern unproblematisch, als die mineralisch gebundenen Schwermetallionen zumindest in natürlichen abstumpfenden Streustoffen für die Umwelt nicht verfügbar sind. Untersuchungen zu potentiellen Anwendungsgebieten für die Verwendung mineralischer Abfallstoffe (industrielle Nebenprodukte und Recycling-Baustoffe) haben zudem ergeben, daß die meisten dieser Stoffe zusammen mit Klärschlamm zumindest im Landschaftsbau für vegetationsstechnische Zwecke (Bodenherstellung und Bodenverbesserung) eingesetzt werden können [KLASSEN, 1987] (s. auch 3.1). Als Einsatzgebiet für derartige Böden wird sogar der Bau von Spielplätzen genannt. Insofern sind neben den bereits in Abschnitt 4.1.2 genannten mechanischen Schäden zumindest im Außerortsbereich keine chemischen Schädwirkungen von abstumpfendem Streugut auf Böden im Straßenumfeld zu befürchten.

Nur mittelbar vergleichbar scheinen die Auswirkungen abstumpfender Streuung auf Böden in Kommunen zu sein. So wird in der „Welt am Sonntag“ vom 22. März 1987 die Aussage eines Pflanzenschutz-Chemikers wie folgt zitiert: „Die wasserunlöslichen mikrofeinen Splitt-Partikelchen führen im Bodenbereich zu einer Verdichtungsschicht, die gerade im Frühjahr zu oberflächlichen Bodenverschleimmungen führt und ein erstes Anzeichen einer Bodenerkrankung darstellt. Baumsanierungsmaßnahmen wie Baumbügel, Sanierung und Depotdüngung im Baumstammbereich, Abdeckung mit Rindenkompost und so weiter werden dadurch wirkungslos. Diese Verdichtungsschicht ist somit verantwortlich für den Rückgang der Wurzelmasse und daher der Wurzelaktivität. Der Baum ist dann nicht mehr in der Lage, genügend Feuchtigkeit und

Nährstoffe aufzunehmen. Eine vorzeitige Herbstverfärbung der Blätter, das Zurücksterben der Äste, der verfrühte Blattfall und die Empfindlichkeit gegen Hitze und Kälte sind die Folge.“ [GOTTWALD, 1987] Nun sind Artikel der Tagespresse keine wissenschaftlichen und in einer seriösen Literaturanalyse als Untermauerung einer These verwendbaren Aussagen. Originalarbeiten, die die vorgetragenen Thesen untermauern, wurden bei der Literaturrecherche nicht gefunden. Im Zusammenhang mit den in Abschnitt 4.1.4 beschriebenen Vegetationsschäden gewinnt die Aussage jedoch an Bedeutung und könnte den Ausgangspunkt für eine weiterführende Untersuchung darstellen.

Insgesamt ist zu den Auswirkungen im Winterdienst verwendeter abstumpfender Streustoffe auf das natürliche / kulturelle Straßenumfeld (Gewässer, Böden) zu sagen, daß - wie schon bei den zuvor betrachteten Themenkomplexen - eine Beeinträchtigung des chemischen Gleichgewichtes und der geogenen Gehalte an potentiellen „Schad“stoffen wie z. B. Schwermetallen nicht zu besorgen ist. Abgesehen von Ertragseinbußen und ggf. erhöhtem Bearbeitungsaufwand sind im Außerortsbereich selbst bei landwirtschaftlich genutzten Flächen insbesondere im Vergleich zum Aufbringen von Klärschlamm keine Qualitätsminderungen durch ein mittel- oder langfristiges Ansteigen von Schwermetallgehalten anzunehmen. Im Innerortsbereich wären potentielle Auswirkungen auf eine zusätzliche Verdichtung von Baumscheiben und Baumstreifen durch Partikelstaub als Folge abstumpfender Streuung möglicher Inhalt einer weiterführenden Untersuchung.

## 4.2 Mensch und Tier

### 4.2.1 Tiere im Straßenumfeld

Bereits angesprochen wurde der Einfluß von abstumpfendem Streugut auf die Mesofauna in Oberböden. Hier liegen keine Untersuchungen vor, werden auch „wegen der relativ geringen Mengen dieses Streumittels, die auf den Straßenrand gelangen und die keinerlei Beeinträchtigungen erwarten lassen, für nicht sinnvoll“ gehalten. Zudem stünde „der beträchtliche Arbeitsaufwand in keinem Verhältnis zu dem zu erwartenden Ergebnis.“ [GEWU, 1992]

Ansonsten wird bezüglich der Auswirkungen abstumpfender Streustoffe noch einmal auf die in Abschnitt 3.1 angesprochene Verweigerungshaltung

weidenden Viehs verwiesen, das - im Gegensatz zu reinen Salzstreustrecken - die an Splittstreustrecken angrenzenden Weideflächen meidet [SCHNEIDER, 1986]. Es ist anzunehmen, wenn auch nicht belegt, das ähnliches für im Wald lebendes Wild gilt, das als Konsequenz reichlich vorhandenen Splittes vermeidet, in der Straße benachbarten Waldstücken zu äsen. Aus dieser Vermutung jetzt abstumpfende Streuung zur Vermeidung von Wildunfällen durch wechselndes Wild zu empfehlen, fiel unter den Begriff der wilden Spekulation und entbehrte jeder Ernsthaftigkeit.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß unmittelbare Auswirkungen abstumpfender Streuung auf die Fauna im Straßenumfeld nicht beobachtet wurden und aller Voraussicht nach auch nicht zu erwarten sind.

#### 4.2.2 Haustiere

Das Zitat in Abschnitt 3.1 „Früher mußten wir immer mit unseren Hunden wegfahren, da sie sich an der mit Salz gestreuten Straße die Pfoten wundgelaufen haben. Jetzt kann man mit ihnen auch mal um die Ecke gehen, ohne sich gleich Sorgen zu machen.“ gibt sicher die Meinung eines liebevollen Tierfreundes wieder, z.B. eines Hundebesitzers, ist aber bei kritischer Betrachtung objektiv nicht haltbar. Die angesprochenen Beeinträchtigungen bei Hunde- und Katzenpfoten als Folge von Salzeinsatz auf Gehwegen werden vermutet / vorausgesetzt. Eine wissenschaftliche Untersuchung der Tierärztlichen Hochschule Hannover stellte dazu allerdings fest, daß - wie auch bei Menschen - eine Schädigung unverletzter Hautpartien und damit auch von Hunde- / Katzenpfoten durch gelöstes Tausalz nicht möglich ist [MORITZ, 1996]. Zu nachhaltigen Beeinträchtigungen kommt es allerdings, wenn die lieben Vierbeiner mit offenen Wunden, d.h. z.B. mit wundgelaufenen Pfoten, über vom Bürger reichlich gesalzene Gehwege geführt werden. Der Vorgang des „Wundlaufens“ der Pfoten ist jedoch eher eine Folge abstumpfend gestreuter Gehwege bzw. eine Folge von Eisklumpchen in den Fußballenzwischenräumen, die bei ausreichender Salzung deutlich geringer ist. Erst die Kombination von abstumpfenden und tauenden Streustoffen, d.h. das Zumischen von Taustoffen zu abstumpfenden Stoffen, um diese streufähig zu halten, macht die Gefährlichkeit von Taustoffen für Haustiere auf Gehwegen aus.

#### 4.2.3 Der Mensch als Bürger

Die Beeinträchtigungen des Menschen als Bürger, als Einwohner einer Stadt oder Gemeinde, sind nach allen verfügbaren Unterlagen auf drei Aspekte begrenzt.

Eine in der Literatur erwähnte [SCHNEEWOLF, 1985] sowie aus häufig wiederkehrenden Berichten bekannte nachteilige Wirkung der Verwendung abstumpfenden Streugutes ist das Verschmutzen von privaten und vor allem öffentlichen Gebäuden an Straßen, die im Winter abstumpfend behandelt werden. Einzelkörner und durch Verkehrseinwirkung zu Staub zermahlendes Streugut werden von dem im Winter zum Vermeiden von Rutschen häufig getragenen Schuhwerk mit grob profilierten Sohlen aufgenommen und in private und vor allem öffentliche Gebäude getragen. Berichte über Verschmutzungen dieser Art aus den ersten Jahren eines umweltfreundlichen Winterdienstes in Berlin - es wurde zunächst mit sogenanntem „Granulat“ gestreut - sind auch aus anderen Städten belegt. Diese Art einer Beeinträchtigung ist jedoch, so unerfreulich sie für den einzelnen Bürger auch sein mag, keine Umweltauswirkung im Sinne des Wortgebrauches.

Ebenfalls keinen Umwelt“schaden“ im Wortsinne stellen die beschriebenen Schäden an Kraftfahrzeugen (s. Abschnitt 4.1.3) dar, ob es sich um reine Lackschäden oder als sekundäre Wirkungen in der Folge um die Korrosion der Karosseriebleche handelt. Diese Auswirkungen sind mit finanziellen Mitteln zu beheben, eine für den betroffenen Bürger zwar ausgesprochen ärgerliche und eigentlich unnötige, aber nur in Ausnahmefällen vom Verursacher einklagbare Ausgabe.

Eine mögliche reale Beeinträchtigung des Lebensumfeldes und somit der Umwelt stellt jedoch die in Abschnitt 3.3 beschriebene zusätzliche Staubb Belastung der Luft dar. Die Untersuchung des Institutes für Wasser-, Boden- und Lufthygiene (WaBoLu) des Bundesgesundheitsamtes kommt zusammenfassend zu dem Ergebnis, daß „eine gesundheitliche Beeinträchtigung sowohl von Passanten als auch von Anwohnern stark befahrener, mit Quarzkiessplitt abgestreuter Straßen durch Schwebstaub-Immissionen nicht auszuschließen“ ist. Für eine silikogene Gefährdung von Passanten und Anwohnern geben die Quarzfeinstaub-Immissionen der abgestreuten Straßen allerdings noch keinen Anhalt. Wie sind solche Aussagen zu werten?

In einer vom Wiener Senat in Auftrag gegebenen Untersuchung des Verstaubungsverhaltens verschiedener, für den Einsatz auf Wiener Straßen vorgesehener Splitte beurteilt HOLNSTEINER (1995) die Gesundheitsgefährdung von Streusplitten. Mit einem Prüfverfahren (Los-Angeles-Versuch), das eine möglichst gute Übereinstimmung der Veränderung der Sieblinie von Streusplitt durch die Beanspruchung mit nach dem Streueinsatz aufgekehrtem Streusplitt aufweist und somit hinsichtlich der Kornverfeinerung der tatsächlichen Beanspruchung auf der Straße ausreichend gut entspricht, wurden sechs verschiedene Splitte bewertet. Dabei wurde festgestellt, daß natürliche Streustoffe (in die Untersuchung einbezogen wurden Basalt, Dolomit, Quarzsplitt, Kersantit und Granulit) mit einer Größenordnung von weniger als 2,5 % bezogen auf die Gesamtmasse erheblich weniger Abriebstaub (hier angegeben mit  $< 10 \mu\text{m}$ ), der aufgrund seiner Schwebefähigkeit und Eindringtiefe in den Atemtrakt zu Gesundheitsgefährdungen führen kann, aufweisen als der untersuchte Betonrecycling-Splitt. Bezüglich der gesundheitsrelevanten Quarzgehalte wiesen zwar Kersantit, Granulit und der Quarzkies (erwartungsgemäß) die höchsten (geogenen) Werte auch im Feinstabrieb auf, diese werden jedoch aufgrund des sehr geringen Abriebes hinsichtlich der „Risiko-Relevanz“ günstiger beurteilt als der Betonrecycling-Splitt. Wegen seines hohen Staubbildungsvermögens sollte letzterer für eine Verwendung als Streusplitt nicht in Betracht gezogen werden. Im Vergleich zu anderen Quellen gesundheitsgefährdender Schwebestoffe spielt jedoch Splitt-Abrieb nach Auffassung von HOLNSTEINER „im allgemeinen eine untergeordnete Rolle, wenngleich Belästigungen durch größere Splitt-Abriebstäube fallweise erheblich sein können.“

Vergleichbare Untersuchungen liegen vor zu der Frage der gesundheitlichen Bedeutung schwermetall(hier blei-)belasteter Sportplatzbeläge (Tennenbeläge) [KEMPF et al., 1981]. Zur Klärung von Spekulationen über möglicherweise weitreichende Gesundheitsbelastungen von Sportlern analysierte das Bundesgesundheitsamt Materialien von 12 Sportplätzen sowie weitere im Handel erhältliche Tennenbaustoffe. Der Vergleich der Untersuchungsergebnisse mit den Richtwerten für Schwermetallgehalte von Tennenbelägen der REBT (Richtlinie über die Durchführung von Eignungsprüfungen und die Überprüfung der Eignungsprüfungen an Baustoffe für Beläge und Dy-

namische Schichten für Tennenflächen nach DIN 18035, Teil 5) ergab keinen Hinweis auf eine tatsächliche Gesundheitsgefährdung, die auf eine erhöhte Belastung von Spurenelementen in Sportplatzbelägen zurückzuführen gewesen wären.

Beide Untersuchungen stellten fest, daß von Staub, der bei der Verwendung von handelsüblichen natürlichen gebrochenen Materialien entsteht, keine gesundheitliche Gefährdung ausgeht. Beide Untersuchungen bestätigen die Ergebnisse des WaBoLu, die eine silikogene Gefährdung (Gefahr einer Staublunge, s. 3.3) bei der Verwendung natürlicher abstumpfender Streustoffe nicht befürchten lassen. Nach wie vor nicht auszuschließen scheint, daß als Folge einer langen Liegedauer abstumpfender Stoffe nach Abtrocknen der Fahrbahnen Schwebstoffkonzentrationen auftreten, die insbesondere bei trockenen Wetterlagen sowohl den MIK-Wert von  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für die einmalige Exposition über 24 h als auch den MIK-Wert von  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für die Exposition über bis zu drei aufeinander folgende Stunden gelegentlich überschreiten.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß von der Verwendung abstumpfender Materialien im Winterdienst ausgehende Beeinträchtigungen der Luftqualität in Städten vornehmlich dann auftreten (können), wenn aufgrund der allgemeinen Wetterlage ohnehin eine Smogsituation zu befürchten ist. In diesen Fällen jedoch erhöht der aus den abstumpfenden Stoffen entstehende Staub das gesundheitliche Risiko von Passanten und Anwohnern stark befahrener, mit abstumpfenden Streustoffen abgestreuter Straßen. Unbeschadet dieser Gefährdung der Allgemeinheit bleibt das Risiko einer sogar silikogenen Gefährdung bei häufig zum Einsatz mit Handkehrgeräten eingesetztem Personal, die von beiden in Abschnitt 3.3 zitierten Gutachten (ASPHALTA, WaBoLu) nicht ausgeschlossen wird.

#### 4.2.4 Der Mensch als Verkehrsteilnehmer

Die wichtigsten sicherheitsrelevanten Änderungen des Fahrbahnzustandes, die der Kraftfahrer im Winter vorfindet, sind ein deutlich eingeschränktes Kraftschlußangebot, verbunden mit einer großen Spannweite der Gleitbeiwerte innerhalb eines Straßenquerschnittes (Rollspuren, seitliche und Randbereiche) und im Verlauf eines längeren Streckenzuges. Viele Kraftfahrer reagieren bei winterlichen Fahrbahnverhältnissen mit einer - mehr oder weniger deutlichen - Geschwindigkeitsreduk-

tion. Da dies aber nicht alle tun, kommt es oft zu kritischen Fahrmanövern, aber auch zu inhomogenem Verkehrsfluß. Der Vergleich zwischen verkehrstechnischen Kenngrößen und tatsächlich vorhandenen Verhältnissen auf der Fahrbahn zeigt, daß Kraftfahrer in der überwiegenden Mehrheit nicht in der Lage sind, sich durch angemessene Fahrweise auf winterliche Verhältnisse einzustellen. Die Folge ist eine erhöhte Unfallrate auf winterglatten Fahrbahnen [DAMES, 1989]. Welchen Einfluß haben die verschiedenen Streustoffe und insbesondere abstumpfende Streustoffe auf das Fahrverhalten und das Unfallgeschehen, wie wirkt sich abstumpfendes Streugut auf die Sicherheit des Menschen als Verkehrsteilnehmer aus?

#### 4.2.4.1 Außerhalb geschlossener Ortslagen

Die Frage, inwieweit die Verwendung der verschiedenartigen Streustoffe das Unfallgeschehen beeinflusst, trat unmittelbar und zeitgleich mit dem Auftreten erster Schäden an der Straße und dem Straßenumfeld durch massiven Einsatz von Taustoffen - zumeist NaCl - auf. Ein erster großangelegter Versuch zur Klärung der Vor- und Nachteile der verschiedenen Streustoffe wurde bereits Anfang der 70er Jahre in der Schweiz durchgeführt. Unter dem Arbeitstitel „Winterdienst ohne Taumittel“ wurden über fünf Winterhalbjahre im Kanton Zürich eine „Versuchsstrecke“ mit Splitt behandelt und eine „Vergleichsstrecke“ mit Salz behandelt.

Bereits nach dem ersten Winter wurde berichtet, daß „der Winterdienst ohne Taumittel ... bezüglich Fahrbahnzustand (es hatten sich jeweils bereits nach zwei Tagen drei bis zu 10 Zentimeter tiefe Gleise in der festgefahrenen Schneedecke gebildet) nicht problemlos ist“ und „daß der Winterdienst ohne Taumittel ... - je nach Lage - die zeitweise Sperrung ganzer Straßenzüge erfordern würde.“ [AHLBRECHT et al., 1978]. Die Unfallbetrachtung umfaßt einen Vergleich der Versuchsstrecke mit dem allgemeinen Unfallgeschehen auf Landstraßen im Kanton Zürich und konkret die Änderung der Unfallzahlen auf der Versuchsstrecke in den drei Jahren vor dem Versuch (Winterdienst mit Salz, 1969 - 1972) und sowie der ersten drei Versuchsjahre (1973 - 1976). Während die Unfallentwicklung auf der Versuchsstrecke mit der auf den Landstraßen des Kantons Zürich im allgemeinen vergleichbar war [LAMPERT, 1980], haben sich bei eis- und schneebedeckter Fahrbahn erheblich mehr Unfälle ereignet. Im Vergleich zu den drei Jahren mit Salzstreuung vor dem Versuch nahm die

Anzahl der durch eis- bzw. Schneeglätte bedingten Unfälle auf der Versuchsstrecke von 6 auf 20 um fast das 2,5-fache zu. [LINSI / LAMPERT, 1977].

Diese zeitlich früheste vergleichende Betrachtung der Abhängigkeiten des Unfallgeschehens von der Art des eingesetzten Streustoffes zeigt bereits eine wesentliche Problematik bei der Auseinandersetzung mit diesem Thema auf, die sich in Abschnitt 4.2.4.2 bei der Betrachtung des Unfallgeschehens in geschlossenen Ortslagen noch verschärft zeigen wird. Ohne eine exakte zeitliche Zuordnung von Unfällen zu Winterdienstmaßnahmen oder konkret Streueinsätzen ist eine Quantifizierung der Wirkung des Streueinsatzes in Bezug auf das Unfallgeschehen nicht möglich. Ein erster Versuch, die Auswirkungen von Winterdiensteinsätzen (hier in Niederösterreich) zu beschreiben, ist dementsprechend vorsichtig zu bewerten. Die Gesamtzahl der Unfälle aufgrund winterlicher Straßenverhältnisse wurde zeitlich anhand einer - über das ganze Jahr gemittelten - Tagesganglinie über die Zeit von 24 Stunden verteilt. Die Korrelation dieser Unfall-Tagesganglinie mit den Einsatzzeitpunkten von verschiedenen Winterdienstmaßnahmen (Räumeinsatz, Streueinsatz mit Splitt, Streueinsatz mit Salz) führte zu sich z.T. widersprechenden Ergebnissen [KNOFLACHER, 1987], zu denen möglicherweise auch die geringe, statistisch kaum ausreichend repräsentative Zahl winterlicher Unfälle beigetragen hat. Vorsichtig ausgedrückt sind die der Untersuchung zugrunde liegenden Daten so zu interpretieren, daß die Art der Winterdienstmaßnahme Einfluß auf die Verkehrsdichte nimmt. Je geringer die Verkehrsdichte nach einer Winterdienstmaßnahme wird, um so weniger Unfälle ereignen sich und um so besser sind die Sicherheitseffekte der Maßnahme. Die Untersuchung zeigt, daß selbst aufwendigste statistische Berechnungen nicht in der Lage sind, umfangreiche Recherchen zu ersetzen, die notwendig sind, um eine genaue Zuordnung von Winterdiensteinsätzen und Unfällen zu erhalten. Erst diese Verknüpfung von Ursache und Wirkung einzelner, gegenseitig zuzuordnender Ereignisse läßt bei ausreichender Anzahl nachvollziehbare Analysen und daraus resultierende Ergebnisse zu.

Nahezu zeitgleich wurden an der Technischen Hochschule Darmstadt (THD) Untersuchungen durchgeführt, die den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit auf Außerortsstraßen im Winter detailliert beschreiben [GIESA, 1984; DURTH et al., 1985; HANKE, 1986; HANKE / LEVIN, 1988 u.a.]. Eine ausgezeichnete und relative knappe Zusam-

menfassung der Vielzahl der durchgeführten Beobachtungen, Messungen, Erhebungen und Berechnungen geben HANKE und LEVIN (1988) in ihrem Aufsatz „Eingeschränkte Salzstreuung auf Landstraßen - Auswirkungen auf Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit“. In dieser Arbeit wird das bis zu dem Zeitpunkt der Veröffentlichung vorliegende Wissen dargelegt, so daß eine eingehende Beschäftigung mit dieser Publikation Zitate aus den anderen vorliegenden Literaturstellen weitgehend überflüssig macht. Verglichen werden sogenannte „schwarze“ Strecken (mit Taustoffen behandelt), „graue“ Strecken (abstumpfend behandelt) und „weiße“ Strecken (nur geräumt).

Für die Beurteilung der Auswirkungen des Winterdienstes ist es sehr wesentlich, wie dieser praktiziert wird und welche Fahrbahnzustände sich auf den Strecken einstellen. Der Verkehrsablauf und das Unfallgeschehen können immer nur unter Berücksichtigung des auf den jeweiligen Strecken praktizierten Winterdienstes (der vom völligen Salzverzicht bis zu einer differenzierten Salz-Splitt-Anwendung reichen kann) beurteilt werden.

#### Verkehrsablauf und Fahrverhalten im weißen / grauen Netz

Die Auswirkungen des Winterdienstes auf das Geschwindigkeitsverhalten sind je nach Winterdienstmethode unterschiedlich. Nach den Untersuchungen der THD wirkt sich Splittstreuung auf das Fahrverhalten praktisch nicht aus, d.h. das Geschwindigkeitsniveau ist vor und nach der Splittstreuung gleich. Nach reiner Räumung ohne Streuen steigen die Geschwindigkeiten leicht an. Einer Salzstreuung wirkt dagegen ist grundsätzlich anders. Sobald die Tauwirkung für den Kraftfahrer erkennbar wird, steigen die Geschwindigkeiten innerhalb kurzer Zeit nach der Streuung deutlich an; sie liegen dann allerdings immer noch unter den Werten, wie sie auf einer trockenen Fahrbahn gefahren werden (Bild 17).

Wichtig für die Beurteilung eines „eingeschränkten“ Winterdienstes ist neben den Geschwindigkeiten aber auch das Fahrverhalten bei den Zwischenzuständen auf den nicht schwarzen Strecken. Auf allen diesen Strecken wurde festgestellt, daß nach erfolgtem Winterdiensteinsatz das Geschwindigkeitsniveau im Laufe der Zeit kontinuierlich ansteigt, auch wenn sich der Fahrbahnzustand nicht merkbar verändert (was selten der Fall ist). Bei ausgefahrenen Spuren in der Schneedecke steigen die Geschwindigkeiten gegenüber der ho-

mogenen glatten Schneedecke sofort deutlich an, unabhängig davon, ob der Fahrer in den Spuren bleibt oder die Spuren selbst glatt oder trocken sind. Je freier und ausgefahrener die Spuren werden, desto stärker steigen die Geschwindigkeiten an. Das Ende dieser Entwicklung stellt dann die trockene Fahrbahn mit Schnee- und Eisresten dar, bei der die Geschwindigkeiten annähernd denen auf homogen trockener Fahrbahn entsprechen (Bild 18).

Welchen Einfluß hat das Geschwindigkeitsverhalten der Verkehrsteilnehmer auf ihr Risiko, in einen Unfall verwickelt zu werden oder gar einen Unfall zu verursachen? Die verschiedenen Fahrbahnzustände sind mit unterschiedlichen Kraftschlußangeboten verbunden (s. Abschnitt 2). Legt man die von WEHNER und HOFFMANN ermittelten Werte fahrdynamischen Berechnungen zugrunde, lassen sich erhöhte Risiken ermitteln, denen sich Kraftfahr-

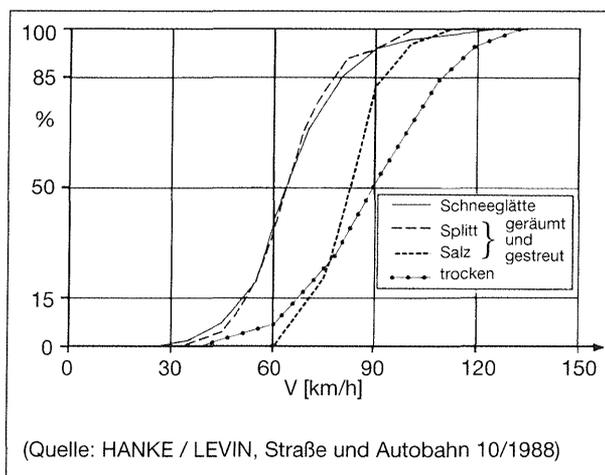


Bild 17: Wirkung der Salz- und Splittstreuung im Vergleich (Beispiel M 11)

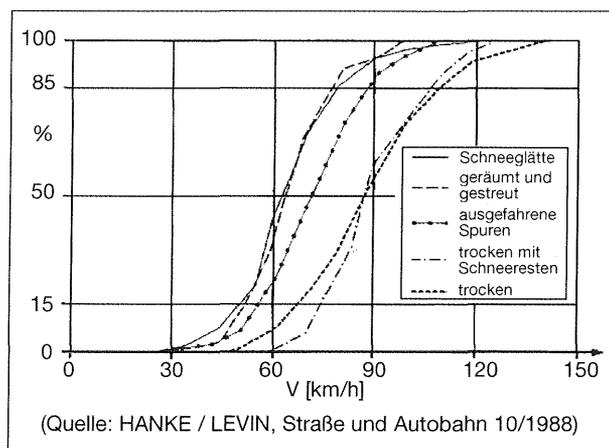


Bild 18: Geschwindigkeiten bei den verschiedenen Fahrbahnzuständen auf der M 11 im Vergleich (Splittstreuung)

rer auf winterlichen Straßen gegenüber trockenen Straßen aussetzen, indem sie mit relativ überhöhten Geschwindigkeiten fahren; d.h. sie verringern zwar ihre Geschwindigkeit, aber nicht in dem Maße, wie es dem verringerten Kraftschlußangebot entspräche. Die THD definiert aus diesen Überlegungen heraus einen „Risikofaktor“. Als Sicherheitsindikator (Normativ) dient dabei der auf die trockene Fahrbahn bezogene Anhalteweg eines Fahrers mit der „85%-Geschwindigkeit“. Der Risikofaktor  $F$  zeigt an, ob sich der Anhalteweg auf einer winterlichen Fahrbahn - ermittelt aus der 85%-Geschwindigkeit und dem Kraftschlußbeiwert des jeweiligen Fahrbahnzustandes - in Bezug auf die trockene Fahrbahn verlängert ( $F > 1$ ) oder verkürzt ( $F < 1$ ). Bild 19 stellt Risikofaktoren für zwei untersuchte Straßen des weißen und grauen Netzes zusammen.

Es wird deutlich, daß auf winterglatten Fahrbahnen trotz absolut geringerer Geschwindigkeiten (s. Bilder 18 und 19) im Vergleich zu trockenen Fahrbahnen deutlich zu schnell gefahren wird und damit das potentielle Risiko höher liegt. Die Splittstreuung verringert (durch die gleichbleibenden Geschwindigkeiten bei leichter Erhöhung des Kraftschlusses) das potentielle Risiko gegenüber der

schneebedeckten Fahrbahn merkbar und erreicht direkt nach der Streuung einen Sicherheitseffekt. Das Risiko auf der abgestumpften Fahrbahn ist allerdings immer noch erheblich höher als auf der trockenen und sogar auf der gesalzenen Fahrbahn. Noch geringere Auswirkungen hat die reine Räumung ohne Streuen („Nullstreuung“), die infolge gleichbleibenden Kraftschlusses (auf der nach wie vor schneebedeckten Fahrbahn) und leicht erhöhter Geschwindigkeiten sogar einen Anstieg des potentiellen persönlichen - weil selbstverschuldeten - Risikos bewirkt.

### Unfallgeschehen auf weißen / grauen Strecken

Wie wirken sich nun Fahrverhalten und daraus resultierende höhere Risiken für den Verkehrsteilnehmer auf winterlichen, speziell auf abgestumpften (graues Netz) oder nur geräumten (weißes Netz) Straßen auf das Unfallgeschehen aus?

Die THD wertete zur Beantwortung dieser Frage insgesamt 635 Unfälle aus, von denen sich 262 auf winterglatten Fahrbahnen ereignet hatten. Jedem einzelnen Winterunfall konnte durch Auswertung von Unterlagen der Meistereien, auf deren Netz sich der Unfall ereignet hatte, Datum, Uhrzeit und der verwendete Streustoff eines Winterdienstesatzes zugeordnet werden. Zur Ermittlung der Unfallraten auf glatter, geräumter bzw. gestreuter Fahrbahn wurden nur solche Zeiträume herangezogen, von denen mit Sicherheit bekannt war, welcher Fahrbahnzustand auf dem betreffenden Abschnitt vorlag. Dafür wurden für die grauen Strecken für jeden Streckenabschnitt und jeden einzelnen Winterdienstesatz - vom Zeitpunkt der Streuung ausgehend - stundenweise die Verkehrsdichte sowie die auf der betreffenden Strecke aufgetretenen Unfälle ermittelt. Da auch auf den Versuchsstrecken mit „eingeschränktem“ Winterdienst aus Gründen der Verkehrssicherheit häufig mit Salz gestreut wurde, wurden bei den Rechnungen drei Fälle verglichen:

- eingeschränkter Winterdienst mit Splittstreuung
- eingeschränkter Winterdienst mit Salzstreuung
- „normaler“ Winterdienst mit Salzstreuung

Dabei fielen in die Kategorie „normaler Winterdienst“ die Winter, in denen die Untersuchungsstrecken nicht bzw. nicht mehr im grauen Netz lagen. Für die weißen Strecken konnten auf der Grundlage der verfügbaren Werte keine stunden- bzw. fahrbahnbezogenen Unfalldaten ermittelt werden.

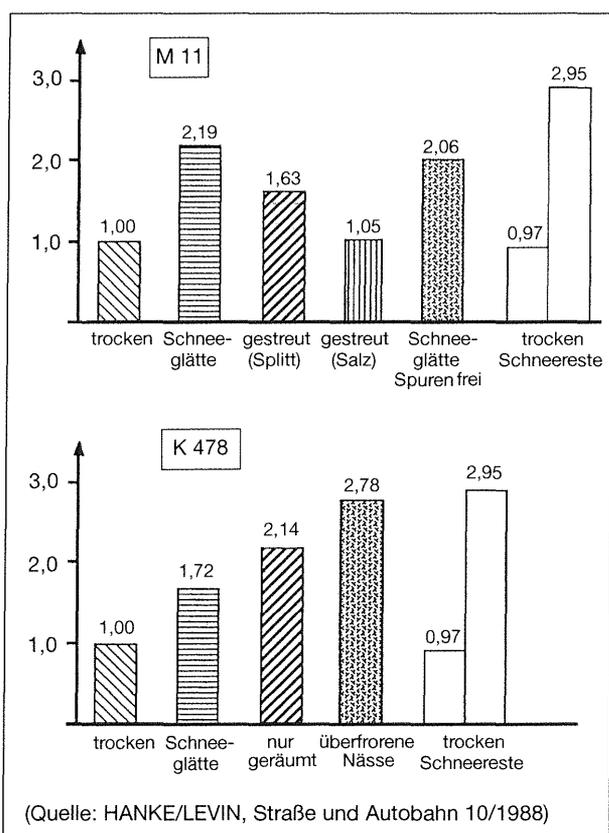


Bild 19: Risikofaktoren für verschiedene Fahrbahnzustände

Bei der Bewertung der aus den beschriebenen Rechnungen ermittelten Unfallraten (Unfälle / 1 Mio. Fz-km) ist zu berücksichtigen, daß es sich bei den Untersuchungsstrecken mit eingeschränktem Winterdienst um Strecken handelt, die aufgrund der für ihre Auswahl maßgebenden Kriterien eine nur geringe Verkehrsbelastung, eine günstige Streckencharakteristik sowie eine auch bei trockener und nasser Fahrbahn ohnehin geringe Unfallhäufigkeit ausweisen. Das Unfallrisiko in Wintern mit normalem Winterdienst liegt auf diesen Strecken erheblich niedriger als im Durchschnitt der Außerortsstraßen. Bei Durchführung eines eingeschränkten Winterdienstes steigt das Unfallrisiko auf diesen Strecken deutlich an, liegt dann allerdings immer noch geringfügig unter den allgemeinen Werten.

Bild 20 zeigt die Entwicklung der Unfallrate für Strecken des grauen Netzes, bei denen auch sogenannte „Notsalzungen“ durchgeführt wurden, über einen Zeitraum von 8 Stunden vor einem Winterdiensteseinsatz bis 12 Stunden nach dem Einsatz für die drei oben genannten Einsatzfälle. Die Unfallrate steigt bei allen drei Einsatzfällen - als Folge zunehmend winterlicher Straßenverhältnisse - vor dem Einsatz stark an und sinkt nach dem Einsatz schnell auf ein deutlich niedrigeres Niveau. Nach einer Salzstreuung wird dabei wieder nahezu der Wert für die nicht-winterliche Fahrbahn ( $1,1 \text{ U} / 10^6 \text{ Fz-km}$ ) erreicht. Auch bei einer Splittstreuung ist zunächst ein starkes Absinken der Unfallrate bis auf weniger als  $2 \text{ U} / 10^6 \text{ Fz-km}$  festzustellen (wobei dieser Wert immer noch merkbar höher liegt als nach einer Salzstreuung); im Verlauf der nächsten (2-6) Stunden steigt der Wert jedoch wieder deutlich an auf eine Unfallrate von etwa  $3,5 \text{ U} / 10^6 \text{ Fz-km}$ . Dieser Anstieg ist als Folge zum einen der schnell nachlassenden abstumpfenden Wirkung der Streuung (bereits nach relativ wenigen Überfahrten sind viele Splittkörner zur Seite geschleudert - s. Abschnitt 2.2), zum anderen aber auch des beschriebenen Geschwindigkeitsverhaltens zu sehen.

In Tabelle 2 sind die Unfallraten für die Zeiträume von jeweils vier Stunden vor und nach dem Winterdiensteseinsatz noch einmal zusammenfassend dargestellt. Zum Vergleich sind die entsprechenden Werte einer gleichartigen Untersuchung an Strecken mit normalem Winterdienst (Salzstreuung, letzte Zeile) aufgeführt. Wie schon aus der Darstellung (Bild 20) ersichtlich, erhöht sich die Unfallrate durch Winterglätte auf den acht- bis neun-

fachen Wert gegenüber der nicht-winterlichen Fahrbahn. Durch Splittstreuung reduziert sich die Unfallrate wieder auf ein Fünftel des Glätte-Wertes, ist aber immer noch fast doppelt so hoch wie bei trockener bzw. nasser Fahrbahn. Durch Salzstreuung wird ein wesentlich stärkerer Rückgang der Unfallrate erzielt. Die vor der Streuung relativ hohen Unfallraten, die unabhängig vom anschließend verwendeten Streustoff sind, überraschen vor allem im Vergleich zum Unfallrisiko vor der Streuung bei normalem Winterdienst. Die oben angeführte Risiko„bereitschaft“ auf winterglatten Fahrbahnen im grauen / weißen Netz schlägt sich also auch im Unfallrisiko nieder.

	Unfallrate [U / 1 Mio. Fz-km]		
	Tage ohne Winterglätte	Vor Einsatz	Nach Einsatz
eingeschränkter Winterdienst, Splittstreuung	1,1	9,9	2,0
eingeschränkter Winterdienst, Salzstreuung		8,2	0,7
normaler Winterdienst, Salzstreuung		5,0	0,4
Vergleichswert normaler Winterdienst außerorts	1,2	7,3	2,2

Tab. 2: Unfallraten vor und nach einem Winterdiensteseinsatz

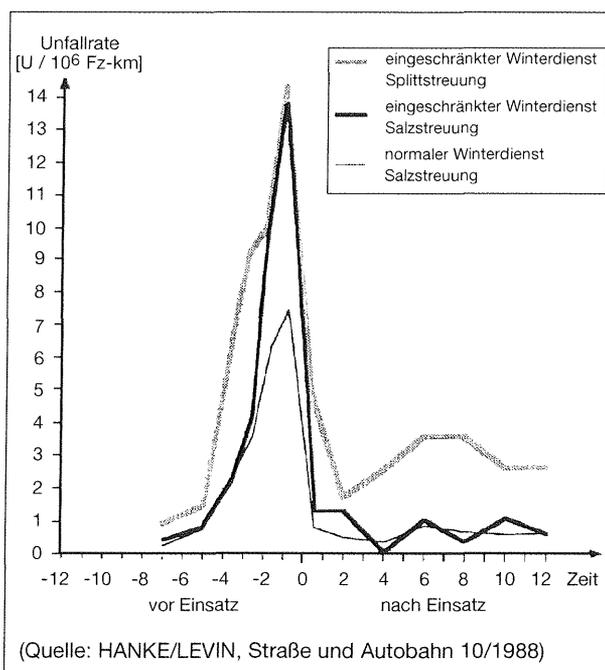


Bild 20: Verlauf der Unfallrate vor und nach dem Winterdiensteseinsatz auf den bayerischen Strecken

Ein eingeschränkter Winterdienst mit weißen und / oder grauen Teilnetzen hat zusätzliche mittelbare Auswirkungen auf die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer. Die weißen / grauen Strecken werden von der Bevölkerung sehr unterschiedlich angenommen, abhängig von der persönlichen Betroffenheit des Einzelnen [SCHNEIDER, 1987]. Die unterschiedliche Akzeptanz führt dazu, daß die Strecken mit eingeschränktem Winterdienst häufig umfahren werden. Der sich verlagernde Verkehr weicht auf Strecken aus, die einem normalen Winterdienst unterliegen. Auf diesen Strecken wächst so die Verkehrsdichte und mit ihr wachsen die absoluten Unfallzahlen, da auch die Ausweichstrecken nicht frei sind von winterlichem Wetter und damit von winterlichen Fahrbahnzuständen. Die THD hat in einer Modellrechnung ermittelt, daß z.B. im Freistaat Bayern durch die Verlagerung eines Teiles des Verkehrsaufkommens von Strecken mit eingeschränktem Winterdienst auf Strecken mit normalen Winterdienst - bei einer angenommenen Länge der Ausweichstrecke vom 1,5-fachen der umfahrenen Strecke - die Anzahl der zu erwartenden Unfälle auf diesen Strecken auf fast das Doppelte steigt.

In weiteren Forschungsvorhaben untersuchte die THD auch den Einfluß des Winterdienstes auf Bundesautobahnen und den übrigen Außerortsstraßen. Zusammenfassend kamen diese Untersuchungen zu den folgenden Ergebnissen: Der Einsatz tauender Streustoffe auf Autobahnen senkt die auf glatten Fahrbahnen hohen Unfallraten und hilft, Staus zu vermeiden. Die Kosten für den Winterdienst werden durch Nutzen auf den Sektoren Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit (Zeit-, Unfall-, Betriebskosten der Verkehrsteilnehmer) mehr als kompensiert. Auf den übrigen Außerortsstraßen überwiegt in einer gesamtwirtschaftlichen Betrachtung der Nutzen die Kosten des Winterdienstes bereits kurze Zeit nach einem Streueinsatz mit tauenden Stoffen. Beim Einsatz abstumpfender Stoffe bleibt eine gegenüber dem Einsatz von Taustoffen höhere Unfallrate. Die Splittstreuung bringt gegenüber der Salzstreuung erhebliche betriebs- und volkswirtschaftliche Mehrkosten. Die Kosten der Belastung der Umwelt durch die verschiedenen Streustoffe wurden in den dargestellten Untersuchungen nicht ermittelt.

Als Konsequenz aus diesen Ergebnissen ist auf Bundesfernstraßen aus Gründen der Verkehrssicherheit sowie aus gesamtwirtschaftlichen Gründen (Kosten des Winterdienstes, Versorgung mit Wirtschaftsgütern) der Einsatz von Taustoffen nicht verzichtbar.

Insgesamt ist aus den vorliegenden Untersuchungen und Publikationen über die direkte Auswirkung der Streuung abstumpfender Mittel auf Außerortsstraßen abzuleiten, daß die Sicherheit und Unversehrtheit des Menschen als Verkehrsteilnehmer direkt beeinträchtigt wird. Das Risiko, am allgemeinen Straßenverkehr teilzunehmen, steigt auf winterglatten Straßen ohne Straßenwinterdienst erheblich und wird beim Einsatz abstumpfender Streustoffe über einen längeren Zeitraum auf mindestens das Doppelte erhöht. Die - im Einzelfall nicht betroffene - Öffentlichkeit steht einem Winterdienst mit abstumpfenden Stoffen zwar grundsätzlich positiv gegenüber, weil die „Umweltfreundlichkeit“ solcher Maßnahmen einfach vorausgesetzt wird. Die notgedrungen Kraftfahrenden, die unmittelbar Betroffenen, wie z.B. Berufstätige mit längeren täglichen Fahrwegen (die z.T. mit öffentlichen Verkehrsmitteln gar nicht zu erledigen sind), Bus- und Berufskraftfahrer sowie Fahrer der Fahrzeuge von Rettungsdiensten (Krankenwagen, Feuerwehr) lehnen einen Winterdienst mit abstumpfenden Stoffen oder gar völlig ohne Streuung scharf ab. Auf bayerischen Versuchsstrecken, insbesondere im grenznahen Raum (zur ehemaligen DDR und CSSR), wurde nachdrücklich die sofortige Wiederaufnahme der Salzstreuung gefordert, da die dortige Bevölkerung lange Arbeitswege zu bewältigen hatte und sich durch die Splittstrecken zusätzlich benachteiligt fühlte [SCHNEIDER, 1987].

#### 4.2.4.2 In Kommunen

Der Winterdienst in Städten und Gemeinden hat sich in den letzten Jahren stark verändert. Der wachsende Anspruch der Straßenbenutzer, zu jeder Jahreszeit optimale Fahr- und Sicherheitsbedingungen vorzufinden, kollidiert mit den zunehmend bewußter werdenden Gefahren für die Umwelt durch übermäßigen Taumitteleinsatz und läßt gleichermaßen die Intensität des Winterdienstes und die damit verbundenen Kosten steigen. Viele Gemeinden führen deshalb einen sogenannten „differenzierten“ oder „weißen“ Winterdienst durch, bei dem teilweise auf den Einsatz von Streustoffen völlig verzichtet wird („Nullstreuung“) [VKS, 1987 / 1997]. Untersuchungen zur Verkehrssicherheit auf winterglatten Fahrbahnen gestalten sich deshalb im innerstädtischen Bereich wegen der gegenüber Außerortsstraßen stark unterschiedlichen Randbedingungen (Vergleichbarkeit von Verkehrsaufkommen, Winterdienststrategie, winterliche Verhältnisse u.a.m.) erheblich schwieriger.

Grundsätzlich existieren in der Literatur zwei Ansätze, die Auswirkungen eines streusalzlosen Winterdienstes auf das Unfallgeschehen und damit die Sicherheit des Menschen als Verkehrsteilnehmer zu beschreiben. Der eine ist, den oben (Abschnitt 4.2.4.1) für Außerortsstraßen beschriebenen Ansatz einer zeitlichen Zuordnung von Unfall und Winterdienstesatz auf die Kommunen zu übertragen. Der zweite ist grundsätzlich anderer Natur. Er zieht aus verschiedenen Faktoren wie

- Art des Winterdienstes (Salz - oder Splittstreuung)
- Strenge des Winters
- Anzahl und Schwere der beobachteten Unfälle während des Winters

sowie dem Vergleich dieser Faktoren über verschiedene Jahre und Städte Rückschlüsse auf die Auswirkungen eines streusalzlosen Winterdienstes und kommt so zu mehr wertenden Aussagen. Auf beide Ansätze sowie die Ergebnisse aus Arbeiten mit diesen Ansätzen wird nachfolgend eingegangen werden.

Vorab soll jedoch ein dritter Ansatz erwähnt werden, der allerdings trotz aufwendiger Recherchen nicht zum Ziel geführt hat und deshalb zur Nachahmung nicht empfohlen werden kann. Ähnlich wie KNOFLACHER (1987) für Außerortsstraßen hat SCHREIBER (1989) im Rahmen des Modellversuches „Optimierter Winterdienst in Dortmund und Berlin“ versucht, mit sehr hohem statistischem Aufwand Aussagen über die Auswirkung des Berliner Winterdienstes mit abstumpfenden Stoffen auf die Verkehrssicherheit und das Unfallgeschehen zu ermitteln. In einer umfangreichen und akribischen Arbeit werden mit viel Aufwand und Mühe Unfallzahlen auf ca. 80 km innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen, die mit abstumpfenden Stoffen behandelt werden, den mit Tausalz gestreuten Schnellverkehrsstraßen (u.a. BAB A 10) mit einer Länge von ca. 20 km gegenübergestellt. Die Unfallzahlen werden - gesamt sowie aufgeteilt auf verschiedene Unfallschwereklassen - auf unterschiedlich strenge Wintersituationen bezogen und den Werten für nicht winterliche Situationen gegenübergestellt. Der Straßenzustand für den Unfallzeitpunkt wird dabei in Ermangelung anderer Möglichkeiten auf der Grundlage der Menge des während einer Schicht des zuständigen Betriebshofes ausgebrachten Streumittels bestimmt. Das führt (bereits im Ansatz bei der Zuordnung von Unfall zu Glättesituation) z.B. zu der seltsam anmutenden Konstellation, daß aufgrund der - während einer

Schicht ausgebrachten - nur 50 %igen „Normalmenge“ Granulat (für einen nicht flächendeckenden Sondereinsatz z.B. auf einer Brücke) der besonders unfallträchtige Zustand des Auftretens vereinzelter, lokaler Glätte an exponierter Stelle dem Fahrbahnzustand „nicht winterlich“ - weil nur geringer Streustoffeinsatz - zugeordnet wird. Mit den Daten mehrerer solcher methodisch nicht ganz einwandfreier Ansätze wird dann eine statistisch saubere und nachvollziehbare Betrachtung durchgeführt, die aufgrund richtiger Rechenergebnisse zu vermeintlich seriösen Aussagen führt.

Bei der Bewertung dieser Ergebnisse kommt es zudem zu gravierenden Unzulässigkeiten. So wird z.B. festgestellt, daß es auf salzbehandelten Strecken zu einer „drastischen Verdreifachung“ der Unfallraten kommt. Verschwiegen wird dabei, daß das Unfallrisiko auf den salzbehandelten Strecken nur etwa 1/3 desjenigen auf den Granulatstrecken beträgt. Die „Bewertung“ gipfelt darin, nicht vorhandene Unfälle auf „notgesalzene“ Granulatstrecken als Nachweis für die Wirksamkeit eines mit abstumpfenden Streustoffen durchgeführten Winterdienstes heranzuziehen.

Der Ansatz, verschiedene Winterdienstarten bezüglich ihrer Auswirkung auf das Unfallgeschehen anhand der Rohdaten der amtlichen Straßenverkehrsstatistik zu vergleichen, wurde von SCHNEEWOLF (1985, 1987, 1988 u.a.) in verschiedenen Untersuchungen gegenüber einfachen Betrachtungen (s.o., LINSI / LAMPERT u.a.m) verfeinert und sehr sorgfältig und nachvollziehbar angewendet. Die Systematik und daraus resultierende Ergebnisse sollen hier an einem Beispiel dargestellt, erläutert und anschließend - vergleichend mit dem zweiten, oben beschriebenen Ansatz - bewertet werden.

Für den Winter 1985/86 wurde vom Hamburger Senat ein „grundsätzlich streusalzfreier Winterdienst auf Fahrbahnen“ beschlossen. Regelmäßig gesalzen wurde nur noch 1 % des Stadtstraßennetzes. Die bisherigen Salzstrecken wurden abstumpfend gestreut, knapp die Hälfte des Netzes blieb - wie auch schon vorher - streumittelfrei. Im Laufe des Winters gab es vier Tage, an denen wegen Eisregens Ausnahmesalzungen durchgeführt wurden, dreimal auf 40 % und einmal auf 56 % des Netzes. Bei der begleitenden Unfalluntersuchung wurde das Unfallgeschehen im salzarmen Winter 1985/86 verglichen mit dem in den beiden Wintern davor. Dabei ging es um zwei Grundfragen:

1. Wie wirkt sich der geänderte Winterdienst auf das Unfallgeschehen aus?
2. Wie unterscheidet sich in Hamburg das Unfallgeschehen an Tagen mit Winterglätte von dem an Tagen ohne Winterglätte?

Als Datengrundlage wurde auf die Rohdaten der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik zurückgegriffen. Als Winter wurde jeweils die Zeit vom 1. November bis zum 31. März gewertet. Als Tage „mit Winterglätte“ wurden die Tage definiert, an denen sich laut polizeilicher Unfallanzeige mindestens 10 % der schweren Unfälle auf winterglatter Straße ereignet hatten. Der Autor geht davon aus, daß sich solche Unfälle sowohl auf salzfreien als auch auf mit Salz behandelten Straßen zu etwa gleichen Teilen ereignen. Er schließt daraus, daß das gewählte Kriterium hinreichend unabhängig von der Winterdienststrategie ist. Deshalb hält er es für erlaubt, den streusalzfreien Winter mit den beiden zu Vergleichszwecken herangezogenen Vorwintern mit teilweiser Salzstreuung zu vergleichen.

Als Indikator für Glättewitterung und ihre Intensität nicht geeignet wurden - im Gegensatz zu SCHREIBER - die Winterdienst-Aktivitäten der Stadtreinigung selbst angesehen, da der Umfang dieser Aktivitäten nicht nur von der Witterung abhängt, sondern auch stark vom jeweiligen Winterdienstkonzept bis hin zu tagespolitischen Schwankungen. Bei starkem Salzeinsatz dürfte es z.B. tendenziell weniger Tage mit Volleinsätzen geben (und damit weniger Glättetage) als bei nur abstumpfender Streuung, was je nach Winterdienstkonzept zu unterschiedlichen Aussagen darüber führt, was nun ein mehr oder weniger intensiver Glättetag war.

Für die Beantwortung der Frage nach den Auswirkungen des Winterdienstes auf das Unfallgeschehen werden drei Vergleiche angestellt, von denen die zwei wesentlichen hier dargelegt werden.

Im ersten Vergleich wird die gesamte Winterzeit 1985/86 pauschal mit der gesamten Winterzeit der beiden Vorwinter verglichen. Um zu sehen, ob die Hamburger Entwicklung aus dem Rahmen fiel, wird auch die Entwicklung in benachbarten Großstädten (Bremen, Bremerhaven, Lübeck, Kiel) herangezogen, in denen es gegenüber den Vorwintern keine Veränderung des Winterdienstkonzeptes gegeben hatte. In dem zweiten Vergleich werden die Glättewerkstage des salzarmen Winters mit den Glättewerktagen der beiden Vorwinter verglichen. (Ein dritter Vergleich wird zwischen den Glättewerktagen und den Nichtglättewerktagen durchgeführt.)

Die mit diesem Ansatz zu erzielenden Ergebnisse sind erstaunlich einleuchtend: In Hamburg gab es im salzarmen Winter 1985/86 sowohl gegenüber den beiden Vorwintern als auch gegenüber den Nachbarstädten mehr Unfälle, weniger schwere Unfälle, noch weniger Unfälle mit Personenschaden und besonders wenig schwer Verunglückte. Das Ergebnis des Vergleiches allein auf der Basis der Glättewerkstage zeigt dieselbe Tendenz. Das allgemeine Bild läßt sich verfeinern, wenn man die Verunglückten nach der Art der Verkehrsteilnahme unterscheidet. Absolut gesehen gingen die Rückgänge der Verunglücktenzahlen in erster Linie auf weniger verunglückte Pkw-Insassen, dann auf weniger verunglückte Fußgänger und schließlich auf weniger verunglückte Kradfahrer zurück. Der Rückgang der Verunglücktenzahlen bei den Pkw-Insassen ist dabei nicht nur auf Verkehrsabstinenz oder ein Umsteigen auf öffentliche Verkehrsmittel zurückzuführen, sondern auch auf vorsichtigeres Fahren: an den Glättewerktagen im salzarmen Winter gab es 10 % weniger verunglückte Verkehrssinsassen als in den Vorwintern, aber nur 1,5 % weniger Kraftverkehr (gemessen an zehn Dauermeßstellen im Hamburger Stadtnetz).

Vergleichbare Ergebnisse bringen ähnliche Pauschalbetrachtungen in weiteren Gemeinden mit reduziertem Einsatz von Taustoffen und/oder einem völligen Verzicht auf ihren Einsatz [KEMPE, 1985 u.a.m.]

Den zweiten Ansatz - Zuordnung verschiedener Fahrbahnzustände und darauf folgender Winterdienstesätze zum Unfallgeschehen, genauer zum einzelnen Unfall - verfolgte zunächst die begleitende Untersuchung zum salzfreien Winterdienst in Berlin [HOFFMANN / ZMECK, 1985] und später, in einer weitergespannten, mehrere Städte umfassenden Untersuchung, die TH Darmstadt [BARK et al., 1993].

Zusammenfassend stellten HOFFMANN/ZMECK fest, „daß winterglatte Fahrbahnen die Verkehrssicherheit tatsächlich erheblich beeinträchtigen.“ An Tagen mit extremer Winterglätte stieg die Unfallhäufigkeit im gesamten Berliner Straßennetz auf den doppelten Wert gegenüber der Unfallhäufigkeit auf trockenen Fahrbahnen. Auf Hauptverkehrsstraßen wurde sogar eine Erhöhung der Unfallzahlen auf das dreifache nachgewiesen, ein Wert, der auch in ausländischen Untersuchungen bestätigt wird [MÖLLER et. al., 1992]. Die Unfallcharakteristik zeigt eine deutliche Zunahme der Auffahrunfälle

le - der Unfälle, „die auf eine Diskrepanz zwischen Kraftschlußbedarf und Kraftschlußangebot zurückgeführt werden können.“ Der eingesetzte Streustoff hatte in Berlin keinen nachweisbaren Einfluß auf das Unfallgeschehen bei extremer winterlicher Glätte, zumal Salz „bei den in Berlin in den letzten Wintern zur Anwendung gekommenen geringen Streumengen erst allmählich zum Auftauen der Schneedecke führen konnte und auch nur noch jeweils eine Fahrspur je Richtungsfahrbahn abgestreut wurde.“ Bei normaler Winterglätte wirkten sich die verschiedenen Winterdienstmaßnahmen je nach Belastung, Funktion und Trassierung der Straßen unterschiedlich aus. Die ausschließliche Verwendung abstumpfender Mittel führt nur unter bestimmten Randbedingungen zu einer Zunahme der Unfallhäufigkeit. Bei stark belasteten Streckenabschnitten, die auch aufgrund ihrer Trassierungselemente erhöhte Anforderungen an den Kraftschluß zwischen Reifen und Fahrbahn stellen, verdoppelte sich die Unfallhäufigkeit gegenüber trockener Fahrbahn.

Zu vergleichbaren, noch besser abgesicherten und damit die Ergebnisse von HOFFMANN/ZMECK ergänzenden Ergebnissen kommt die Untersuchung der TH Darmstadt [BARK et al., 1993]. Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Winterdienst und Verkehrssicherheit (innerorts)“ wurden mit der in Abschnitt 4.2.4.1 beschriebenen Methodik Zusammenhänge zwischen der Art des Winterdienstes (Salz-, Splitt-, Nullstreuung) und dem Verkehrsablauf sowie dem Unfallgeschehen bei verschiedenen Fahrbahnzuständen untersucht. Anhand einer Verkehrsanalyse wurden Aussagen über das Fahrverhalten und das potentielle Unfallrisiko in Abhängigkeit vom Fahrbahnzustand getroffen. Insgesamt wurde eine deutliche Abnahme der Verkehrsstärken bei winterlicher Witterung gegenüber nichtwinterlicher Witterung festgestellt.

Bezüglich des Fahrverhaltens wurde festgestellt, daß der Verkehrsteilnehmer bei winterlichen Fahrbahnverhältnissen allgemein riskanter fährt als auf trockenen Straßen. Auf glatten, nicht gestreuten Straßen wird dabei relativ langsam gefahren, dennoch steigt das Unfallrisiko gegenüber trockenen Straßen. Nach einer Streuung (abstumpfend und auftauend) wird jedoch der Kraftschlußbeiwert der Fahrbahn z.T. sehr falsch eingeschätzt, die Geschwindigkeit den Verhältnissen nicht ausreichend angepaßt und es wird zu schnell gefahren - die Verkehrsteilnehmer beurteilen die nicht behandelte Fahrbahn realistischer als eine abgestreute. Als

Folge sind bei „Nullstreuung“ eine geringere Unfalldichte sowie geringere Unfallkosten zu verzeichnen als bei Splitt- oder Salzstreuung. Im Vergleich zwischen Salz- und Splittstreuung lassen sich keine Unterschiede der Unfallschwere erkennen. Zwar ist die Unfalldichte auf Salzstrecken meist höher, doch handelt es sich hier meist um entweder hochbelastete oder um gefährliche Strecken, was einen direkten Vergleich erschwert.

Der Bezug der Unfälle auf den Einsatzzeitpunkt macht eine günstige Beeinflussung der Verkehrssicherheit durch einen frühzeitigen Winterdienst deutlich. Die Zahl der auf die Fahrleistung bezogenen Unfälle nimmt vor dem Einsatz witterungsbedingt zu und geht nach dem Einsatz zurück.

Insgesamt ist festzustellen, daß Untersuchungen mit den beschriebenen Ansätzen durchaus zu vergleichbaren Aussagen bezüglich der Auswirkung abstumpfender Streustoffe auf die Gesundheit des Menschen als motorisiertem Verkehrsteilnehmer führen. Der Einsatz abstumpfender Stoffe, besser sogar der völlige Verzicht auf einen Streustoffeinsatz - die von SCHNEEWOLF (1985) kreierte „Nullstreuung“ - erhöht zwar die Gefahr, in einen Unfall verwickelt zu werden; es ist jedoch im allgemeinen damit zu rechnen, daß man aus diesem Unfall mit einem gehörigen Schrecken und mit all den aus einem solchen Ereignis resultierenden persönlichen Ärgernissen, aber schließlich mit heiler Haut oder zumindest nur ein paar Kratzern davorkommt.

Der Ansatz des pauschalen Vergleiches verzichtet zwangsläufig auf möglichst klar definierte Randbedingungen und kann diesen Verzicht auch durch Verfeinerungen des Vorgehens nicht wett machen. Die Gegenüberstellung monatlicher Unfallzahlen oder sogar der Unfallzahlen ganzer Winterperioden kann allerdings nur zur Beschreibung der Wirkung unterschiedlicher Winterdienstkonzepte dienen, nicht aber zu ihrer Erklärung beitragen.

Hinzu kommt, daß je nach der politischen Ausrichtung der Entscheidungsträger die Zielvorgaben für die Durchführung des Winterdienstes differieren können und damit auch die Wertung der Ergebnisse durchgeführter Untersuchungen. Dies sei am Beispiel Hamburg erläutert. In dem Senatsbeschluß, der zum „grundsätzlich streusalzfreien Winterdienst auf Fahrbahnen“ führte, wurden die Schnelligkeit und Leichtigkeit einerseits sowie die Sicherheit des Verkehrs andererseits unterschiedlich gewertet. Es heißt: „Aus Gründen des Umwelt-

schutzes und im Hinblick auf geringere Streusalzschäden an Fahrbahnen und Bauwerken nimmt der Senat in Kauf, daß an wenigen Tagen bei Schneeglätte die Schnelligkeit des Verkehrs nicht in gewohnter Weise gewährleistet wird; er wird den Einsatz von Streusalz daher auf außergewöhnliche Witterungseinflüsse beschränken, wenn die Sicherheit des Verkehrs nicht auf andere Weise aufrechterhalten werden kann." Bei der erneuten Umstellung bereits nach einer Winterperiode änderte sich die Gewichtung. Besonderes Augenmerk sollte „einem möglichst reibungslosen Ablauf des Berufs- und Wirtschaftsverkehrs sowie des Buslinienverkehrs“ gewidmet werden. Parallel appellierte der Senat „an alle Autofahrer, ihre Fahrweise dem jeweiligen Straßenzustand anzupassen. Winterreifen, ein früherer Aufbruch zur Arbeit und vor allem der Umstieg auf öffentliche Verkehrsmittel können helfen, Unfälle zu vermeiden.“

Der Winterdienstes basiert auf gesetzlichen Vorgaben. Er trägt dazu bei, Unfälle zu vermeiden. Insgesamt ist festzuhalten, daß der Winterdienst in Städten vornehmlich der Leistungsfähigkeit des Netzes dient. Die Auswirkungen auf das Verkehrsgeschehens sind um so positiver, je früher der Winterdienst stattfindet. Ein gesamtwirtschaftlicher Gewinn durch z.B. geringere Unfall-, Betriebs- und/oder Zeitkosten der Verkehrsteilnehmer läßt sich daraus in Kommunen nur bedingt ermitteln. Der ergibt sich - beim Einsatz tauender Stoffe - durch die Erhaltung der Leistungsfähigkeit der Straßen. Dieser Vorteil der Aufrechterhaltung des Verkehrsflusses ist für große und mittlere Städte ein wichtigeres Kriterium als für kleine Gemeinden.

Die Sicherheit des Kraftfahrers hängt zu einem großen, nicht zu unterschätzenden Teil nicht nur vom Winterdienst und den eingesetzten Streustoffen ab, sondern vom Fahrverhalten und dem fahrischen Können jedes einzelnen.

#### 4.2.4.3 Als Radfahrer

Der Radwegewinterdienst spielte lange Zeit gegenüber dem allgemeinen Straßenwinterdienst eine stark vernachlässigte Rolle. Dementsprechend liegen nur wenige Quellen über den Radwegewinterdienst und die dabei verwendeten Streustoffe vor, noch viel weniger über deren Auswirkungen auf die Umwelt. Die vorliegenden Publikationen beschäftigen sich zwangsläufig nahezu ausschließlich mit dem Radwegewinterdienst in Kommunen, da nur dort der Radverkehr auch im Winter eine größere Rolle spielt.

Die Aufrechterhaltung der Befahrbarkeit von Radwegen während des Winters bereitet Probleme. Sie können nur befahrbar gehalten werden, wenn die glättebildenden Schichten sich mechanisch beseitigen lassen: „Ein Streuen mit abstumpfenden Stoffen ist wenig hilfreich.“ [REINEFARTH, 1984] Diese Einschätzung spiegelt sich auch in einer Umfrage bei Städten und Gemeinden wieder, die SCHNEEWOLF (1985) Anfang der 80er Jahre durchgeführt hat. Er stellte fest, daß die winterdienstliche Betreuung der Radwege „mehr eine verkehrspolitische Frage als eine technische Frage“ ist. Bezüglich der Auswirkungen des Radwegewinterdienstes auf die Umwelt im weiteren Sinne ergab die Umfrage geringe bis erhebliche Reifenschäden an Fahrrädern in Abhängigkeit vom eingesetzten Streustoff. Als Konsequenz aus diesen Schäden wurde z.B. in das Berliner Straßenreinigungsgesetz aufgenommen, daß „auf Radwegen keine scharfkantigen Streumittel verwendet werden dürfen.“

Da das Fahrrad als Individualverkehrsmittel in den letzten Jahren jedoch eine erheblich gestiegene Bedeutung gewonnen hat, wurden auch die Radwegenetze forciert ausgebaut mit der Konsequenz, dieses erweiterte Netz auch winterdienstlich engagierter betreuen zu müssen. Die rechtlichen Voraussetzungen und damit die Notwendigkeit sind gegeben, denn nach den Landestraßengesetzen aber auch den Straßenreinigungsgesetzen sind Radwege und Straßen als Verkehrsflächen gleich zu behandeln. Da Erfahrungen und Empfehlungen zum Winterdienst lange Zeit fehlten - die entsprechenden Richtlinien und Merkblätter schweigen sich hierzu weitgehend aus - und das Übertragen der Methoden des Straßenwinterdienstes nur sehr bedingt möglich ist, werden von den Kommunen sehr unterschiedliche Methoden im Hinblick auf Fahrzeuge, Räumtechniken und Streustoffe praktiziert. ECKERT und HANKE (1990) empfahlen deshalb als Konsequenz einer Umfrage bei knapp 100 Städten und Gemeinden eine eingehende Untersuchung der Problemstellung. Diese Untersuchung wurde zwischenzeitlich durchgeführt [BACH et al., 1995].

Bezüglich der hier interessierenden Fragestellung der Auswirkung abstumpfender Stoffe auf die Umwelt brachte die Untersuchung keine wesentlichen Erkenntniszuwächse. Ein mit erheblichem Aufwand durchgeführtes Meßprogramm zu Kraftschlußbeiwerten für Fahrräder auf gestreuten (abgestumpften und gesalzene) winterglatten Flächen ergab, daß örtliche und zeitliche Rahmenbedingungen

sowie starke Tages- und Stundentemperaturschwankungen einen sehr wesentlichen Einfluß auf das Kraftschlußverhalten haben. Die Unfallanalyse ergab, „daß der Hauptunfalltyp bei Radfahrern der Fahrnfall (Alleinunfall) ist.“ Das festgestellte erhöhte Unfallrisiko „von Radfahrern bei Schneefall ist - allerdings - vermutlich auf die Verkehrsverlagerung vom Radweg auf die Straße zurückzuführen.“

Die Ergebnisse der Untersuchung fanden Eingang in eine Informationsschrift des Verbandes Kommunale Abfallwirtschaft und Stadtreinigung e.V.: „Winterdienst auf Radwegen“, deren Entwurf seit 1995 vorliegt. Hier wird erstmals allgemein verbindlich empfohlen, Radwege, soweit es der zur Verfügung stehende Gerätepark und die Personalkapazität zulassen, mechanisch zu reinigen. Sollte eine zusätzlich Streuung erforderlich werden, so sind im Regelfall abstumpfende Streustoffe auszubringen, da häufig „in diesen Bereichen die meisten Straßenbäume stehen und durch Salzlösung geschädigt werden können.“ Dabei werden Streudichten von 100 g/m<sup>2</sup> für ausreichend erachtet, die auf schneebedeckten Radwegen einen ausreichenden tangentialen Kraftschluß gewährleisten. Die verwendeten Stoffe sollten nicht besonders scharfkantig sein, deshalb wird trotz verschiedener Nachteile von Sanden deren Einsatz empfohlen. Eine Verlagerung abstumpfender Stoffe durch den Verkehr in den Radwegenebenraum wird nahezu ausgeschlossen.

#### 4.2.4.4 Als Fußgänger

Die Auswirkungen der Umstellung von Salz- auf abstumpfende Streuung auf Gehwegen wurden nach der bereits zitierten Befragung von Gemeinden durch SCHNEEWOLF (1985) nur von ca. 1/4 der kommunalen Winterdienstbetriebe beobachtet. 21,5 % der Betriebe konnte dabei keine Veränderungen der Zahl der Fußgängerunfälle bei der Umstellung von Salz auf abstumpfende Mittel feststellen; nur vier von 209 Antworten gaben an, eine Änderung festgestellt zu haben. Dabei ist es erstaunlich, daß eine derartige Umstellung offensichtlich unterschiedliche Auswirkungen auf die Anzahl von Fußgängerunfällen haben kann. Aus persönlichen Gesprächen des Autors mit den jeweiligen Winterdienstverantwortlichen liegen erläuternde Einschätzungen vor: „Eine Gemeinde führte eine Zunahme von Fußgängerunfällen auf eine durch das Gehwegsalzverbot verschlechterte Winterdienstmoral - des streupflichtigen Anliegers - zurück, in

einer anderen, in der sich nach einer Pressekonferenz und entsprechenden Berichten - der örtlichen Presse - sowohl die Qualität des privaten Winterdienstes als auch die Vorsicht beim Begehen der Gehwege erhöht hatten, wurde ein Rückgang der Fußgängerunfälle verzeichnet. Eine dritte Gemeinde stellte fest, daß auch vor dem Salzverbot der private Winterdienst so schlecht war, daß eine Umstellung auf abstumpfende Mittel in ihren Auswirkungen nicht weiter auffiel. Ein weiterer Winterdienstbetrieb berichtete, Unfälle würden selten dort gemeldet, wo Salz gestreut werde, ein anderer hielt die Sicherheit bei abstumpfenden Mitteln zwar für eingeschränkt, das Ausmaß der Einschränkungen sei aber vertretbar. Städte, in denen es Tests mit einem salzfreien Winterdienst auf Gehwegen gab (z.B. in Köln, Bonn und Stuttgart), machten die Erfahrung, daß sich eine Umstellung auf abstumpfende Mittel nicht negativ auf die Fußgängersicherheit auswirkte.“ Bei seiner Hamburger Untersuchung stellte SCHNEEWOLF (1987) „weniger verunglückte Fußgänger“ fest.

Fußgänger benutzen aber nicht nur Gehwege, sie überqueren auch die Fahrbahnen - nach StVO unter Beachtung des Fahrzeugverkehrs zügig und auf dem kürzesten Wege quer zur Fahrtrichtung. Stellen, an denen solche Fußgängerverkehre verstärkt auftreten, sind vor allem Kreuzungen und Einmündungen von Straßen. Bei Vorliegen entsprechender Voraussetzungen hinsichtlich des Verkehrsaufkommens sowohl im Fahrzeug- als auch im Fußgängerverkehr können an solchen Stellen gekennzeichnete Fußgängerüberwege (Zebrastreifen) angelegt werden, die ein Vorrecht für Fußgänger begründen. Fußgängerfurten dagegen begründen kein Vorrecht für Fußgänger; sie finden sich daher vorwiegend an lichtsignalgesteuerten Knoten, an denen die Fußgänger im Schutz ihrer Grünphase die Fahrbahn queren können.

Nun gibt es unter Fußgängern auch Individualisten, denen die Entfernung zum nächsten Fußgängerüberweg / zur nächsten Furt zu weit ist. So können z.B. vor öffentlichen Gebäuden, Zugängen zu U-Bahnhöfen o.ä. größere Fußgängerströme entstehen, denen, wenn sie nicht durch Fußgängerüberwege oder -furten gesichert sind, nach den Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen (EAHV) Überquerungshifen, z.B. durch die Anlage von Mittelinseln, angeboten werden können.

Als dritte Kategorie von Fußgängerquerungsbereichen schließlich sind - als Folge der aktuellen

Rechtsprechung - solche Stellen anzusehen, an denen gebündelt Fußgängerquerverkehre („ein nicht unbedeutender Verkehr“) auftreten, ihr Umfang aber nicht die genannten Maßnahmen rechtfertigt. Alle diese Querungsbereiche sind winterdienstlich zu betreuen, d.h. konkret in den Räum- und Streuplan aufzunehmen, da Verkehrsteilnehmer bei winterlichen Wetterbedingungen vor Gefahren geschützt werden müssen.

BACH und BÖHM (1996) haben sich mit Umfang und Durchführung des Winterdienstes auf Fußgänger-Querungen ausführlich befaßt. Aus der Rechtsprechung, bisherigen Erkenntnissen über Unfallgeschehen und Fußgängerverhalten sowie einem umfangreichen Untersuchungsprogramm entwickeln sie entsprechende Empfehlungen.

Zum Unfallgeschehen führen sie aus, daß es über Fußgängerunfälle als Folge von Glättesituationen vollständige Aufzeichnungen nur über Unfälle mit Kraftfahrzeugen gibt. Alleinunfälle von Fußgängern sind selten dokumentiert; es gibt auch kaum Möglichkeiten, an ausreichendes Datenmaterial zu kommen, das eine Bewertung von verschiedenen Winterdienstkonzepten erlaubt. Die überwiegende Mehrzahl der erfaßten Unfälle stellen sogenannte „Überschreiten-Unfälle“ dar (Typ 4: Konflikt eines Kraftfahrzeuges mit einem Fußgänger, der die Fahrbahn überschreiten will). Eine Verbindung oder gar exakte Korrelation zwischen der an winterlichen Tagen für Fußgänger auf Überwegen und sonstigen Querungen geringfügig höheren Unfallwahrscheinlichkeit konnten sie nicht ermitteln. Interessant für die hier zu bearbeitende Fragestellung mag der Hinweis sein, daß ca. 90 % der für die Untersuchung befragten Kommunen beim Winterdienst auf Fußgänger“querungsbereichen“ abstumpfungsfähige Stoffe einsetzen.

Die publizierten Untersuchungsergebnisse zur Auswirkung abstumpfungsfähiger Stoffe auf die Sicherheit von Radfahrern und Fußgängern machen - noch in erheblich höherem Maße als bei Radfahrern - deutlich, daß das persönliche Risiko einer Verkehrsteilnahme im Winter (als Radfahrer oder Fußgänger) vom Verhalten des Einzelnen abhängt. Eine Abhängigkeit - in welcher Form auch immer - dieses Risikos wissenschaftlich exakt nachzuweisen, erscheint aufgrund der vielen, komplexen Einflüsse nach Ermessen des Autors nicht möglich. Nicht nur die Schwierigkeit, an ausreichend viele Daten über glättebedingte Unfälle zu kommen, die mit einem bestimmten Winterdienstkonzept (Salz-

oder Splittstreuung) in Bezug gesetzt werden könnten, läßt ein solches Vorhaben scheitern. Auch die vorhandene oder eben häufig nicht vorhandene individuelle winterliche Ausrüstung der Verkehrsteilnehmer (Reifen mit groben Profilen für Fahrräder, Schuhwerk mit geeigneten Sohlen bei Fußgängern) erschwert allgemeingültige Aussagen, ebenso das bei vielleicht eiligen oder unkonzentrierten Verkehrsteilnehmern nicht vorhandene Bewußtsein des aktuellen Risikos bei der Fortbewegung auf einer glatten Fläche. Vorteile eines bestimmten Streustoffes - und damit auch negative Auswirkungen auf die Sicherheit nicht motorisierter Verkehrsteilnehmer - sind aufgrund der vorliegenden Untersuchungen nicht nachzuweisen.

Bei der Beurteilung der Auswirkungen abstumpfungsfähiger Stoffe auf die Umwelt insgesamt, d.h. unter Einbeziehung auch des Menschen und seiner Sicherheit als Verkehrsteilnehmer, ist zu bedenken, daß bei der durchgeführten Literaturrecherche sicher nicht alle Quellen zugänglich waren, die sich mit abstumpfungsfähigen Stoffen befassen. Entweder aus einem natürlichen Mangel an Untersuchungen, die Umweltschäden durch abstumpfungsfähige Stoffe beschreiben, weil diese Schäden einfach als nicht existent angesehen wurden, z.T. sicher auch, weil entsprechende Arbeiten nicht einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht und bewußt zurückgehalten wurden (s. z.B. GOTTWALD, Motor im Schnee), standen möglicherweise vorhandene Informationen nicht zur Verfügung. Festzuhalten ist, daß im Bereich „Fahrbahn“, „Bauwerk“ und „Fahrzeug“ die bekannt gewordenen Schadwirkungen nahezu ausschließlich mechanischer Natur sind. Weiter scheint festzustehen, daß bei abstumpfungsfähiger Streuung das Straßenbegleitgrün außerhalb geschlossener Ortslagen über das normale Maß hinaus geschädigt wird. Eine Beeinträchtigung des natürlichen / kulturellen Straßenumfeldes (Gewässer, Böden) ist nicht zu besorgen, Auswirkungen abstumpfungsfähiger Streuung auf die Fauna im Straßenumfeld wurden nicht beobachtet und sind auch nicht zu erwarten. Beeinträchtigungen der Luftqualität in Städten können dann auftreten, wenn eine Smogsituation durch den bei Verwendung abstumpfungsfähiger Stoffe entstehenden Staub verschärft wird.

Bezüglich der Aussagen zur Sicherheit des Verkehrsteilnehmers Mensch ist zu begrüßen, daß Arbeiten mit allzu positiven Ergebnissen zur Auswirkung von abstumpfungsfähigen Streustoffen [KNOFLACHER, SCHREIBER] in der Schublade gehalten

wurden. Die Öffentlichkeitswirkung für Laien, die methodische Mängel nicht nachvollziehen könnten, wäre einer sachlichen Diskussion nicht zuträglich. Vorteile eines bestimmten Streustoffes für die Sicherheit nicht motorisierter Verkehrsteilnehmer (Radfahrer, Fußgänger) sind aufgrund der vorliegenden Untersuchungen nicht nachzuweisen. Der aufgrund gesetzlicher Vorgaben durchgeführte Straßenwinterdienst trägt dazu bei, Unfälle zu vermeiden, der Winterdienst in Städten dient vornehmlich der Leistungsfähigkeit des Netzes. Die Auswirkungen auf das Verkehrsgeschehens sind um so positiver, je früher der Winterdienst stattfindet. Die Sicherheit des Kraftfahrers hängt zu einem großen, nicht zu unterschätzenden Teil nicht nur vom Winterdienst und den eingesetzten Streustoffen ab, sondern vom Fahrverhalten und dem fahrerischen Können jedes einzelnen. Aus den vorliegenden und zugänglichen Untersuchungen und Publikationen über die Auswirkungen der Streuung abstumpfender Mittel auf Außerortsstraßen ist abzuleiten, daß die Verkehrssicherheit beeinträchtigt wird. Das Unfallrisiko auf winterglatten Straßen steigt ohne Straßenwinterdienst erheblich und wird trotz Einsatzes abstumpfender Streustoffe über einen längeren Zeitraum auf mindestens das Doppelte erhöht.

### 4.3 Rechtliche Würdigung

Die Rechtsprechung beschäftigt sich mit der Frage verschiedener Streustoffe im Straßenwinterdienst immer dann, wenn Schäden, die vom Einsatz oder auch Nicht-Einsatz eines Streustoffes ausgegangen sind, eingeklagt und damit gerichtsanhängig werden. Ausgangspunkt bei der Entscheidungsfindung ist dabei immer der Schutz (rechtlich geschützten und damit) schützenswerten Gutes.

„Grundsätzlich ist für den Winterdienst derjenige verantwortlich, der den Verkehr eröffnet hat, also die Dienststelle, der die Verwaltung einer Straße obliegt und die auch in der Lage ist, von der Straße ausgehenden Gefahren zu begegnen (Verkehrssicherungspflicht). Die Möglichkeiten der Inanspruchnahme sind vielfältig. Nicht rechtzeitig oder gänzlich unterlassene Streupflicht, zu geringes Streumaß, falsch gewähltes Streumittel, mangelhafte oder unterlassene Organisation des Winterdienstes sind die Hauptgründe, die zu Schadensersatzansprüchen führen. ... Bei der Wahl von Streumitteln ist sorgfältig zu prüfen, welches Streumittel zum Einsatz kommt. Wenn ... abstumpfende

Mittel in wenigen Minuten durch den fließenden Verkehr unwirksam werden, so ist der Rechtsprechung voll zuzustimmen, daß z.B. an stark befahrenen Fußgängerüberwegen der Schutz von Leib und Leben der Straßenpassanten Vorrang vor dem Kfz-Verkehr und dem Umweltschutz hat und damit bei außergewöhnlichen Verhältnissen im Zweifelsfall eine länger anhaltende Salzstreuung durchzuführen ist.“ [DENK, 1992]

Die Rechtsprechung trennt dabei zwischen den Schutzgütern der Unversehrtheit von Leib und Leben, von Gegenständen (als Besitz) und der Umwelt. Dabei ist der „Umweltschutz . . . weder eine einheitliche Rechtsmaterie noch ein einheitlich interpretierbarer Rechtsbegriff. ... Seit Inkrafttreten des Gesetzes zur Bekämpfung der Umweltkriminalität vom 28. März 1980 steht immerhin fest, daß es ein schützenswertes Rechtsgut «Umwelt» gibt. ... Geschützt ist allerdings nicht die Umwelt um ihrer selbst Willen, sondern zur Erhaltung humaner Lebensbedingungen, und auch nicht umfassend, sondern in ihren Medien und Erscheinungsformen (Boden, Luft, Wasser, Tier- und Pflanzenwelt). ... Hieraus ist zu folgern, daß jedermann - der Private wie die öffentliche Hand - die Verpflichtung hat, das Einleiten umweltschädlicher Stoffe in Luft und Wasser und das Ausbringen solcher Stoffe auf den Boden zu unterlassen, und daß es sich hierbei nicht lediglich um eine sittliche oder Anstandspflicht handelt, sondern um eine Rechtspflicht.“ [JORDAN, 1989]

In der Frage der Beeinträchtigung von Leib und Leben der Verkehrsteilnehmer kommt die Rechtsprechung zu keiner eindeutigen Aussage bezüglich der Wahl des richtigen Streustoffes. „Sieht man die Rechtsprechung zu Streumitteln, fallen zwei große Gruppen ins Gewicht, aus denen die Zwangslage ersichtlich wird, vor die sich (insbesondere) Städte und Gemeinden gestellt sehen. In einem Teil der Entscheidungen wird von Seiten der Schadensersatzanspruchsteller vorgebracht, daß der Streupflichtige mehr Salz hätte streuen müssen, um der Glättegefahr effektiver zu begegnen. Im anderen Teil machen dagegen Bürger, deren Pflanzen oder Sachgüter geschädigt worden sind, geltend, daß das übermäßige Auftragen von Tau-salz zu dieser Schädigung geführt habe.

Seitdem zu Beginn der 80er Jahre die Salzscha-den offenkundig wurden, gingen viele Städte und Gemeinden dazu über, die Salzstreuung auf Gehwegen und Fahrbahnen mittels Satzung oder über die

Landesebene per gesetzlicher Normierung zu reduzieren oder sogar zu verbieten. Die Winterdienstbetriebe führten dementsprechend einen immer salzfreieren Winterdienst mit abstumpfenden Mitteln (Sand, Asche, Splitt, Granulat) durch. Dies hatte gegen Mitte der 80er Jahre z.T. Konflikte mit den Verkehrsteilnehmern und Schadensersatzprozesse gegen die Städte und Gemeinden zur Folge. Die Rechtsprechung hatte sich seitdem öfter als früher mit der Frage zu beschäftigen, inwiefern abstumpfende Mittel ausreichend sind, bei Winterglätte verkehrssichere Straßen zu gewährleisten sowie damit, was einerseits den Städten und Gemeinden als Pflichtigen beim Einsatz solcher Mittel abzuverlangen, andererseits den Verkehrsteilnehmern an Sorgfalt bei der Benutzung solcher nicht mit Salz gestreuter Straßen zumutbar ist.

Die ... Rechtsprechung zeigt, daß die Frage «Salz oder abstumpfende Mittel» weder in die eine noch in die andere Richtung schematisch zu beantworten ist. Deutlich ist die Tendenz, ein bestimmtes Streumittel generell weder zu genehmigen noch zu verbieten. ... Die Wahl des Streumittels steht dem Verkehrssicherungspflichtigen daher auf Fahrbahnen i.d.R. frei.» [ABEL-LORENZ / EISBERG, 1991]

Die Rechtsprechung spiegelt hier die allgemeine Unsicherheit bei der Suche nach dem - nur im Einzelfall und im Sinne der Rechtsprechung nur nachträglich zu beurteilenden - richtigen Streustoff. Nachdem die Stadt Kassel 1986 „Auftausalz und andere umweltschädliche Stoffe als Streumittel für winterliche Gehwege“ verboten hatte, entschied der VGH Kassel in einem Normenkontrollverfahren im Hinblick auf dieses Streusalzverbot die Kasseler Winterdienstverordnung für nichtig. „Der Beschluß des VGH Kassel ... berührt jedoch nicht - wie erwartet oder zumindest erhofft - die inhaltliche Frage, ob und in welchem Umfang ein Streusalzverbot aus Gründen des Umweltschutzes angeordnet werden kann. Der tragende Grund für die Entscheidung ... war ein Zuständigkeitsmangel. Der VGH Kassel vertritt die Auffassung, daß aufgrund § 10 Abs. 3 S. 2 (jetzt Satz 3) Hess StrG Kommunen nicht befugt seien, ein Streusalzverbot in einer Satzung zu bestimmen.“ [WICHMANN, 1995]

Zu Schäden an parkenden oder vorbeifahrenden Fahrzeugen durch das Ausbringen von Streustoffen gab es bis zum Jahre 1988 keine einheitliche Rechtsprechung. Erst dann hat der Bundesgerichtshof diese Unsicherheit durch einen Grundsatzentscheidung beseitigt. „Eine Haftung entfällt nämlich nur dann, wenn das Schadensereignis un-

abwendbar war. Den Unabwendbarkeitsbeweis hält der BGH dann für ausgeschlossen, wenn Streugut unmittelbar gegen parkende Kraftfahrzeuge ausgeworfen wird und dadurch Lackschäden entstehen.

Den Fahrern von Streufahrzeugen ist jetzt die Entscheidung auferlegt, ob es zweckmäßig ist, in engen Straßen oder an durch parkende Fahrzeuge hervorgerufenen Engstellen Streufahrzeuge einzusetzen, soweit diese nicht in der Lage sind, Wurfweite und -höhe des Streugutes zielgenau zu bestimmen, um dadurch Schäden zu vermeiden. Ob die im Zweifelsfall vorgeschlagene Handstreuung durchführbar ist, muß angezweifelt werden, denn Praxis und Rechtsprechung sind manchmal sehr schwierig in Einklang zu bringen.“ [DENK, 1992]

Bei der Abwägung, die zur Auswahl des „richtigen“ Streustoffes führen, „muß natürlich sorgfältig untersucht werden, ob abstumpfende Stoffe nicht die Umwelt in höherem Maß als Salz gefährden.“ WICHMANN (1995) erwähnt bei dieser Abwägung die von GOTTWALD (1987) zitierte Untersuchung der TU Harburg (s. Abschnitt 3.1), kommt aber aufgrund der allgemeinen und auch hier anhand von Literaturstellen belegten Auffassung, von abstumpfenden Stoffe gingen keine chemischen Wirkungen auf das Straßenumfeld aus, zu dem Ergebnis, daß abstumpfende Stoffe generell und im allgemeinen ökologisch unbedenklich sind. Als problematisch wird aus umweltrechtlicher Sicht nur die „Beseitigung des Streugutes am Ende des Winters“ angesehen. Auf diese Frage wird noch umfassend einzugehen sein.

Einen völligen Verzicht auf eine gesetzlich erforderliche Streuung aus Gründen des Umweltschutzes schließt JORDAN (1989) nach Abwägung der Rechtsgüter aus. „Das Wort «Nullstreuung» gehört zum neudeutschen Fachchinesisch und kann seine Abstammung vom bekannten «Null-Bock» nicht verleugnen. «Nullstreuung» bedeutet: Es wird überhaupt nicht gestreut, also weder mit Salz noch mit anderen Mitteln. Die «Nullstreuung» ist also noch ein Minus gegenüber der «Nullsalzung».

Argumente für eine weitgehende Nullstreuung gibt es durchaus: Wenn alle Verkehrsteilnehmer sich im Winter vernünftig und vorausschauend verhielten, insbesondere als Kraftfahrer mit drastisch reduzierter Geschwindigkeit führen, gäbe es - wie SCHNEEWOLF, der Erfinder des Wortes «Nullstreuung», im Winterdienstbericht 1985 des Umweltbundesamtes meint - «faktisch keine gefährlichen

Stellen» mehr. ... Zu diesem Idealbild friedlichen Verkehrs auf weißen Straßen treten als weitere Argumente hinzu: die hohen Kosten des Winterdienstes und das hohe Ausmaß der Umweltschäden bei Verwendung von Streusalz.“

Die Rechtsprechung hat jedoch zu berücksichtigen, daß es den „idealen Kraftfahrer nicht gibt. „Die «Nullstreuung» wäre demnach - wenn man die betreffenden Stellen nicht für den Verkehr sperren will - in aller Regel rechtswidrig und schuldhaft, auch wenn sie zum Schutze der Umwelt eingeführt werden sollte. Käme es an «nullgestreuten» Fahrbahnen an verkehrswichtigen und gefährlichen oder an besonders gefährlichen Stellen zu Unfällen, bliebe es folglich bei dem bisherigen Rechtszustand, nämlich bei der Haftung des Steuerpflichtigen, von möglichen strafrechtlichen Folgen ganz abgesehen.

Daß auch § 34 StGB davon spricht, daß ein «angemessenes Mittel» zu verwenden sei, entspricht ohnehin den Grundsätzen ordnungsgemäßer Verwaltung und ist auf die differenzierte Verwendung der verschiedenen Streumittel zu beziehen.“

## 4.4 Qualitätsanforderungen

### 4.4.1 Allgemeines

Die bisherigen Abschnitte befaßten sich ausschließlich mit der Anwendung abstumpfender Streustoffe und ihren Auswirkungen auf eine Umwelt in weiteren Sinne, der auch Leib und Leben des Menschen als Verkehrsteilnehmer als schützenswertes Gut umfaßt. Wie sich das Verweilen der Streustoffe auf der Straße, ihre mechanische Beanspruchung und aus dem zeitweiligen Verbleib auf der Straße und im Straßennebenraum resultierende Verunreinigungen auf ihre weitere Behandlung auswirken, wird in Abschnitt 5 zu untersuchen sein. Aus den bislang beschriebenen Fakten lassen sich jedoch Anforderungen an das Ausgangsmaterial ableiten, deren Einhaltung dafür Sorge tragen kann, die Umweltauswirkungen abstumpfender Stoffe vom Zeitpunkt ihrer Ausbringung bis zu ihrer erforderlichen Wiederaufnahme nach der Winterperiode möglichst gering zu halten.

Die Formulierung von Anforderungen an im Winterdienst verwendete Streustoffe ist so alt wie deren Einsatz. Streustoffe müssen vielfältigen, sich zum Teil widersprechenden Ansprüchen genügen. Aus der Sicht des Anwenders sind wichtig:

- universelle Anwendbarkeit
- problemloses Ausbringen
- geringer Verbrauch bei hohem Wirkungsgrad (schnelle, nachhaltige Wirkung)
- gute Lagerfähigkeit

Außerdem sollen die Streustoffe einfach zu handhaben, bei Bedarf unmittelbar und unbegrenzt verfügbar sowie vor allem preisgünstig sein. Der Verkehrsteilnehmer erwartet eine Unschädlichkeit für Fahrzeuge (Lackschäden, Korrosion). Auch die Umwelt darf nicht zu kurz kommen. Die Streustoffe dürfen

- am Straßenbegleitgrün,
- in der Tierwelt,
- in Boden und Grundwasser,
- in Vorflutern und Kläranlagen sowie
- am Bauwerk Straße einschließlich Brücken

keine Schäden hervorrufen [ALBRECHT / THIEME, 1974]. Der Fachausschuß „Winterdienst“ des Verbandes Kommunale Abfallwirtschaft und Stadtreinigung e.V. (VKS) wird in einigen Punkten noch konkreter [KNOBLOCH, 1982]. So wird z.B. gefordert, daß „Rückstände, die später beseitigt werden müssen und die Verkehrssicherheit beeinträchtigen, nicht ... auf der Fahrbahn verbleiben“ dürfen. Um die allgemeinen Anforderungen zu quantifizieren, hatte das Bundesministerium für Verkehr (BMV) bereits vor einigen Jahren den Arbeitskreis „Winterdienst“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) beauftragt, in Ergänzung und als Anhang zu den bestehenden Winterdienst-Merkblättern Anforderungen für Streustoffe zu erarbeiten und im einzelnen genaue Kriterien festzulegen. Ausgangspunkt war, neu auf den Markt drängende Streustoffe vornehmlich in Hinblick auf ihre Verwendung im Straßenwinterdienst zu prüfen und im Vergleich zu den bereits bekannten zu beurteilen. Bei der Verwendung von abstumpfenden Stoffen werden Natursplitt häufig - vor allem aus preislichen Gründen - durch Granulate aus Hochofen- und Müllverbrennungsschlacken und sogar durch gemahlene Bauschutt ersetzt; auch dies war ein Anlaß für konkrete Qualitätskriterien [WAGNER, 1988].

Ziel der erarbeiteten „Prüfungsbefunde“, in denen die Anforderungen zusammengestellt sind, war es, die angebotenen Streustoffe vergleichbarer, ihre Preisgestaltung transparenter zu machen und dem Anwender die Möglichkeit zu geben, Vor- und Nachteile gegeneinander abzuwägen. Die Prüfungsbefunde wurden am 09.01.1990 durch das

BMV als Anhang zum „Merkblatt für den Unterhaltungs- und Betriebsdienst an Straßen, Teil: Winterdienst außerhalb geschlossener Ortslagen“, Ausgabe 1984, eingeführt. Sie ermöglichen die Durchführung von Eignungsprüfungen und geben dem Käufer eine Entscheidungshilfe bei der Beschaffung, sind allerdings als Vertragsbestandteil nicht geeignet.

Bei der Erarbeitung der Anforderungen wurden auch jene einbezogen, die als Grundlage für die Umweltzeichenvergabe „Salzfreie, abstumpfende Streumittel“, RAL-UZ 13, durch die Jury Umweltzeichen in Zusammenarbeit mit dem Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit beschlossen wurden [UBA, 1988]. Die dort formulierten Bedingungen gelten „für salzfreie, abstumpfende Streumittel bei Verwendung auf Gehwegen u.ä.“ Die Produkte richten sich damit im wesentlichen an den privaten Endverbraucher. Die Hersteller erhalten für „Erzeugnisse, soweit diese die ... Bedingungen erfüllen, ... nach Antragstellung beim RAL auf der Grundlage eines mit dem RAL abzuschließenden Zeichenbenutzungsvertrages die Erlaubnis zur Verwendung des Umweltzeichens“ (blauer Engel): „umweltfreundlich weil salzfrei - Jury Umweltzeichen“.

Zur Zeit werden beide Anforderungsprofile überarbeitet. Durch die Arbeitskreise „Winterdienst“ und „Kommunaler Winterdienst“ wurden für den Einsatz auf Straßen „Technische Lieferbedingungen für Streustoffe - TL-Streu“ [FGSV, 1997] erstellt, das Umweltbundesamt formuliert die RAL-UZ 13 neu [UBA, 1996]. Es ist beabsichtigt, die TL-Streu auf europäischer Ebene notifizieren zu lassen. Inwieweit auch die neue RAL-UZ 13 einem europäischen Notifizierungsverfahren unterzogen werden soll, ist nicht bekannt. Insofern beschränkt sich die Vorstellung der Anforderungen an abstumpfende Streustoffe auf den Entwurf der TL-Streu und die Überlegungen, die aufgrund bekannter Umweltauswirkungen dieser Stoffe zu den dort formulierten Bedingungen geführt haben.

#### 4.4.2 Geeignete Materialien

Neben den bekannten, bereits seit Jahren verwendeten und auch in ausreichenden Mengen zur Verfügung stehenden Splitten [AHLBRECHT et al., 1978] sowie anderen natürlichen Streustoffen wie Brechsanden, Kiesen und Sanden oder auch Lavaschlacken werden - vornehmlich aus preislichen Gründen - auch gebrochene (granulierte)

Schlacken oder Nebenprodukte aus verschiedenen industriellen Prozessen als abstumpfende Streustoffe eingesetzt. Im einzelnen werden Hochofen- und andere Schlacken, Haldenmaterialien, Bauschutt aber auch gemahlene Olivenkerne aus der Futtermittelproduktion sowie Asche und Sägespäne angeboten. Viele dieser Produkte sind für einen Einsatz auf öffentlichen Verkehrsflächen nicht geeignet und stünden auch nicht in der erforderlichen Menge zur Verfügung.

HOLNSTEINER (1995) hat festgestellt (s. Abschnitt 4.2.3), daß der von ihm untersuchte Betonrecycling-Splitt (im Vergleich mit natürlichen Splitten) das höchste Staubbildungsvermögen aufwies, lehnt deshalb Baustoff-Recycling-Splitt als abstumpfende Streustoffe ab und empfiehlt - als ein Auswahlkriterium für die Art des verwendeten Stoffes - natürliche Gesteine. Der Entwurf der TL-Streu folgt dieser Empfehlung und führt aus, daß natürliche Gesteine in Form von Sanden oder Splitten „gebrochenen (granulierten) Schlacken oder anderen Nebenprodukten aus verschiedenen industriellen Prozessen vorzuziehen“ sind.

WEHNER (1960) stellte bei seinen Messungen des Gleitreibungsbeiwertes fest (s. Abschnitt 2.2), daß die abstumpfende Wirkung des verwendeten trockenen Mittelsandes gering war und selbst bei Streudichten von 1000 g/m<sup>2</sup> kaum zu einer Verbesserung des Kraftschlusses führte. Sande sollten daher zum Abstumpfen von Fahrbahnen nicht verwendet werden. Für die Verwendung auf anderen Verkehrsflächen (Gehwegen u.ä.), auf denen nur geringe Massen mit geringen Geschwindigkeiten bewegt werden, haben auch Sande als Streustoffe ihre Berechtigung. Sie werden deshalb in den TL-Streu neben Natursteinsplitt und -brechsand als abstumpfender Streustoff natürlichen Ursprunges aufgeführt.

Für die Beurteilung der Eignung abstumpfender Streustoffe ist vom Anbieter die als Anhang der TL-Streu aufgeführte Produktbeschreibung auszufüllen. Als allgemeine Angabe ist dort der Handelsname anzugeben. Außerdem wird gefragt, ob es sich bei dem angebotenen Streustoff um ein natürliches oder künstliches Mineral (aus natürlichen Vorkommen / sonstiger Herkunft) handelt und ob der Streustoff einer regelmäßigen Güteüberwachung, z.B. nach den Richtlinien für die Güteüberwachung von Mineralstoffen (RG Min), unterliegt. Ferner sind der Lieferant / Hersteller sowie die Gewinnungs- / Produktionsstätte anzugeben. Zu den

allgemeinen Angaben zählen schließlich auch die Hauptbestandteile des Streustoffes, d.h. die mineralisch / petrografische Zusammensetzung ist genau anzugeben.

Um abstumpfende Streustoffe bei offener Lagerung rieselfähig zu halten, werden häufig Taustoffe zugesetzt. In der Produktbeschreibung sollen Art und Anteil des Taustoffes angegeben werden, um zusätzliche Schäden durch Taustoffe bei der Verwendung abstumpfender Stoffe auszuschließen.

Werden andere Materialien als natürliche Streustoffe eingesetzt, z.B. granulierten Hochofen- und andere Schlacken, Haldenmaterialien, Bauschutt o.ä., muß jede gelieferte Einzelcharge die Kriterien der Produktbeschreibung erfüllen, um bei der Verwendung eine gleichmäßige Funktionalität zu gewährleisten.

#### 4.4.3 Granulometrische Eigenschaften

Die Wirkung abstumpfender Stoffe beruht auf der Verzahnung der Einzelkörner mit der Glätteschicht. Um diese Verzahnung zu gewährleisten, müssen die Streustoffe einige Bedingungen bezüglich ihrer Korneigenschaften erfüllen.

##### Korngröße / Kornverteilung

Abstumpfende Streustoffe sollen eine möglichst gleichmäßige Kornverteilung aufweisen, um eine gleichmäßige Verteilung des Streugutes auf der Fahrbahn zu gewährleisten. Die Korngrößen sollten deshalb möglichst auf einen Bereich von 1 - 5 mm begrenzt werden. Der Feinstkornanteil (< 0,063 mm) abstumpfender Stoffe darf 5 Gew.-% nicht überschreiten, um ein zusätzliches Schmieren auf der Fahrbahnoberfläche und damit eine Herabsetzung der Kraftschlußbeiwertes zu vermeiden. In den USA wird sogar eine Korngröße unter 0,3 mm (300 µm) abgelehnt, da kleinere Körner nicht zur Erhöhung des Kraftschlußbeiwertes beitragen [KINSEY et al., 1990]. Das Größtkorn darf 8 mm nicht überschreiten (s. auch KLINGENBERG et al., 1987), um ein Springen der Körner über den Fahrbahnrand hinaus zu vermeiden und Beeinträchtigungen an parkenden Fahrzeugen gering zu halten. Die Prüfungen sind nach DIN 52 098 durchzuführen.

##### Kornform

Die Form der Körner soll kubisch und nicht plattig sein, um die Verzahnung mit der Glätteschicht zu gewährleisten. Runde Körner (Sande, Kiese) sollen auf Fahrbahnen nicht eingesetzt werden, um ein

Rollen des Streugutes auf der Fahrbahn sowie eine Gefährdung insbesondere von Zweiradfahrern durch rolliges Streugut auch nach dem Ende der Glätteperiode zu vermeiden. Der Anteil schlecht geformter Körner nach DIN 52 114 soll deshalb kleiner sein als 50 Gew.-%, sie sollen überwiegend kubische Form aufweisen.

Die Bruchflächigkeit (Anteil an bruchflächigen Körnern) nach DIN 52 116 soll größer sein als 90 %. Werden Kiese als abstumpfende Streustoffe eingesetzt, so müssen sie vorher gebrochen werden, um die erforderliche Bruchflächigkeit aufzuweisen.

Um Schäden an Reifen zu vermeiden, dürfen die gebrochenen Körner nicht glasartig scharf sein; derartige Gesteine (amorphe Kieselsäure - „Chalzedon“, landläufiger Name: Feuerstein) finden sich z.B. in gebrochenen Grundmoränenmaterialien.

##### Festigkeit

Das Streugut soll eine hinreichende Festigkeit gegen Zerkleinern / Zermahlen durch Verkehrseinwirkung aufweisen, damit aufgrund der Kornzerkleinerung nicht der vorgegebene Wert für den Feinstkornanteil im Anlieferungszustand unterschritten und die in Abschnitt 3.3 beschriebene Staubbildung möglichst gering gehalten wird. Deshalb soll der Schlagzertrümmerungswert  $SZ_{sp}$  nach DIN 52 115, Teil 1 oder 3, kleiner sein als 30 %. Bei Verwendung von Lavaschlacke ist nach dem „Merkblatt über Lavaschlacke im Straßen- und Wegebau“ (MLS) ein Zertrümmerungswert  $Z_L$  von weniger als 15 % einzuhalten. Die Prüfungen können trotz der besonderen Temperatur bei Einsatzbedingungen (zumeist < 0 °C) ohne Verfälschung der Ergebnisse bei Raumtemperatur durchgeführt werden, wie KUCHTOVA und BELOSOVIC (1994) nachgewiesen haben. Die vorgesehenen Schlagzertrümmerungswerte korrelieren gut mit den Ergebnissen des von HOLNSTEINER (1995) durchgeführten Los-Angeles-Test [LEINS et al., 1981], der in modifizierter Form auch in den USA empfohlen wird [KINSEY et al., 1990].

##### Sonstige Eigenschaften

Abhängig von der Art des Streustoffes und seiner Gewinnung kann das Streugut organische Bestandteile enthalten. Sie sind nach DIN 52 099, Teil 6, zu ermitteln und müssen ausgewiesen werden.

Für die Ermittlung der möglichen Ladekapazität des Streuaufsatzes ist die Rohdichte (nach DIN 52 107) anzugeben.

Ein Vergleich der Werte macht deutlich, daß die Allgemeine Rahmen-Verwaltungsvorschrift über Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer für den Gehalt an Schwermetallen engere Grenzen setzt, als für das Einleiten von Abwasser in Kläranlagen gefordert werden. Bei Vorgabe dieser Werte für den Schwermetallgehalt in/an Streustoffen wäre z.B. Klärschlamm, der als Mittel zur Bodenverbesserung eingesetzt wird, schon aus Gründen seiner Belastung mit Schwermetallen als abstumpfender Streustoff nicht zu akzeptieren.

Da davon auszugehen ist, daß wasserlösliche Anlagerungen an Streustoffe beim Schmelzen des Schnees in Lösung gehen, sollen für den Gehalt an wasserlöslichen Schwermetallen in Streustoffen deshalb in Anlehnung an die Allgemeine Rahmen-Verwaltungsvorschrift über Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer - Rahmen-AbwasserVwV - Anhang 22: Mischabwasser, vom 31. Juli 1996, für eine Lösung nach DIN 38 414 S4 die Werte der dortigen Tabelle 2 herangezogen werden. Die Schwermetallgehalte sollten bei abstumpfenden Stoffen nach dem pH4-stat-Verfahren ermittelt werden. Dieses Verfahren wird vom AK 6.4.1 „Elutionsverfahren für Mineralstoffe“ zur Untersuchung der langfristigen Auslaugbarkeit von Mineralstoffen empfohlen, „weil sich nach jetzigen Abschätzungen im Extremfall ein pH-Wert von 4 in Niederschlägen einstellen kann.“ [GOETZ / GLÄSEKER, 1996]

Für Anforderungen an das Ausgangsmaterial „abstumpfende Streustoffe“ wird im Entwurf zur TL-Streu deshalb eine Produktbeschreibung formuliert, deren Einhaltung dafür Sorge tragen kann, die Umweltauswirkungen abstumpfender Stoffe vom Zeitpunkt ihrer Ausbringung bis zu ihrer erforderlichen Wiederaufnahme nach der Winterperiode möglichst gering zu halten.

Arsen	(As)	< 0,25	mg/l
Blei	(Pb)	< 0,5	mg/l
Cadmium	(Cd)	< 0,2	mg/l
Chrom	(Cr)	< 0,5	mg/l
Kupfer	(Cu)	< 0,5	mg/l
Nickel	(Ni)	< 0,5	mg/l
Quecksilber	(Hg)	< 0,05	mg/l
Zink	(Zn)	< 2	mg/l

Tab. 4: Grenzwerte für Schwermetallgehalte in Taustoffen

### Produktbeschreibung für abstumpfende Streustoffe nach TL-Streu, Stand 5/97

#### 1. Bezeichnung

Handelsname: \_\_\_\_\_

- aus natürlichen Vorkommen
- sonstiger Herkunft

Der Streustoff unterliegt einer regelmäßigen Güteüberwachung nach RG Min  nach

#### 2. Lieferant/Hersteller

Name \_\_\_\_\_

Straße \_\_\_\_\_

PLZ \_\_\_\_\_ Ort \_\_\_\_\_

#### 3. Gewinnungs-/Produktionsstätte

Name \_\_\_\_\_

Straße \_\_\_\_\_

PLZ \_\_\_\_\_ Ort \_\_\_\_\_

#### 4. Hauptbestandteile

Bitte genau angeben, z. B. mineralogisch-petrographische Beschreibung

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

#### 5. Beimengungen und Schadstoffe

- beigemengte Taustoffe, Gehalt

Art des Taustoffes: \_\_\_\_\_

Istwert : \_\_\_\_\_ Gew. %, \_\_\_\_\_

- Organische Fremdstoffe (DIN 52 099, Teil 6)

Verfärbung der Natronlauge: \_\_\_\_\_

#### 6. Gehalt an wasserlöslichen Schwermetallen ermittelt nach dem pH4-stat-Verfahren

	Istwert (mg/l)	Grenzwert (mg/l)
Arsen (As)		≤ 0,25
Blei (Pb)		≤ 0,5
Cadmium (Cd)		≤ 0,2
Chrom, gesamt (Cr)		≤ 0,5
Kupfer (Cu)		≤ 0,5
Nickel (Ni)		≤ 0,5
Quecksilber (Hg)		≤ 0,05
Zink (Zn)		≤ 2

7. Granulometrische Eigenschaften

- Korngrößenverteilung (DIN 52 098)

	Durchgang in Gew.-% durch das Prüfsieb	
	0,063 mm	8 mm
Istwert		
Grenzwert	≤ 5	= 100

- Kornform  
Anteil schlecht geformter Körner nach Augenschein bzw. in Zweifelsfällen nach DIN 52 114  
Istwert: ≤ 50 Gew.-% (kubisch)   
> 50 Gew.-% (plattig)   
Grenzwert ≤ 50 Gew.-%
- Bruchflächigkeit  
Anteil an bruchflächigen Körnern nach Augenschein bzw. in Zweifelsfällen nach DIN 52 116  
Istwert: Gew.-%, Grenzwert: ≥ 90 %
- Scharfkantigkeit: glasartig  ja  nein

8. Festigkeit (DIN 52 115, Teile 1,3)

- Schlagzertrümmerungswert  $SZ_{sp}$ :  
Istwert: \_\_\_\_\_, Grenzwert: ≤ 30 %  
Bei Lavaschlacken gilt nach dem „Merkblatt über Lavaschlacke im Straßen- und Wegebau“ (MLS)
- Zertrümmerungswert  $Z_L$ :  
Istwert: \_\_\_\_\_, Grenzwert: ≤ 15 %

9. Rohdichte (DIN 52107)

Istwert:  $\rho_R =$  \_\_\_\_\_ g/cm<sup>3</sup>

10. Sonstige Angaben

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Datum      Unterschrift

## 5 Auswirkungen auf den Betrieb

### 5.1 Allgemeines

Nach der Beschreibung von Auswirkungen abstumpfender Stoffe auf die Umwelt soweit es ihre Anwendung angeht, verbleibt die Frage nach weiteren Wirkungen im Sinne der in Abschnitt 2 angesprochenen umfassenden Umwelt- oder Öko-Bilanz eines Einsatzes abstumpfender Stoffe im Straßenwinterdienst. Nach HANKE (1993) beinhaltet der Gesamtkomplex die Frage nach dem gesamten Lebenszyklus abstumpfender Stoffe, d.h. ergänzend zu den bislang beschriebenen Auswirkungen auch nach Herstellung und Lagerung, Wiederaufnahme nach dem Einsatz und schließlich nach Entsorgung und/oder Recycling, einschließlich der jeweils erforderlichen Transportwege. Zu den Überlegungen bezüglich der Umweltaspekte im bislang verwendeten Wortsinne kommen - im Zeichen knapper Kassen bei Straßenbauverwaltungen und vor allem Kommunen - auch noch Überlegungen zu den Kosten, die bei der Verwendung abstumpfender Streustoffe auftreten.

Die Literaturanalyse erlaubt allerdings nicht zu jedem Punkt des „Lebensweges“ abstumpfender Streustoffe umfassende Aussagen. Insbesondere Fragen der Öko-Bilanz für die erforderlichen Transportwege können aufgrund der verfügbaren Literatur nur unzureichend beantwortet werden. Umfangreicher sind dagegen Publikationen, die sich mit der Aufbereitung abstumpfenden, wieder aufgenommenen Streugutes befassen. Auch die Frage der Kosten eines Winterdienstes mit abstumpfenden Stoffen ist zumindest im Vergleich mit einem Winterdienst mit Taustoffen zu beantworten. Die rechtliche Würdigung des Teiles des Lebensweges von abstumpfenden Stoffen, der mit der Wiederaufnahme beginnt und häufig mit der Wiederverwertung (z.B. als Zuschlagstoff) endet, beschränkt sich infolge weitgehend noch fehlender Urteile überwiegend auf die Darstellung gültiger Gesetzes- und Verordnungstexte.

### 5.2 Gewinnung, Herstellung

Die einzigen für das vorliegende Thema verwendbaren Publikationen sind Arbeiten zu der Frage der Verwertung von industriellen Nebenprodukten und Recycling-Baustoffen, für deren Verwertung Anwendungsfälle gesucht werden und für die es verschiedene Untersuchungen bezüglich ihres ökolo-

gisch unbedenklichen Einsatzes bis hin zu technischen Lieferbedingungen gibt [TOUSSAINT, 1995 u.a.m.]. Da auch derartige Stoffe als abstumpfende Mittel im Winterdienst eingesetzt werden, wurde auf diese Arbeiten bereits des öfteren Bezug genommen.

In Ermangelung von Arbeiten über die Produktion abstumpfender - hier natürlicher - Streustoffe wurde deshalb der Bundesverband Naturstein-Industrie e.V. gebeten, entsprechende Informationen zu liefern. Mitglieder des Arbeitskreises „Streusplitt aus Naturgestein“ waren so entgegenkommend, einige Fragen zur Herstellung und zum Transport von Streustoffen sowie zum Handel mit Streustoffen zu beantworten. Fragen und Antworten sind im Folgenden zusammenfassend dargestellt.

Die Gewinnung von Streusplitten, die den Anforderungen des Entwurfes der TL-Streu entsprechen, ist im allgemeinen nicht aufwendiger als die Herstellung von Splitten z.B. für den Wegebau oder andere Anwendungsfälle. Im Straßenwinterdienst werden „Edel“splitte verschiedener, ausgesiebter Körnungen (1/5 mm, 2/5 mm, 5/8 mm) eingesetzt, die in Kornform, Sieblinie und anderen Qualitätsmerkmalen den Technischen Lieferbedingungen für Mineralstoffe entsprechen. Sie unterliegen damit den entsprechenden Technischen Prüfbedingungen für Mineralstoffe (TP-Min bzw. DIN 52 xxx), auf die in der Produktbeschreibung für abstumpfende Streustoffe Bezug genommen wird, jedoch sind die Anforderungen an bezüglich Überkorn- und Feinstkornanteil strenger. Gegenüber „normalem“ Splitt für den Einsatz im Straßenbau oder anderen Anwendungsgebieten ergeben sich daher z.T. zusätzliche Kosten bei der Herstellung. Eine für Streustoffe evtl. erforderliche Lagerung erfolgt in Silos oder aber - für die örtlichen Verteiler (z.B. Tankstellen oder Baustoffmärkte) - in Big-Bags oder kleineren Gebinden, z.T. in Eimern. Hier sind die entsprechenden Absackvorgänge und das Befüllen der Big-Bags kostenintensiv.

Der Transport von Streusplitten für Straßenbauverwaltungen, Kommunen oder kommunale Streudienste erfolgt in der Regel als Schüttgut. Eine Ausnahme bilden Lieferungen der angesprochenen Gebinde für den Groß- und Einzelhandel oder sogar den privaten Anwender. Die Transportwege betragen durchschnittlich bis zu 50 km, im Einzelfall bis zu 100 km.

Bei Lieferungen von Mitgliedsfirmen des Verbandes der Naturstein-Industrie kann grundsätzlich

davon ausgegangen werden, daß dem gelieferten abstumpfenden Streugut - auch auf Anforderung - keine Taustoffe in irgendeiner Form beigemischt werden, da das schadstofffreie Produkt unverfälscht auf die Straßen und Wege gelangen soll. Der Splitt wird trocken, d.h. ausbringungsfertig geliefert. Nachbehandlungen finden, wenn überhaupt, beim Kunden statt.

### 5.3 Lagerung, Ausbringung / Streudichten

Die Verwendung abstumpfender Stoffe setzt voraus, daß sie trocken angeliefert und trocken gelagert werden, damit sie streufähig bleiben. Im Winterdienst-Merkblatt [FGSV, 1997] werden für die Lagerung deshalb Hallen vorgeschlagen. Im Regelfall stehen allerdings - insbesondere in kleineren Kommunen - für die Lagerung abstumpfender Streustoffe weder Silos noch Lagerhallen zur Verfügung. Viele Gemeinden sind schon froh, wenn sie über überdachte Lagerflächen verfügen.

Für die Lagerung abstumpfender Stoffe im Freien schlägt KNOBLOCH (1982, 1986) aufgrund von Untersuchungen vor, dem abstumpfenden Streustoff 10 % Salz beizumengen, um ihn auch bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt streufähig zu halten. Ohne die Beigabe von 10 % Salzanteil waren lose gelagerte abstumpfende Streustoffe bei Temperaturen von -15 °C vollständig durchgefroren, hart und nicht mehr zu laden.

Einer solchen Praxis steht entgegen, daß Gemische aus tauenden und abstumpfenden Streustoffen grundsätzlich nicht verwendet werden sollten. „Vor einer Beimischung von Salz zu abstumpfendem Streumaterial kann nur gewarnt werden. Schon im Streusalzbericht I (1981) wurde darauf verwiesen, daß beispielsweise bei einem Gehalt von 10 % Salz in einem einzigen Streugang mit diesem Gemisch fast ebenso viel Salz auf die Straße gebracht wird, wie bei alleiniger Salzanwendung. Die erforderliche häufige Wiederholung abstumpfender Streuung würde dann zu einer deutlichen Mehrbelastung führen. Die oft geäußerte Behauptung, Salz «müsse» beigemischt werden, trifft nicht zu, wenn die Streumittel vorschriftsmäßig gelagert werden.“ [GREGOR, 1989]

Nach WEHNER (1960) ist zum Erzielen einer abstumpfenden Wirkung eine Streumenge von mindestens 100 g/m<sup>2</sup> erforderlich. „Als Regelstreudichte ist eine Menge von etwa 150 g/m<sup>2</sup> zu emp-

fehlen.“ [FGSV, 1997] Diese Regelstreuendichte wird jedoch in deutschen Kommunen nicht einmal als Mittelwert erreicht. SCHNEEWOLF (1990) stellte im Winterdienstbericht II fest, daß sich mit der Entwicklung des allgemeinen Umweltbewußtseins und daraus resultierenden entsprechenden Reaktionen der Entscheidungsgremien in den Kommunen (u.a. als Folge des Streusalzbericht I des UBA, 1981) der kommunale Winterdienst innerhalb von 10 Jahren grundlegend gewandelt hat. Eine Umfrage bei insgesamt 278 Städten und Gemeinden ergab, daß sich vom Winter 1978/79 bis zum Winter 1986/87 der durchschnittliche Anteil des mit Salz betreuten Netzes im Straßenwinterdienst halbiert hatte (von ca. 82 % 1978/79 auf ca. 43 % im Winter 1986/87), der Anteil des abstumpfend gestreuten Netzes hatte im gleichen Zeitraum fast um das Dreifache (von 13 % auf ca. 30 %) zugenommen und gut 1/4 der Gemeindestraßen (ca. 27 %) wurden Ende der 80er Jahre überhaupt nicht mehr abgestreut („Nullstreuung“). Diese Zahlen werden von einer vergleichbaren Untersuchung der TH Darmstadt bestätigt [DURTH, 1988]. Die durchschnittliche Streudichte für abstumpfende Stoffe auf Kommunalstraßen betrug nach SCHNEEWOLF 99 g/m<sup>2</sup>, DURTH ermittelte in seiner Untersuchung einen Mittelwert von 138 g/m<sup>2</sup>. Neuere Untersuchungen zu diesem Thema liegen z.Zt. noch nicht vor; es ist davon auszugehen, daß die geschilderten Verhältnisse seither weitgehend konstant geblieben sind.

Die nach WEHNER für das Erreichen eines ausreichenden Kraftschlußbeiwertes erforderliche Mindeststreuemenge von 100 g/m<sup>2</sup> wird jedoch in den meisten Kommunen, die abstumpfend streuen, auch eingesetzt, so daß davon auszugehen ist, daß das Rechtsgut Gesundheit der Verkehrsteilnehmer zumindest entsprechend den Möglichkeiten abstumpfender Streuung geschützt wird.

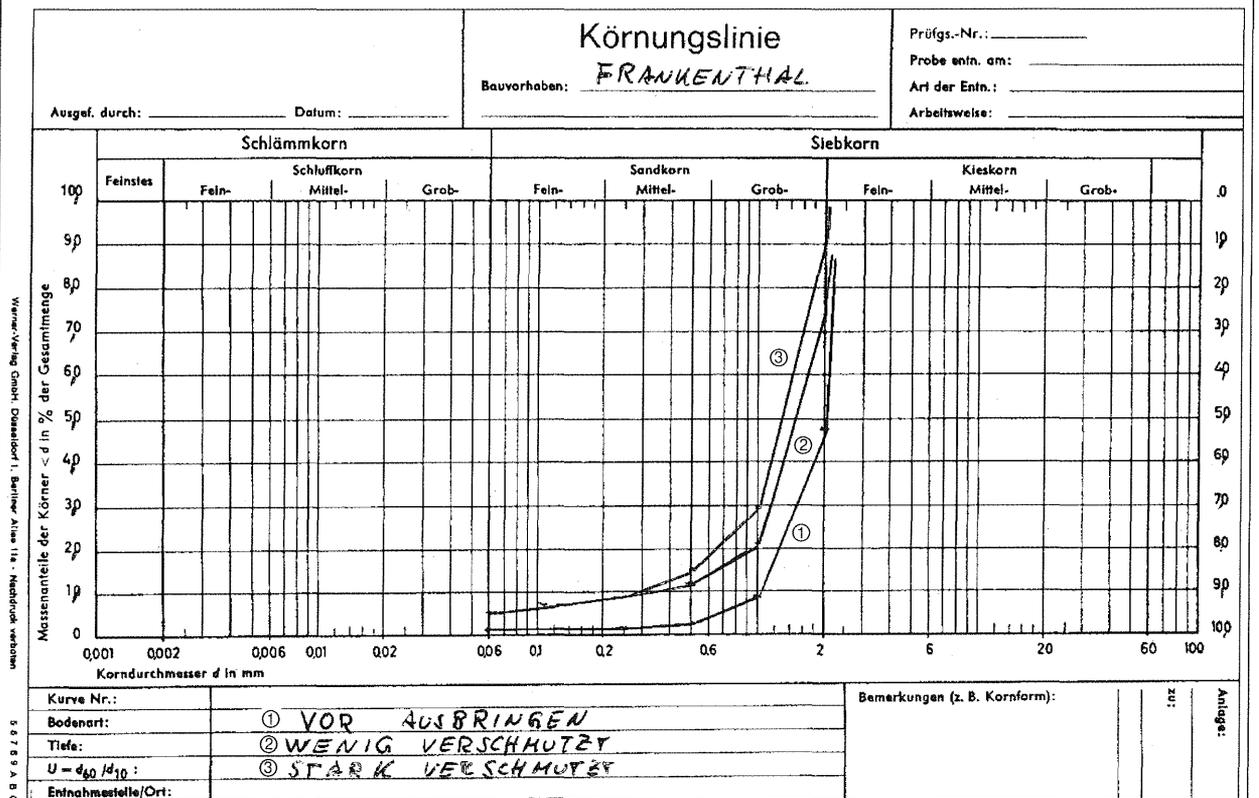
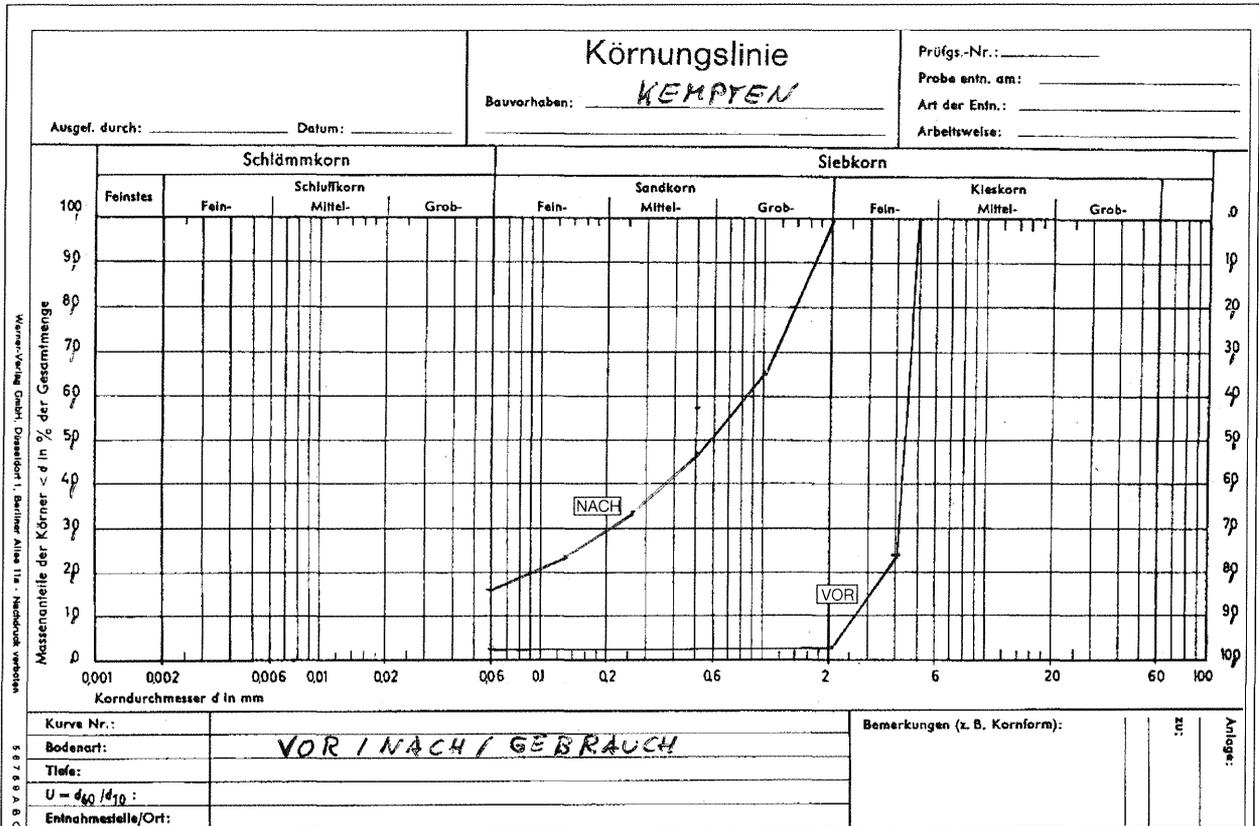
#### 5.4 Aufnahme, weitere Verwendung

Bei dem Anfang der 90er Jahre und wohl auch jetzt noch aktuellen Anteil von durchschnittlich 30 % abstumpfender Streuung auf dem Straßennetz einer Kommune beträgt der Verbrauch an abstumpfenden Streustoffen in Deutschland jährlich ca. 500.000 t, davon 70 % Splitte; der Rest sind Granulate, Sande u.ä. [HANKE, 1993]. Wieviel von dieser Menge nach dem Winter, z.T. auch schon während des Winters, wieder aufgenommen wird, ist der verfügbaren Literatur nicht eindeutig zu entnehmen. GAUTSCHI / SCHARMER (1988) berich-

ten von ca. 70 % in der Stadt Zürich, STEINBAUER (1993) von einem Durchschnitt über vier Winter in Wien von ca. 45 % (zwischen 33 % und 57 %), die Zeitschrift „Motor im Schnee“ (2/1983) dagegen von nur 10 % in Städten, ein Wert der auch in München im Winter 1994/95 mit ca. 11 % der Ausgangsmenge erreicht wurde. Diese Menge wurde der Splittaufbereitung zugeführt [STROBL, 1996]. Auf Außerortsstraßen beträgt der Anteil zwischen 20 % [Motor im Schnee, 2/1983] und ca. 35 % [BELOSOVIC, 1994].

Das auf Straßen ausgebrachte Streugut wird vom Verkehr teilweise zermahlen und weist beim Aufnehmen Verunreinigungen durch „normale“ Straßenschadstoffe auf, die sich an Körner anlagern: Reifenabrieb, Bremsabrieb, z.T. organische Stoffe (Kohlenwasserstoffe) aus Abgasen. Weitere Verunreinigungen entstehen z.B. durch Hundekot (bakterielle Verunreinigungen wie Fäkalstreptokokken, Fäkal-Coliformen, Enterobacteriaceen), Papier, Dosen u.a.m. [STROBL, 1993]. Durch das Zermahlen ändert sich die Kornzusammensetzung (Korngrößen, Kornverteilung). Das führt zu einer Vergrößerung der spezifischen Oberfläche des Streugutes und erhöht so die Möglichkeit des Anlagerns von (durch den Verkehr) auf der Straße vorhandenen Stoffen. Zwei typische Beispiele für die Größe der zu erwartenden Veränderungen des Ausgangsmaterials zeigt Bild 21. Hier wurden - nach einer Absiebung des Grobanteiles (Dosen, Papier u.ä.) - an in der Praxis eingesetzten und wieder aufgenommenen Streustoffen im Rahmen einer eigenen Untersuchung Siebanalysen durchgeführt. Bei dem Material 1 (Bild 21 - oben) handelt es sich um einen Edelsplitt 2/5 (gebrochener quarzitischer Sandstein, z.T. Gangquarze, Form kubisch/prismatisch), der einer intensiven Beanspruchung ausgesetzt war. Das Material 2 (Bild 21 - unten) ist ein Sand (Form länglich/oval, > 50 % Quarze, der Rest Feldspate, vereinzelt Flint), weniger beansprucht, der an zwei Straßen mit unterschiedlicher Verkehrsbelastung aufgenommen wurde.

Die Änderungen der Kornverteilungen entsprechen in ihrer Bandbreite Untersuchungen der Zusammensetzung von Straßenkehrriecht in Berlin [MÜLLER, 1997], bei denen in Maschinenkehrriecht ein Anteil an mineralischen Stoffen (Kies, Sand) von ca. 80 %, in Handkehrriecht von ca. 50 % festgestellt wurde. Die Höhe der Fremdanteile im aufgenommenen Streugut wird von GAUTSCHI / SCHARMER (1988) mit bis zu 20 % Fremdanteilen angegeben. STROBL (1993) stellte bis zu 15 % Grob-



(Quelle: Eigenuntersuchungen)

Bild 21: Änderung der Kornverteilung von abstumpfenden Streustoffen zwischen dem Ausbringen und dem Aufnehmen

verunreinigungen am aufgekehrten Streugut fest: „Wegen der Verunreinigungen und der Veränderung der Kornzusammensetzung (Zermahlen der Körner) kann das wiederaufgenommene Kehrgut nicht - unmittelbar (Anm. des Verfassers) - als Streustoff wiederverwendet werden. Bislang wird das Kehrgut in den meisten Fällen auf Deponien abgelagert.“

Noch 1990 stellte SCHNEEWOLF in seinem Winterdienstbericht II anhand einer Umfrage bei Städten und Gemeinden fest, daß Gemeinden, die den aufgenommenen Streusplitt nicht deponierten, bei der weiteren Verwendung relativ sorglos mit dem Material umgingen (Tabelle 5).

Aus der Tabelle geht hervor, daß zwei Drittel der befragten Städte und Gemeinden das aufgenommene Streugut deponieren. (Differenzen bei der Summenbildung sind auf Mehrfachnennungen zurückzuführen.) Nur ca. 1/3 dieser Gemeinden wiederum bereiten das aufgenommene Streugut vor der weiteren Verwendung auf. Diese Praxis ist so nicht mehr durchzuführen. „Wegen der verschärften Abfallgesetzgebung (TA Siedlungsabfall), des Gebotes der Schonung der Deponieflächen und der natürlichen Ressourcen, aber auch wegen der rasant steigenden Deponiepreise ... ist dies sowohl wirtschaftlich als auch rechtlich und ökologisch künftig nicht mehr vertretbar.“ [HANKE, 1993] Außerdem müssen die aufgenommenen Streustoffe zunächst im Hinblick auf ihre Belastung mit Schadstoffen analysiert werden, um gemäß der Technischen Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (TA Siedlungsabfall - TASI) einer Deponieklasse zugeordnet werden zu können. Verschieden Untersuchungen [STROBL, 1993; Stadt Köln, 1987 u.a.m.] zeigen für aufgekehrtes Streugut erhöhte Werte vor allem für Quecksilber, Kupfer, Blei, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und fäkalcoliforme Keime.

Material	Ausbringung	Weiterverwendung				Aufbereitung		
		Gesamt	Wegebau	Streugut	Sonstiges	Keine	Siebung	Sonstiges
Splitt, Kies	174	69	58	2	8	23	6	1
Granulat	39	5	2		3	1		
Lava	32	7	5		1	2		1
Sand	45	12	9		2	3	1	1
Mischung	6	1	1					
Summe	296	94	91			34	10	
			75	2	14		7	3

Tab. 5: Verwendung aufgekehrten Streugutes

Etwa ein Drittel der Gemeinden mit abstumpfender Streuung verwendete das aufgekehrte Streugut weiter. „Eine Verwendung im Wegebau ... - nahezu jede vierte Gemeinde nannte diese Verwendung - (entweder von den Städten selbst oder durch Abgabe an Bauunternehmungen) ist angesichts der Schadstoffbelastung ebenfalls sehr problematisch und künftig weitgehend auszuschließen.“ [HANKE, 1993] „Langfristig bleibt ... nur ... der Weg der Wiederaufbereitung; es gibt daher in jüngster Zeit eine Vielzahl von Bemühungen, Verfahren zur Wiederaufbereitung von Streusplitt (Recycling) zu entwickeln, die sowohl ökologisch sinnvoll als auch ökonomisch vertretbar sind.“ Nur jede 30ste der befragten Kommunen bereitete noch Ende der 80er Jahre das aufgenommene Streugut wieder auf. Inzwischen werden verschiedene Aufbereitungsverfahren angeboten (im Wesentlichen Trocknen bzw. Waschen und Sieben), die jedoch weitgehend noch in der Entwicklungs- oder Testphase und häufig mit erheblichem Aufwand verbunden sind. Eine abschließende Beurteilung kann daher auch aufgrund dieser Literaturanalyse noch nicht abgegeben werden, wohl aber eine Darstellung des Sachstandes mit Perspektiven für die weitere Entwicklung.

#### 5.4.1 Kompostierung

Ein Verfahren zur Kompostierung anfallenden Streusplittes wurde u.a. von der Stadt München in erste Überlegungen zur Wiederverwendung von Streusplitt einbezogen [STROBL, 1993]. Bei diesem Verfahren „wird das Kehrgut nach einer Entfernung großer Fremdkörper wie Müllsäcke, Steine u. ähnl. mit dem üblichen Kompostmaterial wie Grünabfälle vermischt und in Mieten abgelagert. Im üblichen Kompostierverfahren wird das Material entwässert und mehrfach umgesetzt. Durch den einsetzenden Verrottungsprozeß soll ein Teil der Schadstoffe abgebaut werden. Nach dem Rottevorgang wird das Material abgesiebt, die Splittbestandteile vom Kompost getrennt und zur Auffüllung einer ehemaligen Kiesgrube verwendet.“

Es handelt sich hier nach unserer (Baureferat der Landeshauptstadt München) Ansicht um kein echtes Recycling-Verfahren, da der Splitt nicht wiedergewonnen, sondern nur zur unbedenklichen Ablagerung in Füllgruben aufbereitet wird. Zu erwähnen ist hier, daß derartiges Material aber durchaus sinnvoll eingesetzt und sogar gesucht ist, da entsprechend feinkörniges Material zur Auffüllung von Hohlräumen in Füllgruben benötigt wird. Bedenken

gegen dieses Verfahren ergeben sich hinsichtlich des anfallenden Abwassers. Die anfallenden Sickerwässer auf dem Kompostierplatz dürfen ... nur aufgrund einer Ausnahmegenehmigung (des Wasserwirtschaftsamtes der Stadt München) in die Kanalisation abgeleitet werden. Die Auswirkungen auf das Grundwasser im Bereich der Füllgrube werden derzeit noch (1993) durch das Wasserwirtschaftsamt untersucht.

Das Verfahren kann zur Zeit (1993) nur in Form eines mengen- und zeitmäßig begrenzten Großversuches durchgeführt werden. Es stellt zunächst eine äußerst kostengünstige Möglichkeit zur Entsorgung des Streusplittes dar, dürfte aber keine große Zukunft haben, da durch die Verrottung kein umfassender Abbau der Schadstoffe erfolgt, das Abwasserproblem nicht restlos geklärt ist und die eigentliche Ressourcen- und Deponieraumersparnis nicht zu erzielen ist."

Neben der Anmerkung, daß es sich bei dem Kompostierverfahren nicht um ein echtes Recyclingverfahren handelt, ist der Vorgang der „Vermischung“ (Beimischen von Grünabfällen) bei der Aufbereitung zur unbedenklichen Ablagerung ein rechtlich zumindest bedenkliches Verfahren. Die Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall) vom 12. März 1991 führt dazu aus (Abs. 4.2): „Abfälle dürfen grundsätzlich nicht vermischelt werden, auch wenn sie denselben Abfallschlüssel aufweisen, es sei denn, dies erfolgt in Verbindung mit dem Entsorgungs-/Verwertungsnachweis entsprechend der Abfall- und Reststoffüberwachungs-Verordnung und im Auftrag und nach Maßgabe des Betreibers der vorgesehenen Abfallentsorgungsanlage oder des Verwerters.“ Auch die Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall) vom 14. Mai 1993 fordert die Getrennthaltung und Getrenntsammlung von Abfällen (Abs. 5.2), in Bezug auf abstumpfende Streustoffe sogar: „Das Granulat aus dem Winterdienst soll nach Möglichkeit vom übrigen Straßenkehricht getrennt und einer Verwertung zugeführt werden.“ (Abs. 5.2.5)

Die in München errechneten Gesamtkosten für die Durchführung des Kompostverfahrens zur Aufbereitung wieder aufgenommenen abstumpfenden Streugutes betragen ca. 130 DM/t.

#### 5.4.2 Trocken- oder Heißreinigung

Große Bedeutung wird - oder zumindest: wurde lange Zeit - dem Verfahren der Heiß- oder Trocknereinigung zugemessen. Es wurde bereits Ende der 80er Jahre in der Schweiz - zusammen mit einer deutschen Firma - entwickelt und erprobt [GAUTSCHI / SCHARMER, 1988], auch in Deutschland propagiert [MÜLLER, 1988; BR 1/88] und in Berlin versuchsweise eingesetzt [Müll und Abfall 5/90]. Das Verfahren (Prinzipsskizze s. Bild 22), für das auch eine mobile Anlage entwickelt wurde, besteht grundsätzlich aus drei Schritten:

- „Ein Schwingsieb scheidet Fremdkörper und grobe Verunreinigungen aus.
- Ein Schwingfließbett-Trockner bringt den Splitt auf eine wintergerechte Endfeuchte.
- Eine Luftstromsichtung und evtl. eine Feinsiebung am Ende des Trockners entfernt die staubförmigen Bestandteile.“ [GAUTSCHI / SCHARMER, 1988]

Das angelieferte Kehrgut wird also grob vorgesiebt und dann im Trommeltrockner auf 110 °C bis 150 °C erhitzt. Bei dieser Temperatur werden alle im zu reinigenden Gut vorhandenen Bakterien abgetötet [STROBL, 1993]. Mittels Windsichtung werden die Feinanteile angesaugt und abgefiltert. Dann wird der Splitt neu gebrochen, um die für abstumpfendes Streugut geforderte Bruchflächigkeit zu erreichen, und in Fraktionen gesiebt. Die Grobanteile und die Feinstaubfraktion (Filterstaub) müssen nach wie vor deponiert werden, d.h. die Gesamtdeponiemenge beträgt nach der Aufbereitung noch 20 % - 25 % der angelieferten Gesamtmenge. Der wiedergewonnene Splitt (mit Korngrößen von ca. 1 mm - 8 mm), etwa 70 % bis 75 % der aufgegebenen Masse, kann entweder zur Mischgutherstellung oder grundsätzlich als Streugut im Winterdienst wieder verwendet werden. Analysen zeigen, daß der mit diesem Verfahren wiedergewonnene Splitt neuem Splitt ebenbürtig ist und nur geogene Gehalte an Problemstoffen enthält [HANKE, 1993]. Infolge der Erhitzung wurden auch keine Kohlenwasserstoffe (auch PAK) oder mikrobiologische Organismen mehr festgestellt [STROBL, 1993].

Nach einer entsprechenden Ausschreibung wurden im Sommer 1993 in München ca. 3.000 t aufgenommenen Streustoffes in einer mobilen Anlage heiß gereinigt. „Nach einigen Anlaufschwierigkeiten begann die Anlage einwandfrei zu laufen. Eine Be-

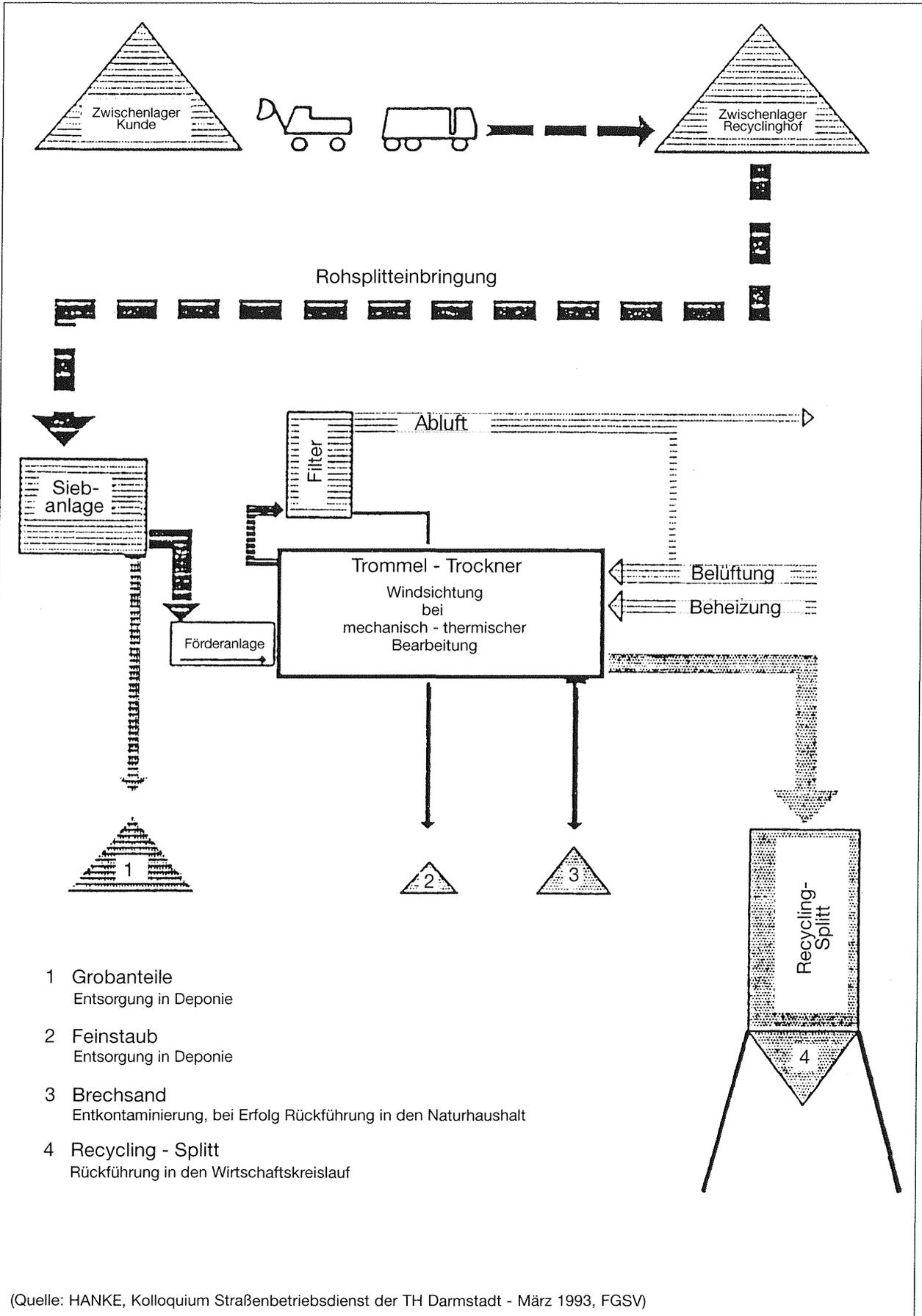


Bild 22: Prinzipschema der Heißreinigung

sichtigung durch Fachleute des städt. Umweltamtes ergab Beanstandungen in Richtung Abgase und Staubentwicklung. Der Betreiber sagte sofort Verbesserungen durch Einhausung von Transportbändern usw. zu. Bezüglich der Lärmentwicklung ergaben sich aufgrund des günstigen Standortes (altes Flughafengelände in München-Riem) keine Probleme. Eine Betriebserlaubnis nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz und dem Abfallgesetz ist nicht erforderlich, da nach § 7 AbfG nur ortsfeste Anlagen oder Anlagen, die länger als 6 Monate am gleichen Standort betrieben werden, einer Genehmigung bedürfen."

„Bei dem praktizierten Verfahren wurde der wiedergewonnene Splitt nicht nachgebrochen. Es wurden ausreichende Bruchkanten festgestellt. Bei mehrmaliger Verwendung des Materials als Streugut ist ein Brechvorgang aber unerlässlich. Der Recyclingsplitt weist noch Verunreinigungen wie Glas, Holz und anderes organisches Material auf. Auch haftete noch relativ viel Feinstaub am Splitt. Nach den überschlägigen Feststellungen konnten aus dem angelieferten Kehrgut von rund 3.000 to in etwa 50 %, d.h. ca. 1.500 to Splitt, wiedergewonnen werden.

Der gereinigte Splitt wurde (nach Freigabe durch die Gesundheitsbehörde) in die Betriebshöfe zurücktransportiert und für den Winterdienst eingelagert. Der sich entwickelnde Staub gab zu Bedenken hinsichtlich der Verwendung als Streusplitt Anlaß. Ein daraufhin im Sommer 1993 durchgeführter Streuversuch ergab eine für den Einsatz in geschlossenen Ortschaften unzumutbare Staubentwicklung." [STROBL, 1993] Die Kosten für die Heißreinigung in der mobilen Anlage beliefen sich in München inklusive aller Transportwege auf 223,- DM/t (Stand Sommer 1993).

Insgesamt bleibt festzuhalten, daß auch bei einer Aufbereitung aufgekehrten abstumpfenden Streugutes in einer Heißreinigungsanlage ein Rest von ca. 20 bis 25 % des aufgenommenen Materials deponiert werden muß. Ggf. wird eine Zwischenlagerung erforderlich, die zu Geruchsbelästigungen führen kann und zudem rechtlich bedenklich ist, da es sich um Lagerung von Abfällen handelt, die nach der TA Siedlungsabfall der Deponieklasse II zuzuordnen sind. Der wieder verwendbare Splitt, ca. 70% - 75 % der aufgekehrten Menge, staubt beim Aufladen und Ausbringen und ist trotz der Freigabe durch die Gesundheitsbehörde als Streustoff nicht mehr zu gebrauchen.

### 5.4.3 Naßreinigung

Als Alternative zum Trocknen und Absieben von stark belasteten Kehrrichtanteilen wurde in vielen Städten ein Waschverfahren erprobt. „Es hat sich gezeigt, daß es keiner aufwendigen Technik bedarf. Ein Problem besteht darin, daß das anfallende Abwasser mit den im Straßenkehricht vorhandenen Schadstoffen angereichert ist und - nach ausgiebiger Entschlammung - zumindest einem Schmutzwassersiel zugeführt werden muß." [Hansestadt Hamburg, 1986] Auch bei der Naßreinigung wird „das aufgekehrte Material zunächst grob vorge-siebt und dann gewaschen. Beim Waschen werden die Feianteile und die angelagerten Schadstoffe mit dem Waschwasser gebunden; in einem Ab-setzbecken werden diese dann abgelagert. Der gewaschene Splitt wird nachgebrochen und in Kornfraktionen abgesiebt. Die abgesetzten Feinstoffe und die Grob-Verunreinigungen werden deponiert (etwa 25 bis 30 % der aufgekehrten Masse).

Grundsätzlich kann mit dieser Methode streufähiger Splitt wiedergewonnen werden, mit etwa 70 bis 75 % der aufgekehrten Masse. Problematisch ist hierbei der Wasserverbrauch und die Belastung des Abwassers; Genehmigungen zur Einleitung des Waschwassers in Kläranlagen gibt es daher bislang (1993) nur lokal begrenzt bzw. für den Versuchsbetrieb. Ein weiteres Problem ist, daß zwar die Schwermetalle vom Splitt getrennt werden, daß aber die PAK-Werte erhöht bleiben und vor allem die bakterielle Belastung (Fäkal-Keime) bleibt." [HANKE, 1993]

Nach den Erfahrungen des Recycling-Großversuches im Jahr 1993 (s. Abschnitt 5.4.2) wurde von der Stadt München im Sommer 1995 ein erneuter Versuch mit einem Mischverfahren (Grobabsiebung, Brechanlage, Absiebung, Waschanlage) durchgeführt [STROBL, 1996]: „Der wiedergewonnene Splitt wird als Wintersplitt, die Sande zu Straßenbauzwecken oder als Platten- oder Kabelsand verwendet. Das angebotene Verfahren in der stationären Anlage sah vor, daß dem angelieferten Material aus der Produktion des Kieswerkes neuer Splitt beigegeben wurde. ... Die Aufbereitung schloß wiederum die Untersuchung der Materialproben und der einzelnen Fraktionen durch ein chem. Labor als Gutachter ein. Als Ergebnis wurde festgestellt, daß die aufbereiteten Materialien Sand und Splitt die wasserrechtlichen Güteermerekmale einhalten und als Recyclingmaterial uneingeschränkt verwendet werden können. Auch die im

Absetzschlamm enthaltenen Schadstoffwerte liegen unter den Zuordnungswerten der Deponieklasse I der TASI.

Vom angelieferten Altsplitt bzw. Kehrgut mußten ca. 3,5 % als Grobverunreinigungen zur Deponie gebracht werden. Rund 30 % konnte als Sand und ca. 55 % als Splitt wiederverwendet werden. Das restliche Feinmaterial von ca. 11,5 % gelangte als Schlamm aus der Gesteinswäsche in die Absetzbecken und wird nach der Entwässerung und

Trocknung zur Rekultivierung von Deponien verwendet. Die Gesamtkosten für die Aufbereitung, den Transport und die ordnungsgemäße Ablagerung der Reststoffe beliefen sich brutto auf 140,- DM/to angeliefertes Kehrgut.”

Eine weiterer Weg der Naßreinigung, der aus der Technologie der Bodenwäsche zur Altlastensanierung rührt und inzwischen auch in mobilen Anlagen möglich ist, bietet nach aktuellen Angeboten eine möglicherweise preislich noch günstigere Lösung,

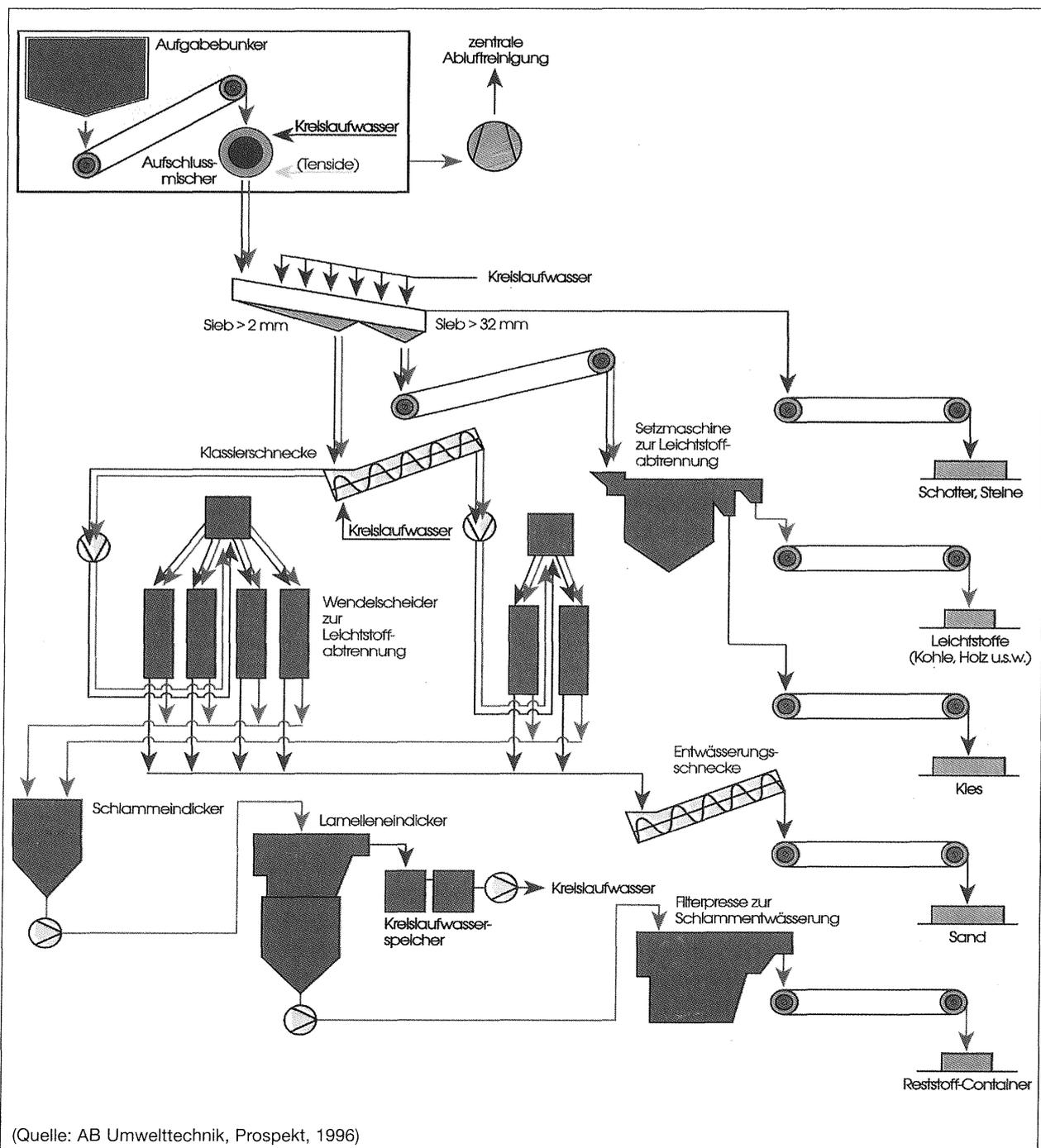


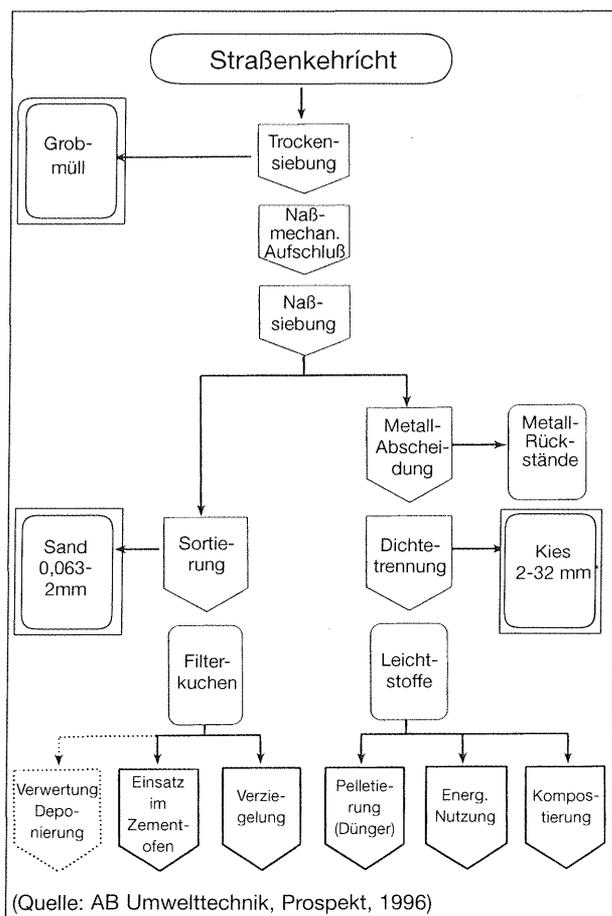
Bild 23: Fließschema einer Bodenwäsche

den aufgekehrten Streusplitt zu verwerten. Derartige Verfahren werden allgemein zur Reinigung von Straßenkehrriechten, aber auch für Streusplitt und Kanalsande oder Gemische aus diesen Materialien angeboten. In Berlin wird ein solches Verfahren z.Zt. (1996/97) in einem Großversuch an Straßenkehrriechten getestet [MÜLLER, 1997].

Das zu reinigende Material wird zunächst wiederum gesiebt, um den Grobanteil (ca. 10 %) zu entfernen. Dieser Anteil ist zu entsorgen. „Das abgeseibte Material wird dann im zweiten Behandlungsschritt gewaschen und dann in die Fraktionen wie Kies, Sand, Organik und Preßfilterkuchen aufgetrennt. ... Die Kiese und Sande (bei aufgenommenen Streusplitt) werden als marktgängiger Baustoff (Streusplitt), der gewaschene Organikanteil (Laub, Blätter etc.) wird mit oder ohne weitere Aufbereitung als Düngemittel oder Bodenverbesserer in der Landwirtschaft wiederverwertet. Die Belastungen werden im Preßfilterkuchen aufkonzentriert, der dann als Ersatzstoff für Ton zur Zementproduktion stofflich verwertet werden kann. Ebenso ist ein Einsatz dieses Materials für die Zie-

gelproduktion möglich. Sowohl bei der Zementproduktion, als auch bei der Herstellung von Ziegeln werden die organischen Schadstoffe verbrannt, die Schwermetalle in die mineralische Matrix eingebunden und damit immobilisiert.“ [AB Umwelttechnik, 1996] (Prinzipskizzen siehe Bilder 23 und 24) Anbieter derartiger Techniken bieten die Reinigung als Leistungspaket einschließlich der Entsorgung der Grobverunreinigungen, Einholen der wasserrechtlichen Genehmigungen und Vermarktung der Recyclingprodukte für Preise unter 100,- DM/ t an. In Berlin wurden in ersten Versuchen erreichbare Verwertungsquoten von 90 % - 95 % für Maschinenkehricht und ca. 75 % (mit steigender Tendenz) für Handreinigerkehricht ermittelt [MÜLLER, 1997].

Insgesamt bewegt sich bei der Naßreinigung der Anteil des aufgenommenen Streugutes, der einer Deponie zugeführt werden muß, in Richtung auf unter 10 %. Im Vergleich zum Trockenverfahren ist nach übereinstimmender Aussage sämtlicher vorliegenden Literaturstellen der wiedergewonnene Splitt auch als Streusplitt im Winterdienst einzusetzen, da der Feinstaubanteil offensichtlich als sehr gering bis nicht mehr vorhanden einzustufen ist.



**Bild 24:** Mögliche Verwertung von Straßenkehrriecht (einschließlich Streusplitt)

#### 5.4.4 Vergleichende Bewertung

Die Beurteilung der beschriebenen Verfahren zur Aufbereitung nach dem Winter wieder aufgenommen abstumpfenden Streugutes scheint das Kompostierverfahren - trotz relativ geringer Kosten - auszuschließen, da es sich bei diesem Verfahren nicht um ein echtes Recyclingverfahren handelt und der Vorgang der durch (zumindest zeitweiliges) Beimischen von Grünabfällen bewirkten „Verdünnung“ rechtlich zumindest bedenklich ist. Favorisiert und durchgeführt werden nach wie vor die Verfahren Naßreinigung und Trockenreinigung. Die Entscheidungsgründe für die Durchführung des einen oder anderen Verfahrens sind - neben den Verfahrenskosten - recht unterschiedlich. So wurde in Wien gegen die Naßreinigung entschieden, da der wiedergewonnene Restsplitt aus dem Naßverfahren noch erhebliche Mengen an Wasser enthielt. Im Winter bei Temperaturen unter 0 °C neigt dieser feuchte Splitt dann zum Gefrieren. „Der im Trockenverfahren gereinigte Splitt zeigt diesen Nachteil nicht und ist daher im Winterdienst ... problemlos verwendbar“. [STEINBAUER, 1993] Die Entscheidung fiel letztlich dahingehend, den eingekehrten Splitt ohne Aufbereitung als größeren Zuschlag für die Betonherstellung für den Ringwall der örtlichen Deponie zu verwenden. In Salzburg

z.B. fiel die Entscheidung zugunsten der Naßreinigung [WANNER, 1996].

In München wurde nach dem in Abschnitt 5.3.3 beschriebenen Ausflug in die Naßreinigung zur Trockenaufbereitung zurückgekehrt [STROBL, 1997]. In einer technisch verbesserten mobilen Anlage (mit Vorabsiebung, Trocknung, Klassierung und Sortierung) konnte der Anteil der wieder verwendbaren mineralischen Anteile auf über 87 % gesteigert werden. Weitere fast 7 % einer mineralischen Mischfraktion wurden für Rekultivierungszwecke eingesetzt, so daß der Gesamtanteil verwertbaren Materials auf 93,9 % gesteigert werden konnte. „Das Aufbereitungsverfahren bestand aus einer Kombination aus trocken-mechanischer Klassierung und pneumatischer Sortierung. Ohne eine besondere Vor- oder Grobabsiebung erfolgt die Trocknung des Materials durch ein prozeßgesteuertes Heißluftgebläse und daran anschließend die Klassierung in Grobverunreinigung und Kornklassen, die aber noch organische Anteile enthielten und staubbehaftet waren. Deshalb schloß sich hier die pneumatische Sortierung an, wobei hier die Staubanteile abgetrennt und mit der Abluft abgezogen wurden. Die staubhaltige Abluft wurde in einem Gewebefilter gereinigt, so daß der Grenzwert nach TA Luft von 20 mg/Nm<sup>3</sup> eingehalten wurde.“

Die Tendenz bei der Aufbereitung/Entsorgung von wieder aufgenommenem Streugut geht eindeutig dahin, das Material schon aus rechtlichen Gründen (Kreislaufwirtschaftsgesetz) nicht als Abfall anzusehen, sondern in den Güterkreislauf zurückzuführen und möglichst vollständig (als Baustoff, mit Einschränkungen als Streusplitt, zur Zementherstellung und sogar zur Bodenverbesserung / Rekultivierung) zu verwerten. Aus preislichen Gründen scheint - zumindest zum Zeitpunkt der Berichterstellung - das Waschverfahren in der modifizierten Form aus der Altlastensanierung die größten Aussichten zu haben, als Standardverfahren aus dem Wettbewerb der Systeme hervorzugehen, auch wenn verbesserte Trockenreinigungsverfahren den Anteil des zu entsorgenden Restes auf unter 10 % drücken konnten. Auch wenn aufgrund der Analyseenergebnisse neuester Untersuchungen die Schadstoffbelastung zumindest des Streusplittes aus Fußgängerzonen eine Deponierung zu erlauben scheint, erfordert das Kreislaufwirtschaftsgesetz eine Aufbereitung der aufgekehrten Materialien.

Anzumerken ist, daß eine Wiederaufbereitung zur Wiederverwendung meist nur dem Naturstein-

Splitt als abstumpfendem Streustoff vorbehalten ist; bei Verbrennungsrückständen etc. scheidet dies in der Regel aus [HANKE, 1993].

## 5.5 Kosten

Die Frage nach den Kosten des Einsatzes abstumpfender Streustoffe scheint in der Literatur mit einer gewissen Diskretion behandelt zu werden. Insbesondere im kommunalen Bereich liegt zwar eine Reihe von Publikationen über die Vorgehensweise bei der Berechnung der betrieblichen Winterdienstkosten vor, zumal das Kommunalabgabengesetz die Erhebung kostendeckender Gebühren solcher Dienstleistungen vorschreibt. Konkrete Zahlen insbesondere bezüglich eines Kostenvergleiches zwischen tauenden und abstumpfenden Streustoffen liegen nur sehr unzureichend vor.

Allgemein können Kosten und Wirtschaftlichkeit des Winterdienstes „in zwei Aspekte untergliedert werden: die Wirtschaftlichkeit des Betriebsdienstes, die durch die direkten Betriebskosten des Winterdienstes bestimmt wird, sowie die Wirtschaftlichkeit für die Allgemeinheit, die neben den direkten Betriebskosten auch die volkswirtschaftlichen Auswirkungen und Folgekosten berücksichtigt; letztere sind, insbesondere bei den Umweltauswirkungen, nicht in allen Fällen quantifizierbar.“ [FGSV, 1997]

PICHLER (1987) unterscheidet bei der gesamtwirtschaftlichen Beurteilung des Winterdienstes zwischen den Kosten, die von der Straßenbauverwaltung zu tragen sind, Straßennutzerkosten sowie Kosten durch die Umweltbelastung, und stellt allgemeine Abhängigkeiten auf. DURTH (1995) stellt fest, daß der Winterdienst volkswirtschaftlichen Nutzen erzeugt und führt Nutzen-Kosten-Nachweise für Autobahnen, Außerortsstraßen und den innerörtlichen Verkehr auf. Für eine volkswirtschaftliche Gesamtrechnung sind demnach insgesamt folgende Kosten und Wirkungen zu berücksichtigen:

- Betriebskosten des Winterdienstes
- Veränderung der Betriebskosten für die Verkehrsteilnehmer nach der Streuung durch Vermeidung von Staus, Einsparung an Kraftstoff, Zeitgewinn infolge höherer Reisegeschwindigkeiten
- Einsparung an Unfallkosten und Unfallfolgekosten
- Auswirkung auf die Wirtschaft: Vermeidung von Produktionsausfällen infolge Verspätung der Ar-

beitnehmer oder auf der Straße anzuliefernder Produktionsgüter, Einnahmeausfälle bei der Transportwirtschaft

- Kosten der Umweltbelastung durch Schäden an Pflanzen, Gewässern, Böden, Fahrzeugen und Bauwerken sowie durch Veränderungen bei Schadstoffemissionen durch den Verkehr

Auf diese Art umfassender Betrachtungen soll und kann hier allerdings nicht intensiver eingegangen werden, da insbesondere immer wieder die Kosten von „Umwelt“schäden im Sinne der Beeinträchtigung des biologischen Straßenumfeldes nicht quantifizierbar sind, zumal schon die Schäden und Belastungen selbst in Abhängigkeit vom Winterdienst schwer quantifizierbar sind. Gegenstand der Betrachtungen kann hier nur der betriebliche Aspekt der Winterdienstkosten sein, der direkt von dem jeweiligen Straßenbaulastträger finanziert werden muß.

Betrieblich wird die Wirtschaftlichkeit des Winterdienstes bestimmt durch:

- die Kosten der Streustoffe selbst (Beschaffung und Lagerung)
- die Kosten der Fahrzeuge und Geräte (Beschaffung/Abschreibung, Wartung, Betriebskosten)
- die Personalkosten (Einsatz und Bereitschaft)
- die Kosten für vorbereitende Maßnahmen des Winterdienstes
- die Kosten von Fremdleistungen (bei Vergabe abgegrenzter Aufgaben an Dritte [BLASK, 1989])

Dabei entstehen bei abstumpfender Streuung gegenüber einer Salzstreuung zusätzliche Kosten für:

- das Ausbringen
- das Wiederaufnehmen (Kehren)
- das Einsammeln und Lagern des Kehrgutes
- das Aufbereiten und Entsorgen des Kehrgutes
- das Reinigen der Grünflächen und der Entwässerungseinrichtungen nach der Winterperiode

Besonders die Kosten für das Ausbringen (Personal, Streustoffe, Fahrzeuge und Geräte) sind entscheidend von der Wahl des Streustoffes abhängig. Ein Beispiel mag dieses belegen [BLASK, 1989]:

Bei einer Streudichte von 10 g/m<sup>2</sup> Trockensalz auf einer 6 m breiten Fahrbahn erreicht ein Fahrzeug mit einer Ladekapazität des Aufsatzstreuers von 5 t eine Streulänge von ca. 83 km pro Einsatz, bei einer Streudichte von 15 g/m<sup>2</sup> immerhin noch von

ca. 55 km. Eine Netzlänge von 800 km in einer größeren Stadt kann so - bei einer Streudichte von 10 g/m<sup>2</sup> - mit 10 Einsatzfahrten abgedeckt werden, bei der Streudichte 15 g/m<sup>2</sup> wären 14,5 Einsätze erforderlich.

Bei Anwendung von abstumpfenden Streustoffen (BLASK legt hier „Granulat“ zugrunde) und einer Streudichte von 200 g/m<sup>2</sup> wird unter sonst gleichen Voraussetzungen nur eine Streulänge von 4,2 km pro Fahrzeugeinsatz erreicht, bei einer Streudichte von 100 g/m<sup>2</sup> von ca. 8,5 km. Zum Abstreuen von 800 km Netzlänge wären so rein rechnerisch 190 bzw. 95 Fahrzeugeinsätze erforderlich. „Die einzelnen Einsätze erfordern zwar kürzere Fahrzeiten, allerdings müssen noch die häufigeren Leerfahrten zum erneuten Beladen der Fahrzeuge hinzugerechnet werden, die pro Einzelfahrt in etwa die gleiche Zeitspanne wie bei der Streusalzanwendung erfordern...

Aus diesen Grunddaten läßt sich im Einzelfall leicht errechnen, welcher ein Fahrzeugpark eingesetzt werden muß, um innerhalb einer vorgegebenen Zeit eine bestimmte Straßenlänge abstreuen zu können.

Abstumpfende Stoffe müssen in größerer Dosierung aufgebracht werden. Ihr Vorteil der geringeren Beschaffungskosten wird hiermit wieder aufgehoben. Um bei dem oben aufgeführten Beispiel zu bleiben: Bei einer Streuung von 15 g Salz / m<sup>2</sup> gegenüber einer Streudichte von nur 100 g Splitt / m<sup>2</sup> dürfte Salz nahezu sieben Mal mehr kosten als Splitt, um bei nur einer Streuung - ohne Nachstreuung mit Splitt - auf gleiche Materialkosten zu kommen. Handelsübliches Streusalz hat einen Preis von ca. 120,- DM/t, Splitte sind für ca. 25,- DM/t zu erwerben. Wegen des höheren Verbrauchs ist eine wesentlich höhere Lagerhaltung notwendig... Überdies ist eine trockene Lagerhaltung notwendig, damit die Streustoffe streufähig bleiben. Hiermit ist ein wesentlich höherer Aufwand auch von Investitionen verbunden.“

Für den Außerortsbereich liegen konkrete Zahlen über den Vergleich Taustoffe / abstumpfende Stoffe vor. Für die bereits erwähnte Versuchsstrecke in der Schweiz [LINSI / LAMPERT, 1977; LAMPERT, 1980] wurde der Aufwand in Franken je m<sup>2</sup> und Jahr durch eine genaue Gegenüberstellung der Kosten für die einzelnen Winterdiensttätigkeiten ermittelt. Die Aufwendungen für Pfade (Räumen), Streuen (Salzen bzw. Splitten / Sanden), (Schnee-) Schleuder und Eishobel, Schneeabfuhr sowie

Splitträumung und Schachtreinigung beliefen sich im Mittel über eine fünfjährige Beobachtungszeit beim Winterdienst mit Salz auf damals -,84 Franken pro m<sup>2</sup> und Jahr, für den Winterdienst ohne Salz auf 2,32 Franken pro m<sup>2</sup> und Jahr. Dieses Verhältnis eines fast dreifachen (genau 2,76-fach) Aufwandes für einen Winterdienst ohne Salz gegenüber einem Winterdienst mit Salz wird für Außerortsstraßen (natürlich ohne Autobahnen) von verschiedenen Autoren bestätigt. So ermittelten z.B. SCHNEIDER (1986) die 2-5fachen Kosten und SPETH (1983) für Splitt-Versuchsstrecken „rund das Vierfache der sonst mit Salz aufgewendeten Kosten.“

Der kommunale Winterdienst ist aufgrund der gegenüber Außerortsstraßen etwas anderen gesetzlichen Grundlagen „eine Dienstleistung, vergleichbar mit sonstigen Leistungen, die die Gemeinde erbringen muß. Bei der Leistung entstehen Kosten, denen entsprechende Erträge gegenüberstehen müssen, ... unabhängig von der Frage, aus welchen «Topf» diese Erträge kommen.“ Dabei „schreibt das Kommunalabgabengesetz die Erhebung kostendeckender Gebühren ... zwingend vor.“ Die Dienstleistung Reinigung umfaßt als Winterwartung „insbesondere das Schneeräumen auf Fahrbahnen und Gehwegen“ sowie „das Bestreuen der Gehwege, Fußgängerüberwege und gefährlichen Stellen auf Fahrbahnen bei Schnee- und Eisglätte.“ „Mit zu den - bereits oben beschriebenen - Kosten des Winterdienstes gehören aber auch die Reinigung der Straßen von Resten abstumpfender Stoffe nach Beendigung der Winterdiensteinsätze: die sollten nicht einfach der allgemeinen Straßenreinigung zugeordnet werden... Nicht zu vergessen ist auch die Erfassung der Inanspruchnahme von Deponien im Rahmen der Ablagerung des aufgenommenen Gutes.“ [MERTENS, 1996]

Die genauen Kosten der Wiederaufnahme abstumpfenden Kehrgutes sind der Literatur nicht zu entnehmen. Die Kosten für die Aufbereitung liegen - wie verschiedenen Angeboten und Prospekten zu entnehmen ist - je nach Verfahren in der Größenordnung zwischen ca. 75,- DM und ca. 150,- DM pro Tonne angelieferten Streugutes. Hier ist zukünftig sicher eine weitere Absenkung infolge zunehmenden Wettbewerbes zu erwarten. Die Deponiekosten liegen zur Zeit der Berichterstellung nach vorliegenden Informationen durchschnittlich zwischen 200,- DM/t und ca. 500,- DM/t, in Einzelfällen werden 800,- DM/t verlangt. Die Kostenrelation für das Ausbringen von Salz gegenüber Splitt dürf-

te für Gemeinden in der gleichen Größenordnung liegen, wie sie oben für den Außerortsbereich beschrieben wurde. Obwohl die grundsätzlichen Randbedingungen somit in Kommunen bekannt sein dürften und z.T. auch Vergleiche von Sach- und Personalkosten über mehrere Winter vorliegen, werden konkrete Zahlen für den kommunalen Bereich in der Literatur nicht genannt. Selbst KEMPE (1985) kommt bei der Bewertung des in Erlangen durchgeführten alternativen Winterdienstes nur zu der grundsätzlichen Feststellung, daß - im Rahmen des alternativen Winterdienstes - „der Streudienst wesentlich teurer ist als die Verwendung von Streusalz.“

Verglichen werden nahezu ausschließlich Änderungen der jeweiligen Streu- bzw. Netzlängen, Reduzierungen der Streudichten, der Streugutverbrauch (auch über mehrere Jahre) u.a.m. (s. auch SCHNEEWOLF, 1985, 1990). Unter Abwägung der relevanten Kosten kommt die FGSV im neuen Merkblatt für den Unterhaltungs- und Betriebsdienst an Straßen, Teil: Winterdienst (1997) zu folgender Aussage:

“Obwohl die direkten Kosten für abstumpfende Stoffe niedriger liegen als für Salz, ergeben sich durch die wesentlich größeren Streumengen, die Notwendigkeit der Nachstreuungen sowie die zuvor genannten zusätzlichen Kosten für Wiederaufnahme, Entsorgung und Reinigung für die Streuung abstumpfender Stoffe insgesamt etwa die 5- bis 10-fachen Kosten im Vergleich zur Salzstreuung auf der gleichen Strecke.“

## 5.6 Rechtliche Würdigung

Im Gegensatz zu der umfangreichen, in Abschnitt 4 beschriebenen Rechtsprechung zu Auswirkungen abstumpfender Streuung auf das Rechtsgut „Gesundheit“ der Verkehrsteilnehmer liegen zur Frage der Entsorgung / Verwertung wieder aufgenommenen Streugutes oder der durch abstumpfende Streuung entstehenden zusätzlichen Kosten für den Bürger - als Folge einer Gebührenanhebung zur Kompensation dieser Kosten - keine im Rahmen dieser Literaturanalyse zugänglichen Urteile vor.

Die „höheren Kosten, die durch einen Verzicht auf Salz, d.h. ... durch einen stärker salzfreien, mit vermehrten Streudurchgängen verbundenen Winterdienst mit abstumpfenden Streustoffen entstehen“, sind allerdings auch „kein rechtlich schützenswer-

tes Argument.“ [WICHMANN, 1995] Denn „der Schutz der Umwelt ist nach der Sicherung des Friedens die wichtigste Aufgabe unserer Zeit“, und „wir haben die Verantwortung, die entscheidenden Aufgaben im Umweltschutz durch gezielte gemeinsame Überlebensstrategien zu bewältigen.“ [Bundesinnenminister ZIMMERMANN, Regierungserklärung vom 15. September 1983, zitiert von JORDAN, 1989]

Allerdings war bei der Reinigung von Fahrbahnen anfallendes Kehrut bereits nach dem Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (Abfallgesetz - AbfG) i.d.F.d. Bek. vom 27. August 1986 als Abfall anzusehen [GALLENKEMPER, 1994]. Denn „Abfälle im Sinne dieses Gesetzes sind bewegliche Sachen, deren sich der Besitzer entledigen will oder deren geordnete Entsorgung zur Wahrung des Wohls der Allgemeinheit, insbesondere des Schutzes der Umwelt, geboten ist.“ (§ 1 Abs. 1) Jedoch waren „Abfälle ... nach Maßgabe von Rechtsverordnungen aufgrund des § 14 Abs. 1 Nr. 3, 4 und Abs. 2 Satz 3 Nr. 2 bis 5 zu vermeiden.“ (§ 1a Abs. 1) § 14 Abs. 1 Nr. 4 ermächtigte die Bundesregierung, „zur Vermeidung oder Verringerung schädlicher Stoffe in Abfällen oder zu ihrer umweltverträglichen Entsorgung ... zu bestimmen, daß bestimmte Erzeugnisse nur in bestimmter Beschaffenheit, für bestimmte Verwendungen, bei denen eine ordnungsgemäße Entsorgung der anfallenden Abfälle gewährleistet ist, oder überhaupt nicht in Verkehr gebracht werden dürfen, wenn bei ihrer Entsorgung die Freisetzung schädlicher Stoffe nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand verhindert werden könnte.“ § 1a Abs. 2 formulierte außerdem: „Abfälle sind ... zu verwerten.“ Als Folge dieser Vorschriften des AbfG war der Einsatz abstumpfender Stoffe im Straßenwinterdienst - wegen des Gebotes der Abfallvermeidung - bereits seit einiger Zeit - grundsätzlich in Frage zu stellen.

Das zitierte Abfallgesetz war eine Folge der wirtschaftlichen und technischen Entwicklung. „Stetig zunehmende Abfallmengen schufen nicht nur technische und organisatorische Probleme. Auch die gesetzlichen Bestimmungen hatten sich diesen Gegebenheiten nicht mehr gewachsen gezeigt.“ [HOSCHÜTZKY / KREFT, 1985] Deshalb lagen bereits Ende der 80er Jahre der damaligen Fassung des Abfallgesetzes im Sinne eines „3-V-Gedankens - Vermeidung - Verringerung - Verwertung“ [MÜLLER, 1989] als Eckpunkte

- „Vorrang von Abfallvermeidung und Verwertung vor der übrigen Entsorgung;

- Betonung der Verantwortung von Produzenten für die Entsorgung der anfallenden Abfälle, und zwar nicht nur der Produktionsabfälle, sondern auch der Konsumabfälle;
- Verpflichtung des Bundes, einheitliche Anforderungen an die Abfallbeseitigung nach dem Stand der Technik aufzustellen (Technische Anleitung Abfall - TA Abfall).“

[WAGNER, 1989] zugrunde. Die aktuelle und für Kommunen verbindliche Version der hier angesprochenen TA Abfall liegt seit dem 14. Mai 1993 in Form der Dritten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall) vor. Die TA Siedlungsabfall definiert Deponien als „Abfallentsorgungsanlagen, in der Abfälle zeitlich unbegrenzt oberirdisch abgelagert werden“ und unterscheidet nach zwei Deponieklassen, die sich im wesentlichen hinsichtlich des organischen Anteiles und der Schadstoffbelastung des Abfalles unterscheiden. Bei der Deponiekategorie I handelt es sich um eine „Deponie, in der Abfälle abgelagert werden können, die einen sehr geringen organischen Anteil enthalten und bei denen eine sehr geringe Schadstofffreisetzung im Auslaugungsversuch stattfindet.“ Die Deponiekategorie II umfaßt Deponien, in denen „Abfälle gelagert werden können, die einen höheren organischen Anteil enthalten als die, die auf Deponien der Klasse I abgelagert werden dürfen, und bei denen auch die Schadstofffreisetzung im Auslaugungsversuch größer ist als bei der Deponiekategorie I; zum Ausgleich sind die Anforderungen an den Deponiestandort und an die Deponieabdichtung höher.“ Die Zuordnung von Abfällen zu den Deponieklassen erfolgt anhand definierter Zuordnungskriterien (Anhang B der TA Siedlungsabfall), in denen neben bodenmechanischen Festigkeitswerten der organische Anteil, extrahierbare lipophile Stoffe sowie eine Reihe von Eluatkriterien festgelegt werden. Die Eluatkriterien enthalten u.a. einige Schwermetalle, TOC, AOX, Ammonium-N sowie leicht freisetzbare Cyanide. Diesen Kriterien unterliegen auch wieder aufgenommene abstumpfende Streustoffe, ebenso die aus einer Aufbereitung verbleibenden Reststoffe.

Das Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrW-/AbfG) vom 12. September 1996 ersetzt und verschärft gleichzeitig die Regelungen des AbfG von 1986. § 3 Abs. 1 definiert: „Abfälle im Sinne dieses Gesetzes sind alle beweglichen Sachen, die unter die in Anhang 1 aufgeführten Grup-

pen fallen und deren sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muß. Abfälle zur Verwertung sind Abfälle, die verwertet werden; Abfälle, die nicht verwertet werden, sind Abfälle zur Beseitigung." Anhang 1 listet insgesamt 16 Abfallgruppen auf. Die erste und die letzte der aufgeführten Gruppen zeigen auf, wie umfassend der Katalog der beweglichen Sachen ist, die als Abfall anzusehen sind. Die folgende Aufzählung gibt einige Beispiele:

- "Q1 Nachstehend nicht näher beschriebene Produkte oder Verbrauchsrückstände
- ....
- Q 5 Infolge absichtlicher Tätigkeiten kontaminierte oder verschmutzte Stoffe
- ....
- Q7 Unverwendbar gewordene Stoffe
- ....
- Q12 Kontaminierte Stoffe
- .....
- Q 15 Kontaminierte Stoffe oder Produkte, die bei der Sanierung von Böden anfallen
- Q 16 Stoffe oder Produkte aller Art, die nicht einer der oben erwähnten Gruppen angehören"

Der zweite Teil des KrW-/AbfG umfaßt Grundsätze und Pflichten der Erzeuger und Besitzer von Abfällen sowie der Entsorgungsträger. In § 4 „Grundsätze der Kreislaufwirtschaft“ wird in Abs. 1 das Vermeidungsgebot noch deutlicher als im AbfG formuliert: „Abfälle sind

1. in erster Linie zu vermeiden, insbesondere durch die Verminderung ihrer Menge und Schädlichkeit,
2. in zweiter Linie
  - a) stofflich zu verwerten oder
  - b) zur Gewinnung von Energie zu nutzen (energetische Verwertung)."

Mehr noch als bislang ist somit in Frage zu stellen, ob abstumpfende Stoffe rechtlich als Streustoff überhaupt akzeptiert werden dürfen. Über die beschriebenen normativen Grundlagen hinaus sind weitere Verwaltungsvorschriften bei der Durchführung der erforderlichen Aufbereitung zu beachten, für eine Betriebserlaubnis für Anlagen zur Trockenreinigung z.B. die TA Luft, bei der Einleitung von Waschwässern die Regeln der allgemeinen Rahmen-Verwaltungsvorschrift über Mindestanforderungen an das Einleiten in Gewässer - Rahmen-AbwasserVwV - oder entsprechende Satzungen der jeweiligen Kommune über das Einleiten von

Abwässern in die Kläranlage. „Auf der Grundlage der obigen rechtlichen Ausführungen (s. auch Abschnitt 4.3) sollte der Rat einer Kommune festlegen, welches Streumittel einzusetzen bzw. verboten ist. Dies kann durch generelle Entscheidung in der Straßensatzung oder durch Beschluß im Einzelfall geschehen.“ [WICHMANN, 1995]. Dabei ist sicher zwischen Fahrbahnen, Radwegen und Gehwegen zu differenzieren. „Der Hauptverwaltungsbeamte muß dann in Umsetzung eines derartigen Ratsbeschlusses das Stadtreinigungsamt innerdienstlich anweisen.“

## 6 Mögliche weiterführende Untersuchungen

Die vorliegende, vom Arbeitskreis 3.14.3 „Kommunaler Winterdienst“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, gleichzeitig Fachausschuß „Winterdienst“ im Verband Kommunale Abfallwirtschaft und Stadtreinigung e.V., initiierte Untersuchung: „Umweltauswirkungen abstumpfender Streustoffe im Winterdienst (Literaturanalyse)“ hatte als Ziel, den aktuellen Kenntnisstand zu dieser Fragestellung - soweit möglich - im Sinne einer Öko-Bilanz aufzubereiten. Wegen der Komplexität der Aufgabenstellung war vorgesehen, in einem ersten Teil zunächst eine Literaturanalyse durchzuführen. Daraus waren möglichst allgemein gültige Aussagen und Empfehlungen für ihren Einsatz im Straßenwinterdienst abzuleiten. Aus dem Arbeitsergebnis zusätzlich abzuleitende, weiterführende Untersuchungen waren weiteren, zeitlich und thematisch begrenzten Teilschritten vorbehalten.

Die vorhergehenden Abschnitte 2 bis 5 lassen eine Reihe von Fragen offen, die bei einer umfassenden Beschreibung der Auswirkungen abstumpfender Streustoffe auf die Umwelt in dem weitgespannten Sinne einer Öko-Bilanz noch zu beantworten wären. Der gesamte Weg abstumpfender Stoffe von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung, Lagerung, Ausbringung, Aufnahme, Aufbereitung / Entsorgung sowie die potentielle weitere Verwendung einschließlich aller erforderlichen Transportwege mit seinen mittelbaren und unmittelbaren Auswirkungen sowie jeweiligen eingesetzten Energiemengen läßt sich aus der Literatur nicht hinreichend nachzeichnen.

Offene Fragen, die einen zusätzlichen Untersuchungsbedarf begründen könnten, sind z.B.:

- Auswirkungen abstumpfender Stoffe auf das Straßenbegleitgrün  
Über die Auswirkungen verschiedenster Art auf das Straßenbegleitgrün liegen nur vage Vermutungen oder Beobachtungen vor. Den vereinzelt Hinweisen auf solche Schädigungen sollte gezielt nachgegangen und diese zu einer allgemeinen Beurteilung zusammengeführt werden.
  - Ermittlung der Zusatzkosten durch mechanische Auswirkungen abstumpfender Streustoffe  
Es scheint aufgrund der vorliegenden Publikationen fraglich, ob in der Abschnitt 3.2 beschriebene erhöhte Verschleiß von Fahrmarkierungen quantifizierbar ist. Für die Kosten der zusätzlich erforderlichen Reinigung von Entwässerungseinrichtungen (zum Vermeiden von Verstopfungen), von Banketten u.ä. auf Außerortsstraßen liegen keine konkreten Zahlenwerke vor, ebenso für die im Bericht erwähnten Verschmutzungen von Entwässerungsanlagen in Kommunen sowie von Kläranlagen.
  - Ermittlung der Kosten durch Verwendung abstumpfender Streustoffe im kommunalen Winterdienst  
Es liegen in vielen Städten Berichte über die Kosten eines Winterdienstes mit abstumpfenden Stoffen vor, die einer Literaturrecherche nicht zugänglich sind. Viele dieser Berichte (s. Abschnitt 5.4) vergleichen Kosten unter dem Aspekt „Winter mit Salz = vorher / Winter ohne Salz = nachher“, z.T. möglicherweise auch unter Berücksichtigung der jeweiligen politischen Situation der Ausschusses, dem der Bericht vorzulegen ist. Eine objektive Zusammenstellung der Daten aus diesen zumeist internen Berichten unter Einbeziehung der inzwischen realistisch zu beurteilenden Winterstrenge könnte die Diskussion des zu wählenden Streustoffes im Zeichen knapper Kassen erheblich in Bewegung bringen.
  - Bewertung von Verfahren zur Aufbereitung wieder aufgenommenen abstumpfenden Streugutes  
Auch hier gilt, was zur Frage der Kosten bereits ausgeführt wurde: Es gibt viele interne Berichte über Aufbereitungsverfahren, in denen auch - wie bei den im Bericht zitierten Münchener Großversuchen - Streustoffe unter kontrollierten Bedingungen (begleitende Laboruntersuchungen u.a.m.) zur Wiederverwertung aufbereitet wurden. Auch wird in den meisten dieser Berichte eine Kostenabwägung angebotener Verfahren oder zumindest eine Kostenaufstellung für durchgeführte Reinigungen durchgeführt. Die Auswertung einer größeren Anzahl solcher Berichte könnte die abschließende Bewertung der verschiedenen angebotenen Verfahren beschleunigen.
  - Auswirkung der Umweltgesetzgebung auf die Anwendung und Verwertung abstumpfenden Streugutes  
Für den Außerortsbereich gibt es eine Untersuchung zur Auswirkung der Umweltgesetzgebung auf den Straßenbetriebsdienst. Ein vergleichbares Vorhaben im Innerortsbereich kann z.T. vorhandene Unsicherheiten bezüglich der Beurteilung vor allem der Vermeidung von Abfällen und ihrer sachgerechten Verwertung klären helfen.
- Obwohl eine Reihe von Fragen nur unvollständig beantwortet werden konnte und es Ansätze für weiterführende Untersuchungen gibt, erscheinen die Grundlagen für die zu erarbeitenden Empfehlungen (s. Abschnitt 7) dennoch ausreichend abgesichert. Es sind Empfehlungen möglich zur Auswahl geeigneter Streustoffe, es können Empfehlungen ausgesprochen werden zum Einsatz abstumpfender Streustoffe sowohl auf Außerortsstraßen als auch innerorts.
- Die ursprüngliche Absicht, in einem 2. Teil der Untersuchung die für eine umfassende Öko-Bilanz abstumpfender Streustoffe noch nicht hinreichend belegbaren Faktoren, wie z.B. Fragen des erforderlichen Energieeinsatzes für Gewinnung, Transport, den Einsatz abstumpfender Stoffe sowie Wiederaufnahme und Reinigung nach der Winterperiode, einer Klärung zuzuführen, wird in Anbetracht der vielen, bereits bekannten Nachteile für nicht erforderlich gehalten.
- Weiterführende Untersuchungen bleiben deshalb dem individuellen Interesse von Anwendern vorbehalten, ein allgemeines Interesse ist auch im Hinblick auf die zu erwartenden Kosten solcher - oben aufgezählter - Untersuchungen nicht zu bejahen.

## 7 Einsatz abstumpfender Streustoffe

Als wesentliches Ergebnis der Literaturanalyse ist festzustellen, daß der Einsatz abstumpfender Streustoffe im Winterdienst, insbesondere im Straßenwinterdienst aus ökonomische, verkehrstechnischen und juristischen Gründen grundsätzlich nicht zu empfehlen ist. Aus unterschiedlichen Gründen kann es zweckmäßig sein, dennoch abstumpfende Streustoffe einzusetzen. Für diesen Fall werden im Folgenden Empfehlungen für die Auswahl eines geeigneten Streustoffes sowie Hinweise für den Einsatz gegeben.

### Auswahl des Streustoffes

- Fahrbahnen und Radwege sollten nicht mit Sand abgestumpft werden, da diese die Griffigkeit nur unzureichend erhöhen (s. Abschnitt 2.2). Die Verwendung von Sanden auf Gehwegen ist dagegen unkritisch.
- Sande und Kiese aus Flußentnahmen sollten - auch in granulierter (gebrochener) Form - nur nach vorheriger chemischer Untersuchung eingesetzt werden, da sie gegenüber anderen natürlichen Gesteinen hohe Schwermetallanlagerungen aufweisen können (s. Abschnitt 4.4.3).
- Aufgrund ihrer geringen Abriebfestigkeit sollten keine gebrochenen Bauschutte (Betonrecycling-Splitt o.ä.) eingesetzt werden (s. Abschnitt 4.2.3).
- Da sich andere Streustoffe einer Aufbereitung nach Wiederaufnahme häufig entziehen, sollten als abstumpfende Streustoffe ausschließlich gebrochene Naturgesteine verwendet werden. Auf sogenannte „Granulate“, d.h. gebrochene (granulierte) Schlacken (Verbrennungsrückstände) und andere Nebenprodukte aus verschiedenen industriellen Prozessen, sollte möglichst verzichtet werden (s. Abschnitt 5.3.4).

Insgesamt ist zu empfehlen, bei der Beurteilung abstumpfender Streustoffe im Rahmen von Beschaffungen auf die als Entwurf vorliegenden „Technische Lieferbedingungen und Richtlinien für Streustoffe des Straßenwinterdienstes - TLStreu -“ zurückzugreifen [AA 3.14, 1997].

### Hinweise für den Einsatz

Allgemeine Einsatzempfehlungen:

- Werden abstumpfende Streustoffe auf Fahrbahnen eingesetzt, so ist eine Mindeststreuichte von  $100 \text{ g/m}^2$  erforderlich, um überhaupt eine

meßbare Verbesserung des Kraftschlußbeiwertes zu erzielen [WEHNER, 1960]. Als Regelstreuichte ist eine Menge von etwa  $150 \text{ g/m}^2$  zu empfehlen [FGSV, 1997]. Bei mehrfacher Nachstreuung reicht eine Streuichte von  $80 \text{ g/m}^2$ , um das Gleitbeiwertniveau dauerhaft (nach ca. 200 - 400 Überfahrten) bei  $\mu = 0,3$  zu halten.

- Auf eisglatten Fahrbahnen sind abstumpfende Streustoffe ungeeignet.
- Werden abstumpfende Streustoffe eingesetzt, so wird dringend empfohlen, sie möglichst frühzeitig wieder aufzunehmen. Diese Empfehlung ist zum einen damit begründet, daß auf der aperioden Fahrbahn verbleibendes Streugut den Kraftschlußbeiwert nachhaltig niedrig hält (Werte um  $\mu = 0,4$ ) [HOFFMANN, 1985], zum anderen mit der erhöhten Staubbildung, wenn das Streugut durch den Verkehr einem weiteren Abrieb unterliegt [LASKUS et. Al., 1991; HOLNSTEINER, 1995].
- Die Entscheidung über den Einsatz von abstumpfendem Streugut hängt im Wesentlichen von den folgenden Kriterien ab:
  - Straßenkategorie  
außerorts: Autobahnen, Bundes-, Landes- und Kreisstraßen  
innerorts: Durchgangsstraßen, Hauptverkehrsstraßen, Sammelstraßen, Wohnstraßen
  - Verkehrsstärke
  - Besondere Verkehre  
Strecken für den ÖPNV, Schulbusstrecken, Rettungsdienste (Zufahrten zu Krankenhäusern, Feuerwachen etc.), Zufahrten zu Industrie- und Gewerbegebieten
  - Besondere Gefahrenstellen  
Steigungs- und Gefällestrecken; gefährliche Kurven, Engstellen, Kreuzungen und Einmündungen; Stellen mit besonderer Glättebildung (Brücken, Wald- und Schattenstrecken)

Streustoff-Einsatz auf Außerortsstraßen:

In der Literatur wird eine Reihe von Kriterien aufgezählt, die Grundlage für die Aufnahme einer Straße in ein „weißes Netz“ sind.

Generell ist zu sagen, daß für Bundesautobahnen der Einsatz abstumpfender Stoffe aus verschiedenen Gründen (Verkehrssicherheit, Kosten, Aufrechterhaltung der Grundversorgung) nicht zu vertreten ist. Ein Verzicht auf Streusalz ist aus den gleichen Gründen im übrigen Außerortsbereich nur in Aus-

nahmefällen möglich, vor allem dort, wo es die meteorologischen Verhältnissen zulassen, über längere Zeit eine schneebedeckte Fahrbahn zu erhalten.

In dem „Merkblatt für den Unterhaltungs- und Betriebsdienst an Straßen, Teil: Winterdienst“ werden aus den Erfahrungen des In- und Auslandes für die Einstufung in das weiße Netz mit Verzicht auf Streusalz folgende, allgemein gehaltene Kriterien formuliert:

- Strecken mit geringer Verkehrsbedeutung und -belastung (bis ca. 2.000 Fz(24 h)
- Strecken mit flacher und gerader Trassierung (ohne große Längsneigungen und enge Kurven
- Strecken mit mittleren Fahrbahnbreiten
- Strecken mit einer Möglichkeit zur Umfahrung über andere Strecken
- Strecken ohne Unfallhäufungspunkte oder besondere Gefahrenstellen
- Strecken ohne besondere Verkehre (z.B. Schul- oder Linienbusse)

Diese Kriterien werden in Forschungsarbeiten zum Teil wie folgt spezifiziert:

- Die Verkehrsbelastung wird z.B. bei HANKE / LEVIN (1988) nur mit 1.000 Fz/d bis 1.500 Fz/d angegeben; zusätzlich wird gefordert, daß der Lkw-Anteil gering ist. DEDIC (1985) hält eine Weißbräumung für möglich, wenn der DTV generell geringer ist als 1.000 Fahrzeuge, oder aber wenn bei einem DTV bis zu 3.000 Fahrzeugen der Lkw-Anteil kleiner ist als 200 Fahrzeuge.
- Die Breite von Fahrbahnen, die in ein weißes Netz aufgenommen werden können, wird von HANKE / LEVIN (1988) mit 5,5 m bis 7 m angegeben.
- GIESA (1984) schließt Straßen mit Längsneigungen über 8 % aus, ein Wert der von JUNGINGER (1986) bestätigt wird (s. Abschnitt 2.4). HANKE / LEVIN (1988) begrenzen die für weiße Netze höchstens zulässige Längsneigung sogar auf 7 %.
- SCHLATTER (1983) stellt für die Schweiz fest, daß meteorologische Verhältnisse, die den Einsatz von abstumpfenden Stoffen erlauben, nur in Berggebieten über 1.500 m bis 1.800 m ü. NN anzutreffen sind.

Derartige Bedingungen erfüllt nur ein sehr geringer Teil der Strecken außerhalb geschlossener Ortslagen; sie müssen im einzelnen Anwendungsfall für die jeweiligen örtlichen Gegebenheiten gesondert überprüft werden. Zusätzlich ist anzumerken, daß für ein weißes Netz ausgesuchte Strecken für den

Verkehrsteilnehmer besonders zu kennzeichnen und während des Winters intensiv zu beobachten sind. Bei besonderen Wetterlagen (Reif- und Eisglätte) ist aus Gründen der Verkehrssicherheit auch auf den Strecken des weißen Netzes Salz zu streuen.

Die Streuung abstumpfender Stoffe eignet sich besonders für hochgelegene Strecken in schneereichen Gebieten, auf denen für eine längere Zeit eine geschlossene Schneedecke gehalten werden kann. Die abstumpfende Streuung muß in regelmäßigen Abständen kontrolliert und wiederholt werden, insbesondere wenn das Streugut tief in die Schneedecke eingedrückt wurde und/oder Neuschnee gefallen ist.

Streustoff-Einsatz auf Innerortsstraßen:

In Kommunen erhöht die „Verwirklichung eines umweltfreundlichen Winterdienstes ... zwangsläufig auch die Anforderungen an den Räum- und Streupflichten“ [SCHLUND, G.H. 1989]. Deshalb ist im Innerortsbereich ein besonders kritischer Umgang mit dem an gefährlichen und verkehrswichtigen Stellen einzusetzenden Streustoff erforderlich. Ein Einsatz abstumpfender Stoffe auf Fahrbahnen ist überall dort auszuschließen, wo aus Gründen der Verkehrssicherheit und des Verkehrsflusses ein höherer Kraftschluß zwischen Fahrzeug und Fahrbahn erreicht werden muß. Dies sind

- „Klassifizierte Straßen und (sonstige) Durchgangsstraßen
- Hauptverkehrs- und Hauptsammelstraßen, Straßen mit hoher Verkehrsbelastung
- Straßen mit besonderen Verkehren (ÖPNV, Rettungsdienste, Industrie- und Gewerbegebiete)
- Besondere Gefahrenstellen (Steigungsstrecken, Engstellen, besondere Knotenpunkte, Brücken, Punkte mit besonderer Glättegefährdung)
- besonders stark frequentierte Parkplätze oder solche mit Gefahrenstellen

In der Regel entspricht dies den obersten Dringlichkeiten“ des Winterdienst-Merkblattes. [FGSV, 1997]

Auf der Basis der Ergebnisse der Literaturanalyse ist aus verkehrlicher, wirtschaftlicher und nicht zuletzt ökologischer Sicht auch zu empfehlen, auf die Streuung abstumpfender Streustoffe auf Innerortsstraßen grundsätzlich zu verzichten. Darüber hinaus sollte auf allen Verkehrsflächen, auf denen aus rechtlichen Gründen keine Streuung erforderlich ist, grundsätzlich auf den Einsatz jeglicher Streu-

stoffe verzichtet werden. Weitergehende Empfehlungen sind in der VKS-Informationsschrift 29 „Differenzierter Winterdienst im kommunalen Bereich“ formuliert.

Auf Radwegen, soweit sie gesondert geführt sind und dort Winterdienst durchgeführt wird, können bei guter Reinigungsqualität (besenrein) Streustoffe in vielen Fällen auch ganz entfallen. Im Bedarfsfall sollte mit geeigneten (abstumpfenden) Stoffen mit hoher Streudichte gestreut werden.

Auf Fußgängerüberwegen sind grundsätzlich die gleichen Streustoffe einzusetzen, die auf dem entsprechenden Straßenzug zur Anwendung gelangen.

Der Winterdienst auf Gehwegen ist in der Regel durch die Ortssatzung auf die Anlieger abgewälzt. Außer an besonderen Gefahrenstellen (Treppen, Steigungen) sollte Winterglätte auf Gehwegen abstumpfend beseitigt werden; die Art des Streustoffes sollte nach der einschlägigen Rechtsprechung in den Ortssatzungen verankert sein [SCHLUND, G.H. 1989].

## 8 Zusammenfassung

In der Bundesrepublik Deutschland tragen die Straßen den weitaus größten Anteil am Personen- und Güterverkehr. Auch ein erheblicher Teil des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) wird über die Straßen abgewickelt. Ein funktionsfähiges Straßennetz ist sowohl für den einzelnen Bürger als auch für die gesamte Volkswirtschaft von existentieller Bedeutung. Es muß nicht nur baulich sondern auch betrieblich stets in einem dem Bedarf entsprechenden Zustand erhalten werden.

Winterglatte Fahrbahnen behindern und gefährden den Verkehr. Die Straßengesetze des Bundes und der Länder fordern, daß Außerortsstraßen bei Winterglätte nach besten Kräften geräumt und gestreut werden. Für Städte und Gemeinden ergibt sich die Verpflichtung zum Winterdienst auf Grund der Landesstraßengesetze bzw. der Straßenreinigungsgesetze der Länder sowie der darauf basierenden örtlichen Satzungen.

Zusätzliche Anforderungen ergeben sich aus der Verkehrssicherungspflicht nach dem Bürgerlichen Gesetzbuch. So gibt es auf Außerortsstraßen nach der Rechtsprechung eine Streupflicht für „besonders gefährliche Stellen“ der Straßen. Das sind

Stellen, an denen Anlage und Zustand der Straße die Bildung von Glätte derart begünstigen oder seine Wirkung in einer Weise erhöhen, daß diese besonderen Verhältnisse von einem Kraftfahrer trotz der beim Fahren auf winterlichen Straßen von ihm zu fordernden erhöhten Sorgfalt nicht oder nicht rechtzeitig zu erkennen sind. Innerorts besteht eine Streupflicht auf Fahrbahnen einschließlich der Radwege nur an Stellen, die sowohl gefährlich als auch verkehrswichtig sind.

In der Diskussion um einen „umweltfreundlichen“ Winterdienst kommt abstumpfenden Streustoffen besonders in Kommunen erhebliche Bedeutung zu. Häufig werden abstumpfende Streustoffe als Alternative angesehen, die dem Einsatz von tauenden Streustoffen vorzuziehen ist. Auswirkungen abstumpfender Streustoffe auf die Umwelt sind kaum bekannt, in Fachkreisen bekannte Auswirkungen nur zum geringen Teil einer breiteren Öffentlichkeit. Das Bundesministerium für Verkehr übertrug deshalb der Bundesanstalt für Straßenwesen die Aufgabe, eine entsprechende Literaturanalyse zu „Umweltauswirkungen abstumpfender Streustoffe des Straßenwinterdienstes“ durchzuführen. Mittels einer vergleichenden Bewertung und kritischen Beurteilung von insgesamt 235 Publikationen wurden allgemein gültige Aussagen über Umweltauswirkungen abstumpfender Stoffe erarbeitet.

Die durchgeführte umfassende Betrachtung der Umwelt entfernt sich von der alten Diskussion der Gratwanderung im Spannungsfeld zwischen Verkehrssicherheit und Umweltschutz und bezieht die Verkehrsgefährdung des Menschen in einer erweiterten Umweltbetrachtung mit ein.

### Wirkungsweise abstumpfender Stoffe

Abstumpfende Stoffe wirken mechanisch. Sie liegen zunächst auf der Glätteschicht auf und verzahnen sich mit der Oberfläche. Auf diese Weise wird die Griffigkeit winterlicher Fahrbahnen erhöht. Systematische Griffigkeitsmessungen auf winterglatten Fahrbahnen führten zu Erkenntnissen, in welchem Maße der Kraftschluß auf winterlichen Fahrbahnen durch abstumpfende Streustoffe verbessert werden kann und welche Streustoffe und Streudichten zweckmäßig sind.

Gleitbeiwerte auf winterglatten Oberflächen sind in einem Bereich von 10 km/h - 60 km/h nahezu konstant und steigen mit zunehmender Geschwindigkeit leicht an. Mit geringen Streudichten sind kaum

Verbesserungen der Griffigkeit auf Glätte zu erzielen. Erst eine Streudichte von  $100 \text{ g/m}^2$  ergibt eine merkbare Erhöhung der Gleitbeiwerte. Besonders gering ist die abstumpfende Wirkung von Sand. Die Verbesserungen der Gleitbeiwerte, die durch abstumpfende Streustoffe erreicht werden können, liegen in der gleichen Größenordnung wie die auf verschiedenen Glätteschichten auftretenden Schwankungen. Der zeitliche Verlauf der Wirkung abstumpfender Streustoffe unterliegt unterschiedlichsten Einflüssen. Der Einfluß des Verkehrs - das Streugut wird aus den Rollspuren hinausgefahren - zeigt sich darin, daß der Kraftschlußbeiwert nach dem Streuvorgang innerhalb kurzer Zeit und der Überfahrt von nur 200 - 400 Fahrzeugen wieder auf den vorherigen Wert absinkt. Nach der Glätteperiode auf der Fahrbahn verbleibendes abstumpfendes Streugut senkt das Kraftschlußangebot gegenüber dem einer sauberen Fahrbahn erheblich.

Die physikalischen Auswirkungen des verringerten Kraftschlußangebotes erlebt ein Kraftfahrer im täglichen Verkehr. Bei der in geschlossenen Ortschaften zulässigen Geschwindigkeit von  $50 \text{ km/h}$  kann z.B. der Bremsweg von ca.  $14 \text{ m}$  auf trockener Fahrbahn auf bis zu  $50 \text{ m}$  auf schneebedeckter, abgestreuter Fahrbahn ansteigen. Kraftfahrer, die auf trockener Strecke mit einer Geschwindigkeit von  $50 \text{ km/h}$  fahren, müßten ihre Geschwindigkeit auf winterlichen Fahrbahn mit Glatteis um ca. die Hälfte verringern, um innerhalb der gleichen Strecke zum Stehen zu kommen. Um z.B. Kurven mit Radien von  $20 \text{ m}$  ohne Probleme durchfahren zu können, muß die Geschwindigkeit (auf ebener Strecke) auf glatten, abgestreuten Fahrbahnen auf ca.  $15 - 20 \text{ km/h}$  reduziert werden gegenüber möglichen  $40 \text{ km/h}$  auf nassen Straßen.

### **Auswirkungen auf die Umwelt**

Unmittelbare chemische Wirkungen auf das Straßenbegleitgrün gehen von abstumpfenden Stoffen nicht aus. Ablagerungen auf angrenzenden Flächen können jedoch Schäden am Straßenbegleitgrün hervorrufen und die Qualität insbesondere von landwirtschaftlich genutzten Böden verschlechtern. Mechanische Beschädigungen verursachen Beeinträchtigungen der Blattgröße, frühe Laubvergilbung und zeitigen Laubfall.

Negative chemische Auswirkungen auf die Qualität von fließenden oder stehenden Gewässern oder gar von Grundwasser gehen von abstumpfenden Streustoffen nicht aus.

Schädigungen der Fauna in Straßenrandböden oder im Bankett sind nicht bekannt. Weidendes Vieh meidet an Splittstreustrecken angrenzende Weideflächen. Der Vorgang des „Wundlaufens“ der Pfoten von Haustieren ist eine Folge des Mischens von Taustoffen und abstumpfenden Stoffen.

Nachteilige Wirkungen von abstumpfenden Stoffen auf Fahrbahndecken (Beton oder Asphalt) sind nicht bekannt. An Fahrbahnmarkierungen wurde vorzeitiger Verschleiß beobachtet. Durch abstumpfendes Streugut werden Entwässerungsanlagen von Straßen und Brücken verstopft, ebenso werden Einlaufschächte und Rohrleitungen, Rinnen und Gräben (vornehmlich im Außerortsbereich) zugeschwemmt. Nicht geeignet sind abstumpfende Stoffe auf offenporigen Fahrbahnbelägen (Drän- oder Flüsterasphalt), da sie die Poren zusetzen und so die Funktion dieser Beläge aufheben. Durch den Einsatz abstumpfender Streustoffe kommt es als Folgeerscheinung zu Aufhöhungen der Bankette und somit zu einer erhöhten Aquaplaningefahr.

Abstumpfende Stoffe können aufgrund ihrer Kornstruktur beim Ausbringen und durch Aufwirbeln an fahrenden und parkenden Fahrzeugen den Lack schädigen und als sekundäre Folge Korrosionsschäden hervorrufen. Kritisch ist auch der Staub, der bei Verwendung abstumpfender Streustoffe entsteht, in die Lager von Streustoffbehältern und Fahrzeugen gelangt und diese festsetzen kann.

Streusplitt wird durch Verkehrseinwirkung zum Teil zu Feinstaub zermahlen und am Fahrbahnrand sowie auf unbefahrenen Trennflächen abgelagert. Nach dem Abtrocknen wird Feinstaub in Aerosolgröße aufgewirbelt. Diese Beeinträchtigungen der Luftqualität in Städten treten dann auf, wenn aufgrund der allgemeinen Wetterlage eine Smogsituation zu befürchten ist. Das Risiko einer Staublunge bei häufig zum Einsatz mit Handkehrgeräten eingesetztem Personal steigt. Die zusätzliche Staubbelastung durch zermahlendes Streugut stellt für Verkehrsteilnehmer und Anrainer eine reale Beeinträchtigung des Lebensumfeldes dar. Eine gesundheitliche Beeinträchtigung sowohl von Passanten als auch von Anwohnern stark befahrener, mit Splitt abgestreuter Straßen durch Schwebstaub-Immissionen ist nicht auszuschließen.

Die wichtigsten sicherheitsrelevanten Änderungen, die ein Kraftfahrer im Winter vorfindet, sind ein deutlich eingeschränktes Kraftschlußangebot, verbunden mit einer großen Spannweite der Gleitbeiwerte. Die Sicherheit und Unversehrtheit des Men-

schen als Verkehrsteilnehmer wird unmittelbar beeinträchtigt. Das Unfallrisiko steigt auf mit abstumpfenden Stoffen gestreuten winterglatten Straßen über einen längeren Zeitraum auf mindestens das Doppelte.

Das Risiko von Radfahrern oder Fußgängern hängt im Winter überwiegend vom Verhalten des Einzelnen ab. Vorteile eines bestimmten Streustoffes sind aufgrund der vorliegenden Untersuchungen nicht nachzuweisen.

Eine für den Bürger ärgerliche und eigentlich unnötige Beeinträchtigung ist das Verschmutzen von Wohnungen und Ladenlokalen bei Verwendung abstumpfenden Streugutes, ebenso die Schäden an Kraftfahrzeugen.

Die Rechtsprechung kann die Frage nach der Art des einzusetzenden Streustoffes nicht grundsätzlich beantworten. Ausgangspunkt bei der Entscheidungsfindung im Einzelfall ist dabei immer der Schutz von Rechtsgütern wie Unversehrtheit von Leib und Leben, Besitz und / oder Umwelt.

Aus den Ergebnissen der Literaturanalyse zu Auswirkungen abstumpfender Streustoffe werden Anforderungen an deren Eigenschaften abgeleitet. Die Anforderungen des Entwurfes von technischen Lieferbedingungen für Streustoffe (TL-Streu) bezüglich der granulometrischen Eigenschaften (Korngröße, Kornverteilung, Kornform, Festigkeit), ihres Schwermetallgehaltes u.ä. können aufgrund der aus den Auswirkungen abzuleitenden Anforderungen bestätigt werden.

### **Auswirkungen auf den Betrieb**

Die Gewinnung von Streusplitten, die den Anforderungen des Entwurfes zur TL-Streu entsprechen, ist nicht aufwendiger als die Herstellung von Splitten für andere Anwendungsfälle. Bei Lieferungen von Mitgliedsfirmen des Verbandes der Naturstein-Industrie werden dem abstumpfenden Streugut - auch auf Anforderung - keine Taustoffe beigegeben.

Die Verwendung abstumpfender Stoffe setzt voraus, daß sie trocken angeliefert und gelagert werden, damit sie streufähig bleiben. Dem Vorschlag, abstumpfenden Streustoffen bei Lagerung 10 % Salz beizumengen, steht entgegen, daß mit diesem Gemisch in einem einzigen Streugang fast ebenso viel Salz auf die Straße gebracht wird wie bei alleiniger Salzanwendung. Zum Erzielen einer abstumpfenden Wirkung ist eine Streumenge von

mindestens 100 g/m<sup>2</sup> erforderlich. Als Regelstreu-dichte ist eine Menge von etwa 150 g/m<sup>2</sup> zu empfehlen.

Das auf Straßen ausgebrachte Streugut wird vom Verkehr teilweise zermahlen und weist beim Aufnehmen Verunreinigungen durch „normale“ Straßenschadstoffe auf. Die aufgenommenen Streustoffe müssen im Hinblick auf ihre Schadstoffbelastung analysiert werden, um aufbereitet oder einer Deponieklasse zugeordnet werden zu können. Untersuchungen zeigen für aufgekehrtes Streugut erhöhte Werte vor allem für Quecksilber, Kupfer, Blei, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und fäkalcoliforme Keime. Die Tendenz bei der Aufbereitung/Entsorgung wieder aufgenommenen Streugutes geht dahin, das Material schon aus rechtlichen Gründen (Kreislaufwirtschaftsgesetz) nicht als Abfall anzusehen, sondern in den Güterkreislauf zurückzuführen und möglichst vollständig (als Baustoff, mit Einschränkungen als Streusplitt, zur Zementherstellung und sogar zur Bodenverbesserung / Rekultivierung) zu verwerten. Aus preislichen Gründen scheint das Waschen aufgenommenen Streugutes - in einer modifizierten Form der Altlastensanierung - trotz verbesserter Trockenreinigungsverfahren eine sinnvolle Möglichkeit der Aufbereitung zu sein. Anzumerken ist, daß eine Wiederaufbereitung zur Wiederverwendung meist nur dem Naturstein-Splitt als abstumpfendem Streustoff vorbehalten ist.

Das Verhältnis der Betriebskosten für einen Winterdienst ohne Salz gegenüber einem Winterdienst mit Salz wird für Außerortsstraßen auf 2-5 : 1 beziffert. Im Innerortsbereich ergeben sich durch die zusätzlichen Kosten für Wiederaufnahme, Entsorgung und Reinigung für die Streuung abstumpfender Stoffe insgesamt etwa die 5- bis 10-fachen Kosten im Vergleich zur Salzstreuung.

Das Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (KrW-/AbfG) definiert Abfälle sehr umfassend. Gemäß KrW-/AbfG sind Abfälle zudem zu vermeiden (durch die Verminderung ihrer Menge und Schädlichkeit) bzw. stofflich zu verwerten oder zur Gewinnung von Energie zu nutzen (energetische Verwertung). Aus dem KrW-/AbfG ergibt sich die Frage, ob abstumpfende Streustoffe rechtlich vertretbar sind.

### Einsatz abstumpfender Streustoffe

Als Arbeitsergebnis der Literaturanalyse ist festzustellen, daß der Einsatz abstumpfender Streustoffe im Winterdienst aus ökonomischen, verkehrstechnischen und juristischen Gründen grundsätzlich nicht zu empfehlen ist.

Sollen abstumpfende Streustoffe dennoch eingesetzt werden, können Hinweise für deren Einsatz gegeben werden.

#### Allgemeine Einsatzempfehlungen

- Auf Fahrbahnen ist eine Mindeststredichte von 100 g/m<sup>2</sup> erforderlich, um überhaupt eine meßbare Verbesserung des Kraftschlußbeiwertes zu erzielen. Als Regelstredichte ist eine Menge von etwa 150 g/m<sup>2</sup> zu empfehlen.
- Auf eisglatten Fahrbahnen sind abstumpfende Streustoffe ungeeignet.
- Werden abstumpfende Streustoffe eingesetzt, sind sie nach Einsatz möglichst frühzeitig wieder aufzunehmen.

#### Streustoff-Einsatz auf Außerortsstraßen

In ein außerörtliches weißes Netz mit Verzicht auf Streusalz sollten nur Straßen

- mit geringer Verkehrsbedeutung und -belastung (bis ca. 2.000 Fz/24 h),
- mit flacher und gerader Trassierung (ohne große Längsneigungen und enge Kurven),
- mit mittleren Fahrbahnbreiten,
- mit einer Möglichkeit zur Umfahrung über andere Strecken,
- ohne Unfallhäufungspunkte oder besondere Gefahrenstellen,
- ohne besondere Verkehre (z.B. Schul- oder Linienbusse)

aufgenommen werden.

#### Streustoff-Einsatz auf Innerortsstraßen

Ein Einsatz abstumpfender Stoffe auf Fahrbahnen ist überall da auszuschließen, wo aus Gründen der Verkehrssicherheit und des Verkehrsflusses ein höherer Kraftschluß zwischen Fahrzeug und Fahrbahn erreicht werden muß. Dies sind

- Klassifizierte Straßen und sonstige Durchgangsstraßen
- Hauptverkehrs- und Hauptsammelstraßen, Straßen mit hoher Verkehrsbelastung

- Straßen mit besonderen Verkehren (ÖPNV, Rettungsdienste, Industrie- und Gewerbegebiete)
- Besondere Gefahrenstellen (Steigungsstrecken, Engstellen, besondere Knotenpunkte, Brücken, Punkte mit besonderer Glättegefährdung)
- Besonders stark frequentierte Parkplätze oder solche mit Gefahrenstellen

Auf Radwegen, soweit sie gesondert geführt sind und dort Winterdienst durchgeführt wird, können bei guter Reinigungsqualität (besenrein) Streustoffe in vielen Fällen ganz entfallen. Im Bedarfsfall ist der Einsatz von abstumpfenden Stoffen - hier mit hoher Stredichte und mit geeigneten Stoffen - möglich.

Auf Fußgängerüberwegen sind grundsätzlich die gleichen Streustoffe einzusetzen, die auf dem entsprechenden Straßenzug zur Anwendung gelangen.

#### Auswahl des Streustoffes

Für die Auswahl eines geeigneten Materials werden folgende Empfehlungen gegeben:

- Auf Fahrbahnen und Radwegen sollte als abstumpfender Streustoff kein Sand verwendet werden.
- Sande und Kiese aus Flußentnahmen sollten - auch in granulierter (gebrochener) Form - nicht eingesetzt werden, da sie gegenüber anderen natürlichen Gesteinen mit hohen Schwermetallanlagerungen belastet sind.
- Aufgrund ihrer geringen Abriebfestigkeiten sollten keine gebrochenen Bauschutte irgendwelcher Art (Betonrecycling-Splitt o.ä.) eingesetzt werden.
- Da sich andere Streustoffe einer Aufbereitung nach Wiederaufnahme häufig entziehen, sollten als abstumpfende Streustoffe ausschließlich gebrochene Naturgesteine verwendet werden.

## 9 Literatur

- AA 6.4: „Umweltverträglichkeit von Mineralstoffen“, FGSV-Arbeitspapier Nr. 28/1 „Umweltverträglichkeit von Mineralstoffen, Teil: Wasserwirtschaftliche Verträglichkeit“, Fassung 1992, FGSV, Köln, 1992
- AB Umwelttechnik: „Verwertung von Straßenkehricht/Streusplitt/Kanalsanden - Aufbereitung mittels unserer Bodenwaschanlage“, Prospekt, Lägerdorf, 1996
- ABEL-LORENZ, E. / EISBERG, J.: „Kommunaler Winterdienst - umweltfreundlich -“. Eberhard Blottner Verlag, Taunusstein, 1991
- AHLBRECHT, H. / CROCE, K. / KOHLER, A.: „Handbuch für den Straßenwinterdienst“, Kirschbaum Verlag, Bonn - Bad Godesberg, 1978
- AHLBRECHT, H. / THIEME, CH.: „Glättebekämpfung durch Auftausalz“, Straßen- und Tiefbau 28 (1974) 2
- AK Streusplitt aus Naturgestein: „Antworten zu Fragen nach Gewinnung, Herstellung, Transport und Handel“, Antworten von Herstellern von Streusplitt auf einen Fragenkatalog der BAST, 1997
- Amt für Stadtreinigung: „Winterdienst 1985/86 in Hamburg“, Erfahrungsbericht des Amtes für Stadtreinigung, Freie und Hansestadt Hamburg, Baubehörde, 1986
- Anonym: „Hamburg haftet für Eis-Unfall; Straße nicht rechtzeitig mit Splitt nachgestreut“, Kölner Stadt-Anzeiger Nr. 248, 24. Oktober 1986
- Anonym: „Aufgaben des Winterdienstes“, Kommunale Fahrzeuge - Maschinen-Geräte-Anlagen-Zubehör, I/VI - 1985, S. 6-24
- Anonym: „Die eindeutige Kostenbilanz Salz - Sand 1:5“, Motor im Schnee 2/83, S. 12
- Anonym: „Genug Alternativen zum Streusalz“, Umwelt Nr. 87 vom 26. Januar 1982
- Anonym: „Granulat kann für Autofahrer eine große Gefahr sein“, Ruhr-Nachrichten, 31.07.1982
- Anonym: „Recovery of Chippings in Winter Road Maintenance“, Svenska Kommunförbundet, Fou-Gruppen för Gator och Trafik, Rapport. 1989, (21), Stockholm, 1989
- Anonym: „Salz '84 - oder: von der falschen Sparbarkeit“, Motor im Schnee 2/84, S. 11-12
- Anonym: „Schwermetalle in abstumpfenden Streumitteln“, Der Städtetag, 6/1984, S. 457-458
- Anonym: „Splitt, Staub und Smogalarm in der Stadt“, Die Presse, Wien, 20.03.1996
- Anonym: „Steiniger Weg - In Berlin wird im kommenden Winter wieder das umstrittene Granulat gestreut“, Auto Motor Sport, S. 180
- Anonym: „Straßen- und Gehwegreinigung im Winter“, Kommunale Fahrzeuge - Maschinen-Geräte-Anlagen-Zubehör, I/VII - 1986, S. 7-24
- Anonym: „Straßenwinterdienst gewährleistet hohes Maß an Verkehrssicherheit“, Verkehrsnachrichten 1/89, S.10-12
- Anonym: „Umweltfreundlicher Winterdienst - Beispiel Berlin“, Umwelt 1/84, S. 27-30
- Anonym: „Umweltschäden durch Splittstreuung“, Motor im Schnee, 12. Jahrgang Nr. 5, Sept./Oktober 1981
- Anonym: „Wer nicht salzen will, muß räumen“, ADAC Motorwelt 11/82, S. 38,42
- Anonym: „Winter kam viele Städte teuer“, Aachener Volkszeitung Nr. 36, 12.02.1987
- Anonym: „Winterdienst in Berlin: Der Countdown ist gelaufen“, Entsorga-Magazin 8/85, S. 52-53
- Anonym: „Zürich als Vorreiter: Recycling von Winter-Streusplitt“, BR 1/88, S. 45-46
- Arbeitsausschuß Straßenunterhaltung, Straßenbetrieb und Winterdienst: „Merkblatt für den Unterhaltungs- und Betriebsdienst an Straßen, Teil: Winterdienst“, Entwurf, Bergisch Gladbach, 1997
- Arbeitsausschuß Straßenunterhaltung, Straßenbetrieb und Winterdienst: „Technische Lieferbedingungen und Richtlinien für Streustoffe des Straßenwinterdienstes, TL Streu“, Entwurf, Bergisch Gladbach, 1997
- Arbeitsausschuß Winterdienst: „Merkblatt für den Unterhaltungs- und Betriebsdienst an Straßen, Teil: Winterdienst außerhalb geschlossener Ortslagen“, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 1984

- Arbeitskreis Kommunalen Winterdienst: „Merkblatt für den Unterhaltungs- und Betriebsdienst an Straßen, Teil: Kommunalen Winterdienst“, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 1985
- ASPHALTA: „Untersuchungen an Streumitteln, Kehrriecht, Gullyschlamm und Gesamtstaub auf ihre Gehalte an Schwermetallen und Untersuchung der silikogenen Bestandteile des Feinstaubes in Folge des Berliner Straßen-Winterdienstes mit Quarzkiessplitten“, Gutachten im Auftrag der Berliner Stadtreinigung, Berlin, 1987
- AUGUSTIN, K. / GREGOR, H.-D. / KLEWER, M. / KRIESCH, CH. / SCHREIBER, H. / SZELINSKI, B.A. / WEY, H.: „Streusalzbericht I“, Umweltbundesamt, Bericht 1/81, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1980
- Berliner Stadtreinigungsbetriebe: „Kehrriechtaufbereitung in Berlin - Zwischenbilanz“, Bericht der BSR, Berlin, 1997
- Berliner Stadtreinigungsbetriebe: „Aufbereitung von Straßenkehrriecht in Berlin“, Bericht der BSR, Berlin, 1998
- BACH, V. / BÖHM, P.M.: „Umfang und Durchführung des Winterdienstes auf Fußgängerquerungen“, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 706, Bad Godesberg, 1996
- BACH, V. / JENDJA, S. / MEBMER, H.: „Winterdienst auf Radwegen“, Forschungsauftrag FE 77329/90 des BMV, Schlußbericht, TH Darmstadt/Universität Karlsruhe (TH), Juni 1995
- BALASCH, W.: „Die Anwendung von Auftausalzen und deren mögliche Alternativen“, Forschungsarbeiten aus dem Verkehrswesen, 1988
- BARK, A. / BÖHM, P.M. / LEVIN, CH. / MATTHEß, V.: „Winterdienst und Verkehrssicherheit (innerorts)“, FP 8938, Schlußbericht, Technische Hochschule Darmstadt, 11/93
- BELOSOVIC, St.: „Recycling von inertem Winterstreusplitt“, IX. Internationaler Straßenwinterdienstkongreß der AIPCR/PIARC, Technical Report, Vol. 2, S. 527-531
- Berliner Stadtreinigungsbetriebe: „Erfahrungen mit dem Versuchsbetrieb einer Aufbereitungsanlage für Winterstreumittel“, Müll und Abfall 5/90, S. 309-311
- BJÖRKLUND, U. / KARLSSON, J.-A.: „Test with unsalted roads, Winter 1982/83; Effects on road conditions and consequences for the road user and road maintenance authority“, VTI - Meddelande Nr. 363, S. 3-5
- BLASK, H.-U.: „Kosten des kommunalen Winterdienstes“, Kommunalen Winterdienst, 3. Auflage, Verlag W. Kohlhammer, Köln, 1989, S. 295-312
- BREITENSTEIN, J. / KRELL, K.: „Probleme und Lösungen des Winterdienstes auf den Bundesfernstraßen“, Internationales Verkehrswesen 41 (1989) 4. Heft, S. 269-277
- Bundesinstitut für Sportwissenschaften: „Richtlinie über die Durchführung von Eignungsprüfungen und die Überprüfung der Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp): „Eigenüberwachung an Baustoffen für Belege und Dynamische Schichten für Tennenflächen nach DIN 18035 Teil 5 (REBT) des Bundesinstituts für Sportwissenschaft (BISp)“, Köln, 1985
- Bundesminister für Verkehr: „Verkehr auf winterlichen Straßen“, Antwort der Bundesregierung auf eine Kleine Anfrage, Deutscher Bundestag, 9. Wahlperiode, Drucksache 7/1403, März 1982
- Bundesverband Naturstein-Industrie: „Geschäftsbericht 1992/1993“, Bundesverband Naturstein-Industrie e.V., Bonn, 1993
- CHANG, N.-Y. / PEARSON, W. / CHANG J.I.J. / GROSS, A. / MEYER, M. / JOLLY, M. / VANG, B. / SAMOUR; H.: „Environmentally Sensitive Sanding and Deicing Practices“, Final Report, Colorado University, Departement of Civil Engineering, Denver, 1995
- COMFORT, G. / DINOVITZER, A.: „Field Tests of Winter Sands an Packend Snow and Bare Ice Surfaces“, Ontario Ministry of Transportation, Ontario, 1996
- COSSON, R.: „Die Rechtslage bei Streusalzverbot im Gehwegbereich“, Naturstein-Industrie 19 (1983), Nr. 5, S. 33-36
- COSSON, R.: „Rechtsfragen des kommunalen Winterdienstes“, Kommunalen Winterdienst, 2. Auflage, Verlag W. Kohlhammer, Köln, 1986
- DAMES, J.: „Kraftschluß und Fahrverhalten auf winterglatten Fahrbahnen in Städten“, Vortrag auf dem 27. Deutschen Verkehrsgerichtstag 1989, Goslar, S. 54-66

- DEDIC, O.: „Ökologisch orientierter Winterdienst“, Vortrag, Winterdienstkongreß Murau, 1985
- DENK, E. „Rechtsfragen im Winterdienst“, VDS-Winterdienst 3/1992, Bonn, Dezember 1992
- DENK, E.: „Haftungs- und versicherungsrechtliche Probleme des Winterdienstes“, Kolloquium Straßenwinterdienst der TH Darmstadt - Februar 1991, FGSV, Köln
- Deutscher Bundestag: „Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung“, Drucksache 10/2977, Bonn, März 1985
- DIRNBÖCK, G.: „Umwelt- und Rechtsaspekte beim Streudienst“, in: Symposium Umweltgerechter Straßenbetrieb, Institut Straßenbau und Straßenerhaltung, TU Wien, 1993
- DIRNBÖCK, G.: „Winterdienst in der Steiermark“, Vortrag, Winterdienstkongreß Murau, 1985
- DOOSE, U.: „Das neue Abfallgesetz des Bundes“, Der Städtetag 2/1987, S. 133-139
- DOOSE, U.: „Ersatz von Streuschäden an Kraftfahrzeugen“, Der Städtetag 12/1988, S. 837-838
- DOOSE, U.: „Kommunaler Winterdienst im Lichte der neueren Rechtsprechung“, Der Städtetag 8/1991, S. 577-581
- DOOSE, U.: „Neuere Rechtsprechung zur Räum- und Streupflicht“, Der Städtetag 12/1996, S. 831-838
- DOOSE, U.: „Neuere Rechtsprechung zur Räum- und Streupflicht von Gemeinden und Anliegern“, Der Städtetag 3/1992, S. 250-256
- DOOSE, U.: „Rechtliche Grundlagen des kommunalen Winterdienstes“, Praxis des Kommunalen Winterdienstes, Verlag W. Kohlhammer, Köln, 1983
- DOOSE, U.: „Rechtsfragen im Zusammenhang mit der Verwendung von Streustoffen“, Der Städtetag 12/1985, S. 785-788
- DRIVER, F.T.: „Winter Maintenance: Practices and Policy“, TRRL SR 513, 1979, S. 73-77
- DURTH, W. / GIESA, S. / HANKE, H.: „Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit im „Weißen Netz“ - Erste Bewertung“, Straße und Autobahn 2/1985, S. 68-75
- DURTH, W. / HANKE, H. / LEVIN, CH.: „Vergleichsuntersuchungen zum Weißen Netz mit eingeschränktem Winterdienst“, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 550, Bad Godesberg, 1989
- DURTH, W. / HANKE, H.: „Optimierung der Einsatzplanung für den Straßenwinterdienst in Städten und Gemeinden“, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 548, Bad Godesberg, 1989
- DURTH, W.: „Kosten und Nutzen des innerstädtischen Winterdienstes im Vergleich“, Kolloquium Straßenbetriebsdienst der TH Darmstadt - Oktober 1995, FGSV, Köln
- DURTH, W.: „Stand und Entwicklung des Winterdienstes in Städten und Gemeinden“, Kolloquium Straßenwinterdienst der TH Darmstadt - November 1988, FGSV, Köln, 1989
- ECKERT, K. / HANKE, H.: „Winterdienst auf Radwegen - Bestandsaufnahme und Lösungsansätze“, Der Städtetag 2/1990, S. 184-191
- ELLING, J. / GROHS, K.H. / KAMIETH, H. / KRUPKA / PREISSMANN, R.: „Verkehr und Umwelt in Nordrhein Westfalen, I. Tausalz“, Der Minister für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf
- FECHTNER, R.: „Zur Verantwortung für Lackschäden durch Granulat“, Der Straßenwärter, S. 246-248
- FLOß, R. / TOUSSAINT, A.: „Abfallstoffe und industrielle Nebenprodukte im Erd- und Straßenbau“, Straße und Autobahn 8/1976, S. 303-313
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): „Merkblatt über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe, Ausgabe 1968“, FGSV-Nr. 401, Köln, 1968
- FRANßEN, E.: „Abfallrecht, Grundzüge des Abfallrechts“, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1992
- FRIESEL, P. / MILDE, G.: „Zur Mobilisierung, Verlagerung und Immobilisierung von Cadmium in Böden“, Korrespondenz Abwasser, 11/82, 29. Jahrgang, S. 803-807
- FRITSCHKE, M. / BECKER, G.: „Schadstoffgehalte von Bankettschäl- und Kehrgut und deren umweltverträgliche Entsorgung“, FE-Nr.: 03.222 R 90 I, Fachhochschule Münster, Fachbereich Bauingenieurwesen Labor für Siedlungswasserwirtschaft, Münster, 1992

- GABRIEL, B.: „Die Einsatzgrenzen schneeglatte, abgestumpfter Fahrbahnoberflächen“, Mitteilungen der Institutes für Geotechnik und Verkehrswesen, Universität für Bodenkultur, Heft 9, Wien, 1983
- GABRIEL, B.: „Salzstreuung auf Straßen - ja oder nein? Ein Beitrag zur Entscheidungsfindung“, Zeitschrift für Verkehrsrecht, 2/1983, S. 33-35
- GALLENKEMPER, B. / FRITSCHKE, M. / SOWA, A. / WALTER, G.: „Eignung von Bankettschälgut für Erdbauten“, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 34, Bergisch Gladbach, 1996
- GALLENKEMPER, B. / FRITSCHKE, M. / WALTER, G.: „Auswirkung der Umweltgesetzgebung auf den Straßenbetriebsdienst“, FP 9.9217, Fachhochschule Münster, Labor für Abfallwirtschaft, Siedlungswasserwirtschaft, Umweltchemie, Münster 1994
- GALLENKEMPER, B. / FRITSCHKE, M.: „Schadstoffbelastung von Bankettschälgut und Kehr gut“, Kolloquium Straßenbetriebsdienst der TH Darmstadt - März 1993, FGSV, Köln, 1994
- GAUTSCHI, R. / SCHARMER, W.: „Recycling von Streusplitt“, Straßen und Verkehr 2000 - Internationale Straßen- und Verkehrskonferenz, Berlin, 1988, S. 65-66
- GEWU Consult-Gesellschaft für Energie, Wirtschaft und Verkehr mbH: „Modellversuch „Optimierter Winterdienst in Dortmund und Berlin“, Schlußbericht, Band 1, Berlin, Februar 1992
- GEWU Consult-Gesellschaft für Energie, Wirtschaft und Verkehr mbH: „Begleitende Untersuchungen zur Bodenbelastung durch Streumaterialien im Straßenwinterdienst“, BMFT Forschungsvorhaben, Schlußbericht, Band 1, Berlin, Juni 1992
- GIESA, S.: „Winterverkehr im Ballungsraum bei herkömmlichem Winterdienst und im Weißen Netz“, Kolloquium Straßenwinterdienst der TH Darmstadt - Oktober 1984
- GOETZ, D. / GLÄSEKER, W.: „Perkolationsverfahren zur Auslaugung von Mineralstoffen (Bericht des AK 6.4.1 „Elutionsverfahren für Mineralstoffe“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen)“, Straße und Autobahn 10/1994, S. 605-609
- GOETZ, D. / GLÄSEKER, W.: „pH4-stat-Verfahren zur Untersuchung der langfristigen Auslaugbarkeit von Mineralstoffen (Bericht des AK 6.4.1 „Elutionsverfahren für Mineralstoffe“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen)“, Straße und Autobahn 4/1996, S. 268-274
- GOTTWALD, C.: „Wie giftig ist das Granulat auf den Straßen der Städte“, Welt am Sonntag, 22. März 1987, S. 6
- GREGOR, H.-D.: „Alternative Streustoffe zur Glättebekämpfung“, Kolloquium Straßenwinterdienst der TH Darmstadt - November 1986, FGSV, Köln, 1987
- GREGOR, H.-D.: „Umweltproblem Winterdienst“, Vortrag auf dem 27. Deutschen Verkehrsgerichtstag 1989, Goslar, S. 34-53
- GUBLER, A.: „Salzersatz im Winterdienst - Literaturstudie“, IVT der ETH Zürich, FA 24/89, Zürich, 1993
- GÜTTNER, K.: „Auswirkung von auftauenden und abstumpfenden Streumitteln auf Fahrzeuge, Maschinen, Geräte und Fahrbahnbeläge“, Praxis des Kommunalen Winterdienstes, Verlag W. Kohlhammer, Köln, 1983
- HANKE, H. / LEVIN, CH.: „Eingeschränkte Salzstreuung auf Landstraßen - Auswirkungen auf Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit“, Straße und Autobahn 39 (1988) Nr. 10, S. 392-402
- HANKE, H.: „Abstumpfende Stoffe - ein Allheilmittel? - Wirkung, Wiederaufnahme und Entsorgung von Streusplitt -“, Polizei, Verkehr und Technik 12/93, S. 377-378
- HANKE, H.: „Deutsche Erfahrungen mit der Wiederverwendung von Streusplitt“, Symposium Umweltgerechter Straßenbetrieb, Institut Straßenbau und Straßenerhaltung, TU Wien, 1993
- HANKE, H.: „Differenzierter Winterdienst im kommunalen Bereich“, Kolloquium Straßenbetriebsdienst der TH Darmstadt - Oktober 1995, FGSV, Köln, 1996
- HANKE, H.: „Splitt im Straßenwinterdienst: Wiederaufnahme und Entsorgung“, Der Städtetag 9/93, S. 630-634
- HANKE, H.: „Stand und Entwicklung des kommunalen Straßenwinterdienstes - Ergebnisse einer Umfrage“, Der Städtetag 7/1987, S. 420-430

- HANKE, H.: „Straßenwinterdienst und Verkehrssicherheit auf Landstraßen - Erste Ergebnisse von Forschungsvorhaben“, Kolloquium Straßenwinterdienst der TH Darmstadt - November 1986, FGSV, Köln, 1987
- HANKE, H.: „Vergleichsuntersuchungen zum weißen Netz mit eingeschränktem Winterdienst - Zwischenbericht zum Verkehrsablauf auf den Splittstrecken“, FA 3.175 G 85 H, TH Darmstadt, 1986
- HANKE, H.: „Wiederaufnahme und Entsorgung von Streusplitt“, Kolloquium Straßenbetriebsdienst der TH Darmstadt - März 1993, FGSV, Köln, 1994
- HANKE, H.: „Winterdienst auf Außerortsstraßen - Verkehrssicherheit und Wirtschaftlichkeit“, Kolloquium Straßenwinterdienst der TH Darmstadt - November 1988, FGSV, Köln, 1989
- Hessischer Verwaltungsgerichtshof: „Normenkontrollverfahren Wintershall AG ./ Stadt Kassel“, Rechtsamt Kassel, 301-W.99/92 16.10.95/Schu-Schl
- HEUBER, U. / BERR, W.: „Der Winterdienst“, ADAC, Schriftenreihe Straßenverkehr, München, 1982
- HINTZEN: „Bericht über Streusalzeinschränkung im Winterdienst“, Bericht der Stadtverwaltung Krefeld, Städt. Fuhrpark, 1979,
- HOFFMANN, G. / DAMES, J. / BERGMANN, J.: „Einfluß eines streusalzlosen Straßenwinterdienstes in Städten auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf, Teil I: Zum Kraftschlußangebot auf winterlichen Fahrbahnen bei Verwendung mineralischer Streustoffe“, Straße und Autobahn 4/1985, S. 140-146
- HOFFMANN, G. / GAST, J.: „Einfluß eines streusalzlosen Straßenwinterdienstes in Städten auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf, Teil II: Zum Fahrverhalten auf winterlichen städtischen Hauptverkehrsstraßen“, Straße und Autobahn 5/1985, S. 205-210
- HOFFMANN, G. / ZMECK, D.: „Einfluß eines streusalzlosen Straßenwinterdienstes in Städten auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf, Teil III: Erfahrungen aus dem Berliner Versuch in den Wintern 19880/81 und 19881/82“, Straße und Autobahn 6/1985, S. 242-251
- HOFFMANN, G.: „Abstumpfende Stoffe und Verkehrssicherheit“, Kolloquium Straßenwinterdienst der TH Darmstadt - Oktober 1985, FGSV, Köln, 1986
- HOFFMANN, G.: „Untersuchungskonzept für einen Versuch zum streusalzlosen Straßenwinterdienst in einem Teilgebiet von Berlin“, Müll und Abfall Heft 18, S. 45-52
- HOLKENBRINK, H.: „Streusalzeinsatz auf das unbedingt notwendige Maß beschränken“, Pressemitteilung, Ministerium für Wirtschaft und Verkehr, Mainz, 6.12.1984
- HOLNSTEINER, R.: „Staub durch Streusplitt“, Waste Magazin 4/95, S. 17-18
- HOSCHÜTZKY, A. / KREFT, H.: „Abfallbeseitigungsrecht des Bundes und der Länder“, Informationsschrift Abfallarten, 4. neubearbeitete Auflage, Verlag W. Kohlhammer, 1985
- HÜTTL, H.: „Winterdienst in Städten“, VDS-Winterdienst 3/1992, Bonn, Dezember 1992
- HUTZINGER, O.: „Was ist ein Schadstoff?“, UWSF - Z. Umweltchem. Ökotox. 3 (5), 1991, S. 259
- JAKOB, G. / BRASSER, T.: „Schwermetallbindungsformen in ausgewählten Abfallarten“, Müll und Abfall 1/92, S.17-22
- JOACHIM, H.: „Auswirkungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes auf die kommunale Abfallwirtschaft“, Der Städtetag 9/1997, S. 649-655
- JORDAN, H.: „Die Streupflicht im Spannungsfeld zwischen Verkehrssicherungspflicht und Umweltschutz“, Vortrag auf dem 27. Deutschen Verkehrsgerichtstag 1989, Goslar, S. 67-96
- JUNGINGER, H.-D.: „Organisation und Durchführung des kommunalen Winterdienstes“, Straße und Autobahn 5/1986, S. 208-214
- KALLBERG, V.-P.: „Experiment with Reduced Salting of Rural Main Roads in Finland“, Transportation Research Record No. 1533, Washington, D.C. 1996, S. 32-37
- KAREOJA, T.: „Removing Sand and Street Dust in Helsinki“, Tie- Ja Liikenne (Road and Traffic Magazine), 1990. 59(6), S. 6-8, Helsinki 1990
- KEMPE, K. H.: „Salzarter Winterdienst in der Stadt Erlangen - Erfahrungsbericht und Vergleich mit anderen Städten“, Stadt Erlangen, Vortrag, 20.9.1985

- KEMPE, K. H.: „Zeitgemäßer Winterdienst - Forderungen, Maßnahmen - (Erfahrungen der Stadt Erlangen)“, Stadt Erlangen, Vortrag, 20.2.1986
- KEMPF, CH. / KRAUSE, CH. / LASKUS, L. / SONNEBORN, M.: „Untersuchungen zum Vorkommen von Spurenelementen in Tennenbelägen“, Schriftenreihe Verein WaBoLu 52 (1981), S. 73-102
- KENNEDY, V.: „Tandem Axle Sanding Truck / Pub Trailer Sander“, Alberta Transportation & Utilities, Report ABTR/RD/TM-89/01, Edmonton, 1989
- KEPPLER, M., REINEFARTH, P.: „Winterdienst auf Radwegen“, Informationsschrift des VKS, Entwurf, 1995
- KINSEY, J.S. / COWHERD, C. / CONNERY, K.: „Guidance Document for Selecting Antiskid Materials Applied to Ice- and Snow-Covered Roadways“, Midwest Research Inst., Kansas City Mo., Jan '90
- KLASSEN, TH.: „Ergebnisse zur Verwendung von mineralischen Abfallstoffen zur Bodenverbesserung und Bodenherstellung im Landschaftsbau, I.: Entstehung von Schlacken und ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften“, Zeitschrift für Vegetationstechnik 10 (1987) April - Juni, S. 39-47
- KLASSEN, TH.: „Ergebnisse zur Verwendung von mineralischen Abfallstoffen zur Bodenverbesserung und Bodenherstellung im Landschaftsbau, II.: Ergebnisse von Gefäßversuchen“, Zeitschrift für Vegetationstechnik 10 (1987) Juli - September, S. 89-99
- KLINGENBERG, H. / SCHMIDT, H. / WÖHRN, K. / SCHAAF, G.: „Straßeninstandhaltung - Winterdienst“, VEB Entwurfs- und Ingenieurbüro des Straßenwesens, Volksdruckerei Altenburg, 1987
- KNOBLOCH, W.: „Abstumpfende Streumittel und Streupraxis“, Kommunal Winterdienst, 2. Auflage, Verlag W. Kohlhammer, Köln, 1986
- KNOBLOCH, W.: „Abstumpfende Streumittel und Streupraxis“, Kommunal Winterdienst, 3. Auflage, Verlag W. Kohlhammer, Köln, 1989, S. 199-217
- KNOBLOCH, W.: „Neue Erkenntnisse bei der Durchführung des kommunalen Winterdienstes“, Der Städtetag 12/1982, S. 843-845
- KNOFLACHER, H.: „Untersuchung des Winterdienstes in Niederösterreich“, Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Wien, 1987
- KRASS, K. / KELLERMANN, CH. / KOCH, C.: „Anfall, Aufbereitung und Verwertung von Recycling-Baustoffen und industriellen Nebenprodukten im Wirtschaftsjahr 1995 - Teil 1: Recycling-Baustoffe“, Straße und Autobahn 2/97, S. 82-89
- KRASS, K. / KELLERMANN, CH. / KOCH, C.: „Anfall, Aufbereitung und Verwertung von Recycling-Baustoffen und industriellen Nebenprodukten im Wirtschaftsjahr 1995 - Teil 2: Industrielle Nebenprodukte“, Straße und Autobahn 4/97, S. 200-204
- KRASS, K.: „Wasserwirtschaftliche Anforderungen an industrielle Nebenprodukte und Recycling-Baustoffe im Straßenbau“, Straße und Autobahn 6/1993, S. 348-355
- KRASS, K.: „Industrielle Nebenprodukte - Ökonomische Straßenbaustoffe oder ökologische Gefahr?“, Straße und Autobahn, 10/1985, S. 403-407
- KRAUSKOPF, K.B.: „Introduction to Geochemistry“, Mc Graw-Hill, New York, 1967
- KRIEGER, B. / BREITENSTEIN, J.: „Untersuchungen zur Schnittgutverwertung“, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 29, Bergisch Gladbach, 1996
- KUCHTOVÁ, J. / BELOSOVIC, ST.: „Anforderungen an inerte Streumaterialien für die winterliche Verkehrsweegeerhaltung“, IX. Internationaler Straßenwinterdienstkongreß der AIPCR/PIARC, Technical Report, Vol. 2, S. 540-544
- KULLIK, W.: „Der Straßenwinterdienst im Sinne des Umweltschutzes - gehören Leib und Leben des Menschen auch zur Umwelt?“, Polizei, Verkehr und Technik 11/92
- KUTTER, M.: „Winterdienst, Organisation und Durchführung bei der Straßenbauverwaltung des Landschaftsverbandes Westfalen-Lippe (LWL)“, Internationales Verkehrswesen, 11/1979, Nr. 6, S. 378-383
- KUUSELA, R. / RAUKOLA, T. / LAPPALAINEN, H. / PIIRAINEN, A.: „New Ideas and Equipment for Winter Maintenance in Finland“, Transportation Research Record 1993, (1387), S. 124-129

- LAMPERT, H.: „Versuch „Winterdienst ohne Taumittel““, Route et Trafic No 2, Février 1980, S. 39-43
- Landgericht Berlin: „Rechtsstreit Reinhard Kautz ./ Land Berlin“, Landgericht Berlin, Geschäftsnummer 2S154/89, 208 C 509/87 AG Charlottenburg
- LASKUS, L. / BAKE, D. / MÖLLER, M. / KURA, J.: „Staubbelastung durch abstumpfende Streumittel (Quarzkiesplitt) an Straßen“, Abschlußbericht, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, im Auftrag des Umweltbundesamtes und der Berliner Stadtreinigung, April 1991
- LEINS, W. / MEYER, G. / DE BRACKERE, L / JANSEN, M.: „Ermittlung dynamischer Zerstörungskennwerte an Mineralstoffen nach konstruktiver Änderung des Prüftopfes zwecks Beeinflussung der Randzonenertrümmerung“, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 341, Bad Godesberg, 1982
- LEINS, W. / MEYER, G. / DRAEGER, W.: „Verhalten von Naturgestein unter dynamischer Dauerbeanspruchung bei besonderer Berücksichtigung von Mineralgemischen“, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 341, Bad Godesberg, 1981
- LINSI, P. / LAMPERT, H.: „Versuch Winterdienst ohne Taumittel im Kanton Zürich“, Route et Trafic No 12, Decembre 1977, S. 467-473
- MAH, A. D.: „Sand/Salt Application Rates for Winter Maintenance in Alberta“, Alberta Transportation and Utilities, Bericht ABTR/RD/RR-91/102, Edmonton, 1991
- MASON, B.: „Principles of Geochemistry“, Wiley & Son, New York, 1966
- MERCKENS, H. W.: „Kosten und Wirtschaftlichkeit“, Vortrag, VKS-Grundlagenseminar Kommunalen Winterdienst, Duisburg, 10/96
- MERIAN, E.: „Metalle in der Umwelt - Verteilung, Analytik und biologische Relevanz“, Verlag Chemie, Weinheim, 1984
- MÖLLER, ST. / WALLMANN, C.-G. / GREGERSEN, N. P.: „Winter road maintenance in urban areas - road safety and trafficability“, TFB / VTI, Linköping, 1992
- MORITZ, K.: „Aktuelle Fragen der Streustoffanwendung“, Vortrag, VKS-Aufbauseminar Kommunalen Winterdienst, Essen, 3/96
- MORITZ, K.: „Schwermetalle in abstumpfenden Streustoffen“, Der Städtetag 1/1984, S. 63-68
- MORITZ, K.: „Streustoffe - Anwendung und Auswirkungen“, Vortrag, VKS-Grundlagenseminar Kommunalen Winterdienst, Duisburg, 10/96
- MÜLLER, D.: „Untersuchungen zur Verwertung von Straßenkehricht in Berlin“, Vortrag vor dem AK 3.14.3 „Kommunalen Winterdienst“, Leer, 1997, nicht veröffentlicht
- MÜLLER, E.: „Die neue Stoffverordnung des Umweltschutzgesetzes und die Konsequenzen für den Winterdienst“, Route et Trafic No. 11, Novembre 1987, S. 802-803
- MÜLLER, H-J.: „Vom Winterdienst zum Frühjahrsputz“, Der Städtetag 4/1986, S. 295-299
- MÜLLER, H-J.: „Winterdienst 1987/88 ohne Winter?“, Der Städtetag 3/1988, S. 212-215
- MÜLLER, K. R.: „TA Abfall, Stand - Aufbau - Zielsetzung“, UWSF-Z. 1/ 1989, S. 33-37
- OECD - Road Transport Research: „Curtailling Usage of De-Icing Agents in Winter-Maintenance“, Road Transport Research, Report prepared by an OECD expert group, Paris, 1989
- OETTING, R.: „Hydrogeochemische Laboruntersuchungen an Bergematerialien und einer Hochofenschlacke“, Fischer Verlag, Stuttgart, 1980
- PFÄNDER, B.: „Kommunalen Winterdienst in Bonn - Abwägen zwischen Umweltschutz und Verkehrssicherheit“, Die Naturstein-Industrie 6/86, S. 30-33
- PICHLER, W.: „Gedanken zu einer gesamtwirtschaftlichen Beurteilung des Winterdienstes“, Straßen- und Tiefbau 41 (1987) 12, S. 5-8
- POPP, CH.: „Probleme der Entwässerung und des Winterdienstes bei lärmindernden Straßendecken“, Straße und Autobahn, 12/1986, S. 536-540
- POSSOGEL, W. / NITZSCHKE, T.: „Die Entwicklung der Winterdiensttechnologien und -technik“, Die Straße, 23. Jahrgang (1983) 5, S. 153-157

- PRACHERSTORFER, W. / LITZKA, J.: „Österreichische Erfahrungen mit lärmindernden Straßendecken“, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Straßenforschung Heft 427, Wien 1994
- RAHJA, J. / KORHONEN, P.: „Total Optimizing of the Storage and Transportation Process for Salt and Sand“, IX. Internationaler Straßenwinterdienstkongreß der AIPCR/PIARC, Technical Report, Vol. 2, S. 413-420
- REHBINDER, E.: „Schutz vor gefährlichen Stoffen (Chemikalien), Grundzüge des Abfallrechts“, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1992
- REINEFARTH, P.: „Winterdienst auf Fußgängerbereichen und Radwegen“, Der Städtetag 10/1984, S. 689-690
- REINEFARTH, P.: „Winterdienst auf Fußgängerque-  
rungsbereichen“, Kolloquium Straßenbetriebs-  
dienst der TH Darmstadt - Oktober 1996, FGSV,  
Köln, 1996
- REINEFARTH, P.: „Winterdienst auf Radwegen“,  
Kolloquium Straßenwinterdienst der TH Darm-  
stadt - Februar 1991, FGSV, Köln
- REMLINGER, W.: „Auswirkungen von Tausalzen  
auf die Vegetation an Straßen“, Neue Land-  
schaft, 29 (1984) Januar, S. 41-49
- ROOS, R. / HOLDORP, CH.: „Erhaltung der Funk-  
tionen Lärminderung und Entwässerung of-  
fenporiger Asphaltdecken“, Forschungsauftrag  
FE 03.237 R90L des BMV, Durth Roos Consul-  
ting GmbH, Darmstadt., April 1997
- RÖSLER, H.J. / LANGE, H.: „Geotechnische Tabel-  
len“, 2. Auflage, VEB Deutscher Verlag für  
Grundstoffindustrie, Leipzig
- ROßBERG, K. / BADER, E.: „Umweltverträglich-  
keitsprüfung von Recycling-Baustoffen“, BR  
Jahrbuch 95, S. 25-32
- RUDE, B. J.: „Optimierung des Winterdienstes in  
Rheinland-Pfalz“, Vortrag, Winterdienstkongreß  
Murnau, 1985
- RUESS, B.: „Salz- oder Splittstreuung im Winter-  
dienst - Optimierung der Kosten/Nutzen-Ver-  
hältnisse unter Berücksichtigung von umwelt-  
und sicherheitsrelevanten Faktoren“, RUS AG,  
FA 4/95 der VSS, Baden, 1998
- RUESS, B.: „Salz- und Splittstreuung im Winter-  
dienst - Neue Forschungserkenntnisse“, Stras-  
se und Verkehr 6/98, S. 243-249
- RUF, D. / COSSON, R.: „Weitere Rechtsfragen  
beim kommunalen Winterdienst“, Kommunal-  
er Winterdienst, 3. Auflage, Verlag W. Kohlham-  
mer, Köln, 1989, S. 149-170
- RUTISHAUSER, R.: „Streusalz - Alternativen“, Vor-  
trag, Streusalztagung der vereinigten Schweize-  
rischen Rheinsalinen, 1982
- SCHIMSCHAL, D.: „Straßenwinterdienst in den  
neuen Bundesländern“, Polizei, Verkehr und  
Technik 11/92, S. 332-334
- SCHLATTER, N.: „Winterdienst heute“, Autostraße,  
Jahrgang 51, 1/2 1983, S. 1-3
- SCHLUND, G.H.: „Die Streupflicht im Spannung-  
feld zwischen Verkehrssicherungspflicht und  
Umweltschutz, Empfehlungen des 2. Deut-  
schen Verkehrsgerichtstages 1989“, -27. VGT  
1989 -, Goslar, S. 8-9
- SCHLUP, U.: „Straßenwinterdienst heute“, Route et  
Trafic No 11, Novembre 1987, S. 799-801
- SCHMIDT, H. / LEWIN, U.: „Möglichkeiten der Er-  
mittlung von Einlagerungsnormativen für Ab-  
stumpfungs- und Auftaumitteln im Straßenwin-  
terdienst“, Die Strasse, 30. Jahrgang, (1990) 8,  
S. 249-252
- SCHMOLL, H. D.: „Strassensalzen - Schlägt die  
Meinung wieder um?“, Motor im Schnee 2/87,  
S. 6-7
- SCHMUCKER, A.: „Wiederaufbereitung von  
Straßenkehrsicht - Im Rahmen des gemeindli-  
chen Winterdienstes“, Der Städtetag 8/1997, S.  
589-593
- SCHNEEWOLF, R.: „Der Versuch eines „grundsätz-  
lich streusalzfreien Winterdienstes auf Fahrba-  
hnen“ in Hamburg - Ein Beitrag zur Winterdienst-  
diskussion anhand der Hamburger Winter-  
dienst- und Winterunfallentwicklung“, Kolloqui-  
um Straßenwinterdienst der TH Darmstadt - No-  
vember 1988, FGSV, Köln, 1989
- SCHNEEWOLF, R.: „Streumittelreduzierung im  
kommunalen Winterdienst und Verkehrssicher-  
heit - Ergebnisse und Folgerungen aus einer  
Umfrage in 211 Städten und Gemeinden“, Kol-  
loquium Straßenwinterdienst der TH Darmstadt  
- Oktober 1985, FGSV, Köln, 1986

- SCHNEEWOLF, R.: „Verkehrsunfälle in Abhängigkeit von Winter und Winterdienst in Hamburg“, Straße und Autobahn 3/1987, S. 98-103
- SCHNEEWOLF, R.: „Winterdienst“, Der Städtetag 9/1988, S. 643-648
- SCHNEEWOLF, R.: „Winterdienstbericht - Zur Entwicklung eines umweltfreundlichen Innerorts-Winterdienstes -“, Umweltbundesamt, Bericht 3/85, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1985
- SCHNEEWOLF, R.: „Winterdienstbericht II - Die jüngere Entwicklung des innerörtlichen Gehweg-, Radweg- und Straßenwinterdienstes in der Bundesrepublik Deutschland einschließlich Berlin (West)“, KommunalData GbR, Berlin, 1990
- SCHNEEWOLF, R.: „Verkehrssicherheit von Fußgängern / Fußgängerinnen bei winterlichen Straßenbedingungen (Pilotstudie)“, KommunalData, Berlin, 1996
- SCHNEIDER, H. H.: „Einsatz abstumpfender Streustoffe im Winterdienst auf Landstraßen - Bestandsaufnahme aus der Sicht der Bayerischen Straßenbauverwaltung“, Kolloquium Straßenwinterdienst der TH Darmstadt - November 1986, FGSV, Köln, 1987
- SCHREIBER, K.: „Auswirkungen eines streusalzlosen Winterdienstes auf die Verkehrssicherheit von Innerortsstraßen - Erste Ergebnisse einer Untersuchung in Berlin“, Kolloquium Straßenwinterdienst der TH Darmstadt - November 1988, FGSV, Köln, 1989
- SCHWEDT, G.: „Vorausschauende Bewertung - Worst-case-Analyse schwermetallhaltiger Stoffe mit dem pHstat-Elutionsverfahren“, Entsorgung-Magazin 12/96, S. 36-38
- SKERLAN, M.: „Das Wiener Winterdienstkonzept“, IX. Internationaler Straßenwinterdienstkongreß der AIPCR/PIARC, Technical Report, Vol. 1, S. 360-367
- SONDERMANN, W.: „Erfahrungen mit der differenzierten Anwendung von Salz und Splitt im Winterdienst der Stadt Darmstadt“, Kolloquium Straßenwinterdienst der TH Darmstadt - November 1986, FGSV, Köln, 1987, S. 9-12
- SPETH, O.: „Winterdienst heute - eine Gratwanderung“, bau intern 3/1984, S. 41-48
- SPETH, O.: „Winterliche Glättebekämpfung im Spannungsfeld Verkehrssicherheit und Umweltschutz“, Praxis des Kommunalen Winterdienstes, Verlag W. Kohlhammer, Köln, 1983
- Stadt Köln: „Untersuchung von Granulaten“, Untersuchungsbericht, Amt für Stadtentwässerung, Abwasserlaboratorium, 1987
- STEINBAUER, W.: „Erfahrungen mit Streusplittrecycling in Wien“, Symposium Umweltgerechter Straßenbetrieb, Institut Straßenbau und Straßenerhaltung, TU Wien, 1993
- STROBL, G.: „Erfahrungsbericht über die Wiederaufbereitung von Streusplitt“, Landeshauptstadt München. Baureferat Tiefbau, Abt. Straßenunterhalt und -betrieb, 1996
- STROBL, G.: „Wiederaufbereitung von Streusplitt“, Baureferat - Tiefbau, Landeshauptstadt München, Abt. Straßenbau T 2/GV, 1993
- STROBL, G.: „Wiederaufbereitung von Streusplitt - Erfahrungsbericht zum Winter 1995/96“, Baureferat Tiefbau, Landeshauptstadt München, Abt. Straßenunterhalt und -betrieb, 1997
- SVENSSON, P.: „Anti-Skid Treatment Using Sand/Absol and Chips“, Svenska Kommunförbundet, Fou-Gruppen foer Gator och Trafik, Rapport. 1989, (19), Stockholm, 1989
- TANDLER, G.: „Straßenwinterdienst im „Spannungsfeld Verkehrssicherheit/Umweltschutz“; Neue Wege von der Feuchtsalzzstreueung bis zur Salzlosigkeit“, Pressemitteilung, Bayer. Staatsministerium des Innern, München, 16. November 1981
- TILLMANN, W.: „Zur Bedeutung der Tonminerale als Adsorbens für Schwermetalle“, TIT-Fachberichte, Vol. 106, No. 2, 1982, S. 137-139
- TOMMERDICH, D.: „Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) - Empfehlungen zur stofflichen Verwertung von Bauschutt“, BR Jahrbuch 95, S. 34-36
- TOUSSAINT, A.: „Neue Technische Lieferbedingungen für natürliche Mineralstoffe, industrielle Nebenprodukte und Recycling-Baustoffe“, Straße und Autobahn 1/95, S. 18-22
- Umweltbundesamt: „Daten zur Umwelt“, Umweltbundesamt, Berlin, 1984

- Umweltbundesamt: „Grundlage für Umweltzeichenvergabe - Salzfremde, abstumpfende Streustoffe - RAL-UZ 13“, Umweltbundesamt, Berlin, Juli 1992
- Umweltbundesamt: „Grundlage für Umweltzeichenvergabe - Salzfremde, abstumpfende Streustoffe - RAL-UZ 13, Entwurf 1996“, Umweltbundesamt, Berlin, November 1996
- Verband Kommunale Abfallwirtschaft und Stadtreinigung e.V.: „Differenzierter Winterdienst im kommunalen Bereich“, Informationsschrift des VKS 29, Köln, 1997
- Verband Kommunaler Städtereinigungsbetriebe: „Differenzierter Winterdienst im kommunalen Bereich“, Informationsschrift des Verbandes Kommunaler Städtereinigungsbetriebe (VKS), Heft 9, Köln, 1987
- Verein Deutsche Salzindustrie: „Winterdienst - Verkehrssicherheit und Umweltschutz“, Verein Deutsche Salzindustrie e.V., Bonn, 1995
- VILLINGER, ST.: „Schotter statt Salz freut Hundebesitzer und Baumfreunde“, Kölner Wochenpiegel, 13.01.1982
- VON DER HEIDE, A.: „Und weiter rieselt das Salz“, Entsorgung Magazin, Heft 7, August 1986
- WAGNER, F.-J.: „Güteanforderungen an Streustoffe zur Glättebekämpfung im Straßenwinterdienst“, Kolloquium Straßenwinterdienst der TH Darmstadt - November 1988, FGSV, Köln, 1989
- WAGNER, K.: „TA Abfall, Stand - Aufbau - Zielsetzung, Teil II“, UWSF-Z.3/ 1989, S. 31-35
- WANNER, M.: „Streusplitt-Recycling in Salzburg“, Waste Magazin 1/96, S. 39-40
- WEHNER, B.: „Griffigkeitsmessungen auf winterglatten Fahrbahnoberflächen“, Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Heft 40, Kirschbaum Verlag, Bad Godesberg, 1960
- WEINSPACH, K. / ZIMMERMANN, G.: „Bestehende und voraussagbare Wirkungen des Straßenverkehrs auf die natürliche Umgebung in der Bundesrepublik Deutschland“, Nowosci Zagranicznej Techniki Drogowej, 121/95, Warszawa
- WICHMANN, M.: „Straßenreinigung und Winterdienst in der kommunalen Praxis“, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1995
- WOICK, H.: „Ist ein umweltfreundlicher Winterdienst möglich?“, Niedersächsischer Städteverband, NStV-N 6/1980, S. 178-181
- WOICK, H.: „Winterdienst ist nicht immer ein Kampf bis aufs „Wasser““, Kommunalwirtschaft 1/1977, S. 36-38
- WULLENWEBER, H.: „Salzfreies Streuen als Bluff entlarvt“, Rundschau, 7. Januar 1987

## Schriftenreihe

## Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

## Unterreihe „Verkehrstechnik“

- V 1: **Leitfaden Parkraumkonzepte**  
H. P. Appel, R. Baier, A. Wagener  
129 Seiten, 1993
- V 2: **Langzeitwirkung von Streusalz auf die Umwelt**  
H.-G. Brod  
165 Seiten, 1993
- V 3: **Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelprüfanlagen**  
H. Wirtz, K. Moritz  
33 Seiten, 1993
- V 4: **Sicherheitsbewertung von Querungshilfen für den Fußgängerverkehr**  
K. Füsser, A. Jacobs, J. Steinbrecher  
238 Seiten, 1993
- V 5: **Sicherheitsbewertung von Querschnitten außerörtlicher Straßen**  
U. Brannolte, H.-B. Barth, R. Schwarzmann, W. Junkers, Y. Liu, H. Sigthorsson, J. Stein  
148 Seiten, 1993
- V 6: **Schutzeinrichtungen an Bundesfernstraßen**  
R. Schnüll, N. Handke, F. Gause, B. Göcke, P. Patzschke, U. Prenzlau, Th. Schröder, St. Wiesbesiek, W. Engel  
112 Seiten, 1993
- V 7: **Ortsdurchfahrt Much**  
A. Moritz, E. Rossbander, W. Brilon, H. Blanke  
134 Seiten, 1993
- V 8: **Verkehrssicherheit und modernes Verkehrsmanagement**  
Symposium der Deutschen Verkehrswacht am 29. Oktober 1992 in Stuttgart  
52 Seiten, 1993
- V 9: **Verkehrssichere Anlage und Gestaltung von Radwegen**  
W. Angenendt, J. Bader, Th. Butz, B. Cieslik, W. Draeger, H. Friese, D. Klöckner, M. Lenssen, M. Wilken  
95 Seiten, 1993
- V 10: **Linienbusse im Stadtverkehr**  
I. Birk, O. Kampschulte, H. Luda, M. Schünemann, A. Strauß, B. Wewers, D. Winkler-Hübsch  
52 Seiten, 1993
- V 11: **Digitale Bildverarbeitung zur Verkehrsanalyse**  
H. H. Topp, Th. Horstmann, Chr. Hupfer  
35 Seiten, 1993
- V 12: **Haltestellenformen an innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen**  
H. H. Topp, M. Haag, Chr. Hupfer, K. Ackermann  
144 Seiten, 1993
- V 13: **Parkleitsysteme - Wirksamkeitsuntersuchung und Konzeptentwicklung**  
H. H. Topp, S. Körntgen, U. Gevatter, A. Theiß, S. Vincenzi  
126 Seiten, 1994
- V 14: **Straßenbeleuchtung und Verkehrssicherheit**  
G. Uschkamp, R. Hecker, H.-U. Thäslar, D. Breuer  
194 Seiten, 1994
- V 15: **Grundlagen für Beschilderung**  
H. Erke, M. Latzel, D. Ellinghaus, K. Seidenstecher  
184 Seiten, 1994
- V 16: **Abwicklung des Lieferverkehrs an innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen**  
A. Hamed  
132 Seiten, 1994
- V 17: **Auswirkungen der Umweltgesetzgebung auf den Straßenbetriebsdienst**  
B. Gallenkemper, M. Fritsche, G. Walter  
88 Seiten, 1995
- V 18: **Entwicklung einer Kenngröße der Winterlichkeit zur Bewertung des Tausalzverbrauchs**  
J. Breitenstein  
30 Seiten, 1995
- V 19: **Straßenverkehrszählung 1990**  
Ergebnisse für die Bundesfernstraßen  
499 Seiten, 1995
- V 20: **Verkehrssicherheit an städtischen Knotenpunkten in den neuen Bundesländern**  
R. Schnüll, N. Handke, U. Ebcinoglu, M. Adler, F. Engelmann, B. Pott, U. Prenzlau, Th. Schröder, H. Münch, A. Dittmar, C. Graf, F. Wich-Heiter, F. Wellendorf, N. Breyer, G. Geisler, P. Patzschke, R. Rudolph, W. Trinius  
20 Seiten, 1995
- V 21: **Risiko-Abschätzung für den Einsatz von Tausalzen**  
H.-G. Brod  
62 Seiten, 1995
- V 22: **Straßenverkehrszählung 1990**  
Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik  
Teil 1: Alte Bundesländer  
N. Lensing  
Teil 2: Neue Bundesländer  
Verkehrsanlagen Consult GmbH  
102 Seiten, 1995
- V 23: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1992 und 1993**  
Jahresauswertung der Langzeitzählstellen  
G. Ionescu, B. Paatz  
311 Seiten, 1995
- V 24: **Straßenverkehrszählung 1993**  
Ergebnisse für die Bundesfernstraßen  
539 Seiten, 1995
- V 25: **Straßenverkehrszählung 1990**  
Jahresfahrleistungen und mittlere DTV-Werte  
Teil 1: Alte Bundesländer  
N. Lensing  
Teil 2: Neue Bundesländer  
Verkehrsanlagen Consult GmbH  
63 Seiten, 1995
- V 26: **Straßenverkehrszählung 1993**  
Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik  
N. Lensing  
54 Seiten, 1995
- V 27: **Straßenverkehrszählung 1993**  
Jahresfahrleistungen und mittlere DTV-Werte  
N. Lensing  
55 Seiten, 1995
- V 28: **Sicherheitsbezogene Beurteilung von Autobahnbaustellen**  
W. Krux, D. Determann  
144 Seiten, 1995
- V 29: **Untersuchungen zur Schnittgutverwertung**  
Teil III: Erhebung und Bewertung der anorganischen Schadstoffbelastung  
B. Krieger, J. Breitenstein  
125 Seiten, 1996
- V 30: **Dokumentation Parken**  
Materialsammlung zum „Parken in der Stadt“  
R. Huber-Erlar, K.-H. Schäfer, A. Wagener, R. Baier, M. Wacker  
120 Seiten, 1996
- V 31: **German-Japanese Workshop on Intelligent Transport Systems, Highway Traffic Safety and Tunnel Safety**  
Reports of the 1994 Workshop December 05-07, 1994 in the Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)  
203 Seiten, 1996
- V 32: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1994**  
Jahresauswertung der Langzeitzählstellen  
G. Ionescu  
355 Seiten, 1996
- V 33: **Entwicklung eines Wirtschaftsverkehrsmodells für Städte**  
H. Sonntag, B. Meimbresse, U. Castendiek  
95 Seiten, 1996
- V 34: **Eignung von Bankettschälgut für Erdbauten**  
B. Gallenkemper, M. Fritsche, A. Sowa, G. Walter  
66 Seiten, 1996
- V 35: **Photovoltaik in der Straßenausstattung**  
D. Heuzeroth  
68 Seiten, 1996
- V 36: **Glättebildung durch Überfrieren**  
J.-P. Nicolas  
26 Seiten, 1996
- V 37: **Sicherheit des Radverkehrs auf Erschließungsstraßen**  
D. Alrutz, J. Stellmacher-Hein  
158 Seiten, 1997
- V 38: **Pflegewirkungen auf Tiere und Pflanzen am Straßenrand**  
U. Tegethof  
44 Seiten, 1997
- V 39: **Auswirkungen des Anwohnerparkens**  
R. Baier, W. Braun, Chr. Peter, A. Wagner  
104 Seiten, 1997
- V 40: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1995**  
Jahresauswertung der Langzeitzählstellen  
G. Ionescu  
379 Seiten, 1997
- V 41: **Straßenverkehrszählung 1995**  
Jahresfahrleistungen und mittlere DTV-Werte  
N. Lensing  
59 Seiten, 1997
- V 42: **Kooperationen von Speiditionen im Güternahverkehr**  
H.-J. Ewers, P. Wittenbrink, C. Lehmann, St. Gerwens  
208 Seiten, 1997
- V 43: **Notwendiger Autoverkehr**  
H. Topp, M. Haag  
60 Seiten, 1997
- V 44: **Sicherheitsrisiken an Lichtsignalanlagen**  
Untersuchung zu Sicherheitsrisiken an LSA durch den Zeit- und/oder verkehrabhängigen Einsatz von mehr als einem Steuerungsverfahren  
M.F. Brenner, H. Ziegler, K. Seeling, D. Kopperschläger  
96 Seiten, 1997

- 
- V 45: **Straßenverkehrszählung 1995**  
Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik  
N. Lensing  
56 Seiten, 1997
- V 46: **Ausstattung und Beleuchtung von Straßenräumen**  
H. Erke, F. Keunecke  
172 Seiten, 1997
- V 47: **Straßenverkehrszählung 1995**  
**Ergebnisse für die Bundesfernstraßen**  
540 Seiten, 1997
- V 48: **Verkehrssicherheitsprogramm Brandenburg - Straßenbauliche Maßnahmen**  
E. Buss  
74 Seiten, 1997
- V 49: **Wirksamkeit vertikaler Leitelemente für Straßenarbeitsstellen**  
H.-H. Meseberg  
96 Seiten, 1997
- V 50: **Straßenraumgestaltung unter Berücksichtigung historischer Bezüge**  
A. Kossak, S. Unger  
209 Seiten, 1997
- V 51: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1996**  
**Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen**  
G. Ionescu, M.A. Kühnen, R. Nitzsche, W. Tautz  
147 Seiten, 1997
- V 52: **Innenstadtverkehr und Einzelhandel**  
R. Baier, K. H. Schäfer, L. Müller-Hagedorn, M. Schuckel, N. Ziehe  
60 Seiten, 1998
- V 53: **Video-Technik im Straßenwesen**  
U. Heck, U. Nehren, L. Neumann, B. Schaaf, J. Schönharting, D. Windhorst  
96 Seiten, 1998
- V 54: **Wirkungen von Maßnahmen zur Unfallstellenbeseitigung im innerörtlichen Straßennetz**  
W. Brilon, R. Weinert  
100 Seiten, 1998
- V 55: **Standstreifen und Verkehrssicherheit auf BAB**  
D. Heidemann, M. Bäumer, R. Hamacher, H. Hautzinger  
48 Seiten, 1998
- V 56: **Bewertung der Attraktivität von Radverkehrsanlagen**  
D. Alrutz, W. Bohle, E. Willhaus  
104 Seiten, 1998
- V 57: **Auswirkungen von Haltestellen auf Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität innerstädtischer Hauptverkehrsstraßen**  
U. Köhler, S. Strauß, S. Wichmann  
39 Seiten, 1998
- V 58: **Park + Ride versus flächendeckende ÖPNV-Bedienung**  
R. Baier, A. Demny, K. H. Schäfer, H. Dobeschinsky, R. Krause  
49 Seiten, 1998
- V 59: **Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik für die Durchführung von Straßenverkehrszählungen (SVZ 2000)**  
S. Laffont, G. Regniet, G. Schmidt, B. Thomas  
109 Seiten, 1998
- V 60: **Straßenseitige Belastungen des Grundwassers**  
U. Tegethof  
34 Seiten, 1998
- V 61: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1997**  
**Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen**  
G. Nierhoff, I. Palm, G. Regniet, G. Schmidt  
169 Seiten, 1999
- V 62: **Führung von Nahverkehrsfahrzeugen in Hauptverkehrsstraßen**  
R. Schnüll, R. Johannsmeier, A. Albers, P. Etzold, U. Kloppe, J. Sporbeck, A. Wilms  
185 Seiten, 1999
- V 63: **Gestaltungskriterien von Landstraßenkurven**  
G. Weise, R. Steyer  
87 Seiten, 1999
- V 64: **Querschnittsbreiten einbahniger Außerortsstraßen und Verkehrssicherheit**  
**und Sonderuntersuchung zum Querschnittstyp b2+1**  
I. Palm, G. Schmidt  
81 Seiten, 1999
- V 65: **Auswirkungen unterschiedlicher zulässiger Höchstgeschwindigkeiten auf städtischen Straßen**  
H.-G. Retzko, Ch. Korda  
88 Seiten, 1999
- V 66: **Umweltauswirkungen abstumpfender Streustoffe im Winterdienst**  
Literaturanalyse  
K. Moritz  
84 Seiten, 1999
- 
- Die Hefte sind kostenpflichtig. Aus postalischen Gründen werden die Preise in dieser Übersicht nicht aufgeführt.
- Auskünfte und Bezug durch:**  
Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10  
D-27511 Bremerhaven  
Telefon (04 71) 9 45 44 - 0  
Telefax (04 71) 9 45 44 88