Dr. Beatrice Ruess

Salz- oder Splittstreuung im Winterdienst

Optimierung der Kosten-/Nutzenverhältnisse unter Berücksichtigung von umwelt- und sicherheitsrelevanten Faktoren

RUS AG, Raum - Umwelt - Sicherheit
Haselstrasse 1, CH-5401 Baden

Tel. 056 221 25 24 Fax 056 203 72 99

Forschungsauftrag 4/95 auf Antrag der
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)

Januar 1998

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
ZUSAMMENFASSUNG		vi
1	**EINFÜHRUNG**	1
2	**VORGEHEN, METHODIK UND ABGRENZUNG**	4
3	**BISHERIGE BESTANDESAUFNAHMEN**	6
3.1	WIRTSCHAFTLICHKEIT	6
3.1.1	Allgemeines zur Wirtschaftlichkeit	6
3.1.2	Salzstreuung	7
3.1.3	Splittstreuung	11
3.2	UMWELT	14
3.2.1	Umweltauswirkungen der Salzstreuung	14
3.2.2	Umweltauswirkungen der Splittstreuung	17
3.3	SICHERHEIT	22
3.3.1	Sicherheitsaspekte bei der Salzstreuung	22
3.3.2	Sicherheitsaspekte bei der Splittstreuung	23
3.4	LEISTUNGSFÄHIGKEIT DER STRASSEN	31
3.4.1	Leistungsfähigkeit der Strassen bei der Salzstreuung	31
3.4.2	Leistungsfähigkeit der Strassen bei der Splittstreuung	31
3.5	SYNTHESE	33
3.6	PRAKTISCHE HINWEISE ZUR OPTIMIERUNG DES WINTERDIENSTES	37
3.6.1	Winterdienst auf Strassen innerorts	37
3.6.2	Winterdienst auf Radwegen	41
3.6.3	Winterdienst auf Gehwegen	42
4	**DATENERHEBUNGEN ZUM WINTERDIENST IN DREI STÄDTEN: TESTSTRECKEN**	43
4.1	EINFÜHRUNG	43
4.2	VORGEHEN UND GRUNDLAGEN	43
4.2.1	Teststrassen	43
4.2.2	Testtrottoirs	44
4.3	ERGEBNISSE	44
4.3.1	Winterdienst in den drei Städten	44
4.3.2	Anzahl Einsätze auf den Strassen in den beiden Wintern	45
4.3.3	Streumengen	46
4.3.4	Sicherheitsaspekte	49
4.3.5	Kostenvergleich Splitt/Salz bei den gewählten Teststrassen	49
4.3.6	Kostenvergleich bei den gewählten Trottoirs	55
4.3.7	Bewertung der Resultate aus der Sicht Umwelt und Wirtschaftlichkeit	55

INHALTSVERZEICHNIS (Fortsetzung)

		Seite
5	**REPRÄSENTATIVE DATEN FÜR DIE GEWÄHLTEN STÄDTE**	58
5.1	ZIELE	58
5.2	VORGEHEN UND METHODIK	58
5.3	ERGEBNISSE	58
5.3.1	Ablaufschema Winterunterhalt	58
5.3.2	Hochrechnung der Kosten der Teststrecken auf das Stadtnetz	59
5.3.3	Volkswirtschaftliche Bedeutung des Winterdienstes	63
5.3.4	Zuverlässigkeit der Resultate	63
5.3.5	Diskussion der Resultate	63
6	**VEREINFACHTE ÖKOBILANZ SALZ/SPLITT**	65
6.1	ZIEL	65
6.2	VORGEHEN UND SYSTEMABGRENZUNG	65
6.3	ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ SALZ/SPLITT	65
6.4	ZUVERLÄSSIGKEIT DER RESULTATE	66
6.5	BEWERTUNG DER ERGEBNISSE	66
7	**GESAMTBEWERTUNG UND SYNTHESE**	70
7.1	WIRTSCHAFTLICHKEIT	70
7.2	UMWELT	71
7.3	SICHERHEIT	72
7.4	SYNTHESE	73
8	**EMPFEHLUNGEN UND AUSBLICK**	77
8.1	EMPFEHLUNGEN	77
8.2	FORSCHUNGSBEDARF	79
8.3	AUSBLICK	79
LITERATUR		81

Figuren

3.1.1 (1) Schematische Darstellung der Winterdienstkosten als Funktion des "durchschnittlichen täglichen Verkehrs" (DTV)
(2) Kosten für die Durchführung des Winterdienstes als Funktion des DTV.
S = Österreichische Schilling

3.3.2 Gleitbeiwerte (Variationsbreite von 90 % der Werte) für verschiedene Fahrbahnzustände nach WEHNER und HOFMANN (in DURTH et al., 1989)

3.3.3 Gefährdungsfaktoren für unterschiedliche Fahrbahnzustände und verschiedene Messstellen
a) winterglatte Fahrbahn ohne Glatteis
b) winterglatte Fahrbahn mit Glatteis (nach HOFMANN, 1986)

3.3.4 Rollsplitt-Effekt auf feuchtnasser Fahrbahn: Gleitbeiwerte bei Vorhandensein unterschiedlicher Mengen von Streumaterial für unterschiedliche Messgeschwindigkeiten (nach HOFFMANN et al., 1985a)

3.3.5 Absolute Zunahme der Unfallraten bei winterlichen Strassenverhältnissen (ohne leichte Sachschäden)
NW = nicht winterliche Witterung
LW = leicht winterliche Witterung
SW = stark winterliche Witterung
EW = extrem winterliche Witterung

3.6.1 Vergleich der Strassennetzanteile und der jeweiligen Winterbehandlung im Winter 1982/83 (Durchschnitt aller Städte) (nach HANKE, 1987)

4.3.1 Streumengen auf den Teststrecken im Winter 1996 (Januar - April)

4.3.2 Streumengen auf den Teststrecken im Winter 1996/97 (November - April)

4.3.3 Streumengen auf den Testtrottoirs (Winter 1996/97)

4.3.4 Kosten pro km und Winter für die Teststrecken (Winter 1996)
DS1 = Dringlichkeitsstufe 1; DS2 = Dringlichkeitsstufe 2

4.3.5 Kosten pro km und Winter für die Teststrecken (Winter 1996/97)
DS1 = Dringlichkeitsstufe 1; DS2 = Dringlichkeitsstufe 2

4.3.6 Anteil der Winterdienst-Aktivitäten an den Gesamtkosten (Winter 1996)
In Zürich: Material (inkl. Kosten für Recyclingsplitt)
In Chur: Einsammeln (inkl. Entsorgungskosten)

4.3.7 Kosten pro km und Winter für die Testtrottoirs (Winter 1996/97)

6.3.1 Wirkungsabschätzung mit Umweltbelastungspunkten (ohne UBP für Deponie)

6.3.2 Wirkungsabschätzung mit Umweltbelastungspunkten UBP nach Kompartimenten (ohne UBP für Deponie)

6.3.3 Wirkungsabschätzung nach Eco-indicator 95

6.3.4 Wirkungsabschätzung nach Eco-indicator 96, Aufteilung nach Wirkungskategorien

Tabellen

2.1 Definition der Bewertungsklassen für die Aspekte Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Umwelt

2.2 Kategorien zur Bewertung des Informationsgehaltes und der Vollständigkeit bestehender Untersuchungen

3.1.1 Zusammenstellung der Kosten bzw. des Nutzens pro Fahrzeugkilometer (DURTH et al., 1989)

3.2.1 Zusammenfassung der in Amerika jährlich durch Streusalz verursachten Infrastruktur-Kosten (MENZIES, 1992)

3.2.2 Vergleich der Untersuchungsergebnisse über Schwermetallbelastungen in abstumpfenden Streumitteln (MORITZ, 1984) mit den Grenzwerten (in ppm)

3.2.3 Untersuchungen vom eingesammelten Splitt bei der Splittaufbereitungsanlage in Zürich, vor der Behandlung (STADTENTWÄSSERUNG, 1991; Untersuchungen der Firma Eberhart, 1996, nicht veröffentlicht)
KW = Kohlenwasserstoffe; TVA = Technische Verordnung über Abfälle

3.2.4 Resultate der Laboruntersuchungen von Feinstaub aus der Splittaufbereitungsanlage in Zürich gemäss Laborbericht Stadtentwässerung Zürich 25.11.87 und Resultate 14./15.08.1991 (nicht veröffentlicht)

3.3.1 Ermittelte verkehrlich-betriebliche Auswirkungen des eingeschränkten Winterdienstes, ausgedrückt in Mehraufwand pro 100 t eingesparten Salzes (nach DURTH et al., 1989)

3.5.1 Vor- und Nachteile der Salz- oder Splittstreuung

3.6.1 Empfehlungen zum Streustoff-Einsatz (VKS, 1997)

3.6.2 Empfehlungen zur Minimierung der Salzmengen (VKS, 1997)

4.3.1 Anzahl Streu- und Räumeinsätze (Mittelwert der Teststrecken) im Winter 1996 (Januar - April) und im Winter 1996/97 auf den Teststrecken

4.3.2 Grobe Klassierung der Winter 1996 und 1996/97 aufgrund der Einsatztage (SE = Schneeeinsätze; EE = Eiseinsätze). Aufgrund der unterschiedlichen Höhenlagen muss in Zürich noch weiter differenziert werden.

5.3.1 Zürich: Vergleich Hochrechnung Teststrecken mit jährlicher Betriebskostenabrechnung für 1996

5.3.2 Baden: Vergleich Hochrechnung Teststrecken mit jährlicher Betriebskostenabrechnung für 1996

5.3.3 Chur: Vergleich Hochrechnung Teststrecken mit jährlicher Betriebskostenabrechnung für 1996

7.4.1 Vor- und Nachteile der Salz-/Splittstreuung im innerstädtischen Bereich: Überblick

7.4.2 Definition der Bewertungsklassen für die Aspekte Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Umwelt

Tabellen (Fortsetzung)

7.4.3 Bewertungsmatrix Wirtschaftlichkeit, Sicherheit, Umwelt

Beilagen

4.2.1 Daten zu den Teststrassen
4.2.2a Zürich, Teststrassen 1, am 09.02.1996
4.2.2b Zürich, Teststrassen 2, am 09.02.1996
4.2.2c Zürich, Teststrassen 3, am 09.02.1996
4.2.2d Baden, Teststrassen 1, am 13.02.1996
4.2.2e Chur, Quartierstrassen, am 09.12.1996
4.2.3 Formblatt Datenerhebung Strassen
4.2.4 Kostenansätze und Annahmen
4.2.5 Formblatt Datenerhebung Trottoirs
4.2.6 Daten zu den Trottoirs
4.2.7 Auswertungstabelle Strassen 1996/1997
4.2.8 Auswertungstabelle Trottoirs 1996/97
4.3.1 Vorschriften der Stoffverordnung
4.3.2 Definition der Dringlichkeitsstufen
4.3.3 Anzahl Einsätze im Winter 1996
4.3.4 Anzahl Einsätze im Winter 1996/97
4.3.5 Streumengen je Einsatz/Winter 1996
4.3.6 Streumengen je Einsatz/Winter 1996/97
4.3.7 Beispiel einer Auswertung der geschätzten Fahrgeschwindigkeiten (Winter 1996)
4.3.8 Kosten Teststrecken (Winter 1996)
4.3.9 Kosten Teststrecken (Winter 1996/97)
5.3.1 Zürich - Schema Winterunterhalt
5.3.2 Baden - Schema Winterunterhalt
5.3.3 Chur - Schema Winterunterhalt

Anhang

1 Vereinfachte Ökobilanz Salz-/Splittstreuung, EMPA St. Gallen

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit ist es, aufgrund des heutigen Stands des Wissens objektive und praxisbezogene Entscheidungshilfen zur Ermittlung der Einsparungsmöglichkeiten bei Splitt- oder Salzanwendung im Winterdienst (innerörtlicher Bereich) zu erarbeiten. Dabei steht eine integrale Betrachtung der Folgen für Sicherheit, Umwelt und Wirtschaftlichkeit im Vordergrund.

Die wichtigsten Ergebnisse der Forschungsarbeit, welche im Auftrag des Bundesamtes für Strassen durchgeführt wurde, können wie folgt zusammengefasst werden:

Wirtschaftlichkeit: Umfangreiche Publikationen zeigen eindeutig, dass die Salzstreuung einen hohen volkswirtschaftlichen Nutzen aufweist. Der volkswirtschaftliche Nutzen der Splittstreuung ist hingegen aufgrund verschiedener Hinweise aus der Literatur eher gering.

Der Versuch mit den Teststrecken in Zürich und Chur zeigte, dass die Einsatzkosten für die Streuung eines Kilometers Strasse in einem normalen Winter ca. 6fach höher bei der Splitt- als bei der Salzstreuung liegen. In einem strengen Winter liegt der Faktor sogar bei ca. 10. Dieses Resultat bestätigt die bisherigen Schätzungen aus Deutschland.

Umwelt: Bezüglich Umweltaspekte können sowohl die Salzbelastung der Böden als auch diejenige der Fliessgewässer und des Grundwassers aufgrund des örtlich und zeitlich beschränkten Auftretens als gering bewertet.

Die Beeinträchtigung der Vegetation, insbesondere der Bäume im innerstädtischen Bereich, darf nicht unterschätzt werden. Massnahmen zur Reduktion der Salzbelastung werden weiterhin empfohlen.

Das massive Ausbringen von Splitt und die damit verbundene Abfallproduktion steht im Widerspruch zum Vorsorge- und Vermeidungsprinzip nach Umweltschutzgesetz und TVA. Die im Rahmen der vorliegenden Studie erstellte Ökobilanz zeigt, dass die Salzstreuung bezüglich ökobilanzrelevanten Belastungen (Energie- und Wasserbedarf, Luft- und Wasseremissionen, Abfallmengen) deutlich besser als die Splittstreuung abschneidet. Untersuchungen in Deutschland kommen zum Schluss, dass die Staubbelastung beim Wiedereinsammeln des Splitts gravierende Auswirkungen auf die Gesundheit des Strassenpersonals und in geringerem Masse der Passanten haben kann.

Sowohl die Salz- (Schädigung der Vegetation) als auch die Splittstreuung (Entsorgung, Staubbelastung, Ökobilanz) sind als "**erhebliche**" Belastungen einzustufen. Massnahmen zur Reduktion der Streumengen beider Stoffe sind weiterhin notwendig.

Sicherheit: Die Salzstreuung gewährleistet die Verkehrssicherheit im Winter und kann bezüglich Sicherheit als sehr gute Lösung bezeichnet werden.

Hingegen hält die Wirkung von Splitt nur selten längere Zeit an. Zudem zeigten Kraftschlussmessungen (Haftung von Fahrzeugrad an Fahrbahn; massgebend für den Bremsweg und die Fahrstabilität), dass die Wirkung von Splitt nur gering ist. Splittstreuung suggeriert dem Autofahrer eine stärkere Erhöhung der Griffigkeit als sich tatsächlich einstellt, was zu hohe Geschwindigkeiten zur Folge hat. So ergibt sich bei der Splittstreuung eine höhere Überschreitung des Risikofaktors als bei der Salzstreuung.

Bei der **Nullstreuung** (starkes Räumen, kein Streuen, nur in Spezialfällen wenig salzen) sind tendenziell eine geringere Unfalldichte und auch geringere mittlere Unfallkosten zu verzeichnen als bei der Splittstreuung. In den untergeordneten Strassen ohne Winterdienst wird also bewusster auf die winterlichen Gefahren reagiert. Die Nullstreuung kommt nur in Frage in ebenen Quartierstrassen, ohne spezielle Gefahrenstellen. Diese Winterdienst-Methode

schneidet bei der Gesamtbewertung bezüglich Wirtschaftlichkeit, Umwelt und Sicherheit besser als die Splittstreuung ab. Die Nullstreuung kann in Zukunft in den Städten stufenweise eingeführt werden.

RESUME

La présente étude a pour but de présenter sur la base des connaissances actuelles des critères objectifs et pratiques permettant de déterminer les possibilités d' améliorer la rentabilité du service hivernal des communes par l' utilisation du sel ou du gravier. Dans cette perspective, la prise en compte des conséquences intégrales pour la sécurité, l'environnement et la rentabilité a été un élément central du travail.

Les principaux résultats de cette recherche, effectuée sur mandat de l' Office Fédéral des Routes, peuvent être résumés comme suit:

Rentabilité: Nombre de publications démontrent clairement que l' utilisation du sel routier présente une grande utilité économique. Par contre, selon diverses indications de publications récentes, l' utilité économique de l' usage du gravier est plutôt limitée.

L' expérience effectuée sur des routes test à Zurich et Coire a démontré que le coût de l' entretien hivernal d' un kilomètre de route était six fois plus élevé en utilisant le gravier qu' en utilisant le sel. Ceci est valable pour un hiver normal. Durant un hiver rude, le facteur s' élève à dix. Ceci confirme les estimations effectuées récemment en Allemagne.

Environnement: Les nuisances du sol ainsi que celles des cours d' eau et des nappes phréatiques provoquées par l' entretien hivernal à base de sel sont limitées. Elles sont géographiquement restreintes et le plus souvent d' ordre passager.

Les atteintes portées à la végétation et spécialement aux arbres en zone communales provoquées par l' usage du sel routier ne doivent pas être sous-estimées. Des mesures pour diminuer l' utilisation du sel sont toujours d' actualité.

L' usage fréquent du gravier et par ce fait, la production massive de déchets, s' oppose au principe de la prévention des déchets à la source selon la Loi sur l' Environnement et l Ordonnance Technique sur les Déchets. Le bilan écologique réalisé dans le cadre de cette étude démontre que l' usage du sel pollue moins l' environnement que l' usage du gravier. Les sources de nuisances considérées dans le bilan écologique sont l' utilisation de l' énergie et de l' eau, les émissions dans l' air et l' eau ainsi que les déchets. Des études effectuées en Allemagne démontrent, en outre, que la poussière due au ramassage du gravier provoque des effets néfastes sur la santé du personnel d' entretien et de façon moindre sur celle des passants.

L' usage du sel de dégel (atteintes à la végétation) tout comme celui du gravier (élimination des déchets, poussières, bilan écologique) occasionnent des effets nuisibles "**considérables**" pour l' environnement. Des mesures pour réduire l' emploi des deux substances sont toujours à conseiller.

Sécurité: L' usage du sel de dégel garantit la sécurité routière. Du point de vue de la sécurité, cette solution peut être qualifiée de très bonne.

Par contre, l' effet du gravier ne dure pas longtemps. Des mesures de l' adhésion de la roue à la chaussée (déterminante pour la distance de freinage et la stabilité du véhicule) ont démontré que l' effet du gravier était minime. L' épandage du gravier suggère, en outre, au conducteur une forte augmentation de l' adhésion à la chaussée. Celle-ci, en fait, est minime. Ceci entraîne de la part des conducteurs, des vitesses trop élevées, non adaptées aux circonstances. De ce fait, le facteur de risque est plus élevé avec l' épandage du gravier qu' avec celui du sel.

Avec **l' épandage zéro** (déblayement de neige, pas d' épandage, dans des situations spéciales épandage minimal de sel) une diminution de la fréquence des accidents ainsi que du coût moyen des accidents par rapport à ceux constatés avec l' usage du gravier a été observée.

Sur les routes non traitées par le service hivernal, les conducteurs réagissent de façon plus consciente aux dangers de l' hiver. L' épandage zéro ne peut être appliqué que sur des routes de quartiers, ne présentant pas de zones de dangers. En tenant compte des conséquences pour la rentabilité, l' environnement et la sécurité, cette méthode de service hivernal est supérieure à celle basée sur l' usage du gravier. A l' avenir, l' épandage zéro pourra être successivement introduit dans les villes.

1 EINFÜHRUNG

Ausgangslage

Infolge der zunehmenden Motorisierung in den 60er und 70er Jahren wurden insbesondere zur Gewährleistung des Verkehrsflusses im Winter in den Städten sehr hohe Salzmengen ausgebracht. Dies führte in relativ kurzer Zeit zu starken Schäden an Strassenbäumen, Strassenbegleitgrün, Fahrzeugen und Bauwerken. Die Schäden wurden in der Öffentlichkeit heftig kritisiert mit der Forderung nach einer massiven Reduktion der Salzstreuung.

In der Schweiz wurde am 9. Juni 1986 die "Verordnung über umweltgefährdende Stoffe" (STOFFVERORDNUNG, 1986) in Kraft gesetzt, mit dem Ziel, u. a. auch die Salzbelastung in der Umwelt zu reduzieren. Aufgrund dieser Verordnung und des gesteigerten Umweltbewusstseins haben viele Kantone, Städte und Gemeinden seither den Salzverbrauch im Winterdienst gesenkt oder gar verboten. Als Ersatz wird vielerorts die Verwendung von Splitt vorgeschrieben, in der Überzeugung, Splitt belaste die Umwelt wesentlich weniger und sei bezüglich Verkehrssicherheit ähnlich wirksam.

Nun zeigte sich aber in der Praxis, dass die Anwendung von Splitt in grösseren Mengen auch wesentliche Nachteile mit sich bringt. Die Splittstreuung verursacht mit dem Ausbringen, dem Nachstreuen, dem Wiedereinsammeln und schliesslich der Entsorgung sehr hohe Kosten und schafft gleichzeitig auch neue Umweltprobleme wie beispielsweise erhöhte Transportfahrten und Entsorgungsengpässe. Auch die Verkehrssicherheit wird scheinbar nicht im gleichen Umfang wie ursprünglich angenommen gewährleistet.

Im Ausland wurden in der Zwischenzeit umfangreiche Forschungsvorhaben durchgeführt, die zu neuen Erkenntnissen u.a. auch bezüglich der Wirksamkeit der verschiedenen Streustoffe führten.

Aufgrund der nun vorliegenden jahrelangen Praxis mit der Splittstreuung, der wesentlich neuen Erkenntnisse zu den Eigenschaften und Einsatzbereichen der Streustoffe und der heutigen angespannten wirtschaftlichen Lage drängt sich eine neue Lagebeurteilung auf.

In der Gesamtabwägung zwischen Splitt- oder Salzanwendung im Winterdienst ist gemäss übereinstimmender Meinung der Fachkreise ein bestmöglicher Kompromiss zwischen den Aspekten Verkehrssicherheit, Umwelt und Wirtschaftlichkeit zu finden.

Ziel der Forschungsarbeit

Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit ist es, aufgrund des heutigen Stands des Wissens objektive und praxisbezogene Entscheidungshilfen zur Ermittlung der Einsparungsmöglichkeiten bei Splitt- oder Salzanwendung im Winterdienst (innerörtlicher Bereich) zu erarbeiten. Dabei steht eine integrale Betrachtung der Folgen für Sicherheit, Umwelt und Wirtschaftlichkeit im Vordergrund.

Die Darstellung und Bewertung der Vor- und Nachteile der beiden Winterdienstmethoden soll für die Strassenverwaltungen und deren übergeordnete politische Instanzen Grundlagen und Datenmaterial für eine sachgerechte Lagebeurteilung liefern.

Zuerst soll eine systematische Erhebung aller vorhandenen Informationen und Daten zum Thema erfolgen. Das aktuelle, sehr umfassende Fachwissen auf diesem Gebiet soll nachvollziehbar und übersichtlich dargestellt werden.

Danach stehen die Ausarbeitung und Erforschung einiger noch fehlender Daten im Vordergrund. Dabei sollen einerseits anhand ausgewählter Teststrecken im städtischen Bereich die Betriebskosten des Winterdienstes, getrennt nach Salz- und Splittstreuung, genauer erfasst werden. Andererseits sollen auch die Umweltauswirkungen der beiden Stoffe mit Hilfe eines vereinfachten Ökobilanz-Ansatzes, d. h. mit Schwergewicht auf relevante Teilbereiche wie beispielsweise Energieverbrauch und Entsorgung miteinander verglichen werden.

Schliesslich sind im Rahmen einer Synthesedarstellung alle relevanten Kriterien einander gegenüberzustellen und zu bewerten.

Gesetzlicher Rahmen in der Schweiz

Gemäss der Stoffverordnung "dürfen Stoffe nur soweit in die Umwelt ausgebracht werden, als dies für den angestrebten Zweck erforderlich ist" (Art. 10). Dabei dürfen insbesondere Auftaumittel im öffentlichen Winterdienst "nur verwendet werden, wenn sich abstumpfende Mittel wie Splitt und Sand zur Bekämpfung von Glatteis und Schneeglätte nicht eignen" (Anhang 4.6, Abs.32).

Die Kantone sorgen dafür, dass "Routenverzeichnisse erstellt werden, in denen festgehalten wird, wo Auftaumittel verwendet werden dürfen und wie sie auszubringen sind" (Anhang 4.6, Abs.32).

Gemäss dieser Vorschrift gilt in der Schweiz der **örtlich** differenzierte Winterdienst. Die Salzstreuung darf nur auf gewissen Strassenstrecken angewandt werden. Zudem darf Salz nur ausgebracht werden, wenn Splitt oder Sand nicht geeignet sind.

Die Formulierung der Stoffverordnung lässt aber den Strassenverwaltungen einen beachtlichen Handlungsspielraum bei der Durchführung des Winterdienstes. Dementsprechend bestehen auch wesentliche Unterschiede in der Durchführung des Winterdienstes von einer Verwaltung zur anderen.

Aufbau des Berichts

Der vorliegende Forschungsbericht ist wie folgt gegliedert:

Im Kapitel 2 "Vorgehen und Methodik" wird das Vorgehen und die Bewertungsmethodik für die Synthesedarstellung umschrieben.

Das Kapitel 3 "Bisherige Bestandesaufnahmen" enthält eine Übersicht über die in der Literatur vorhandenen Forschungsergebnisse und Informationen zu den Themen Wirtschaftlichkeit, Umwelt, Sicherheit und Leistungsfähigkeit der Strassen im Rahmen des Winterdienstes. Die Resultate aus der Literatur werden in einer Synthesedarstellung bewertet.

Im Kapitel 4 "Datenerhebungen zum Winterdienst in drei Städten: Teststrecken" werden die Ergebnisse der Datenerhebungen auf den Strassen- und Trottoir-Teststrecken Zürich, Baden und Chur dargestellt und erläutert.

Weitere repräsentative Daten für die ganze Schweiz und die drei genannten Städte zu den Aspekten Wirtschaftlichkeit, Umwelt und Sicherheit werden im Kapitel 5 behandelt.

Die Ergebnisse einer vereinfachten Ökobilanz von Salz und Splitt im innerörtlichen Winterdienst sind im Kapitel 6 dargelegt.

Schliesslich enthält das Kapitel 7 eine Gegenüberstellung und Synthese aller relevanten Kriterien. Die Kriterien werden in Bewertungsklassen eingestuft und zu einem Gesamtresultat aggregiert.

Weitere detaillierte Grundlagen und Rohdaten zu den einzelnen Kapiteln sind in den Beilagen und im Anhang 1 wiedergegeben.

2 VORGEHEN, METHODIK UND ABGRENZUNG

Bisherige Bestandesaufnahmen

In einem ersten Schritt wurde eine grobe Auswertung der vorhandenen Literatur auf der Basis der Literaturdatenbank der Technischen Hochschule Lausanne vorgenommen.

In einem zweiten Schritt wurde eine Auswahl von Publikationen weiter vertieft. Diese Publikationen bilden das Kernstück des Literaturstudiums.

Teststrecken und Ökobilanz

Das Vorgehen und die Methodik für die Datenerhebungen auf den Teststrecken und deren Auswertung sowie für die Durchführung der Ökobilanz sind in den jeweiligen Kapiteln (Kap. 4 und Kap. 6) dargelegt.

Bewertungsmethodik für die Synthesedarstellung

Die Aspekte Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Umwelt lassen sich nur schwer mit einer einheitlichen Skala bewerten. Die Definition von Bewertungsklassen bildet ein Instrument im Hinblick auf solche fachübergreifenden Gesamtbewertungen.

Bei jedem Bewertungsschritt sind die berücksichtigten Kriterien, Teilkriterien und Aggregationsmethoden darzulegen und verbal zu begründen. Mit diesem methodischen Ansatz lassen sich komplexe Zusammenhänge vereinfachen und überschaubar darstellen. Jeder Bewertungsschritt muss aber für den Leser transparent und nachvollziehbar sein.

Die Bewertungsklassen für die Aspekte Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Umwelt sind in der Tabelle 2.1 zusammengefasst.

Tabelle 2.1: Definition der Bewertungsklassen für die Aspekte Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Umwelt

	Definition der Bewertungsklassen				
Zeichen	++	+	0	-	--
Zahlen	5	4	3	2	1
Bedeutung allgemein	sehr gut	gut	mittelmässig	schlecht	sehr schlecht, nicht akzeptabel
Bedeutung für Wirtschaftlichkeit	geringe Betriebskosten	mittlere Betriebskosten	hohe Betriebskosten	sehr hohe Betriebskosten	extreme Kosten
Bedeutung für Sicherheit	Sicherheit gewährleistet	Sicherheit bei vorsichtigem Fahren gewährleistet	Sicherheit nur teilweise gewährleistet	Sicherheit herabgesetzt, gefährlich	Sicherheit stark herabgesetzt, nicht akzeptabel
Bedeutung für die Umwelt	keine negativen Auswirkungen	äusserst geringe Belastung	geringe Belastung	erhebliche Belastung, mit Massnahmen lösbar	absoluter Konflikt, Gesetze verletzt

Anhand dieser Klassen werden die Aspekte Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Umwelt in einem verbal begründeten Urteil, gestützt auf die neuesten Forschungsergebnisse in der Fachliteratur, bewertet.

Gleichzeitig wird im Rahmen des Kapitels 3 "Bisherige Bestandesaufnahmen" der Informationsgehalt und die Vollständigkeit der bestehenden Untersuchungen und der vorhandenen Daten bewertet. Die Bewertung erfolgt mit den folgenden Kategorien (Tabelle 2.2):

Tabelle 2.2: Kategorien zur Bewertung des Informationsgehaltes und der Vollständigkeit bestehender Untersuchungen

●	hoher Informationsgehalt, Thema gut untersucht
◗	mittlerer Informationsgehalt, weitere Untersuchungen sind erwünscht
○	geringer Informationsgehalt, weitere Untersuchungen sind notwendig

Inhaltliche Abgrenzung

Der Schwerpunkt des vorliegenden Berichts liegt eindeutig auf dem Winterdienst im **innerörtlichen Bereich**. Bei einzelnen Kriterien im Rahmen des Literaturstudiums (Kap. 3) wurden auch Ausserortsstrassen und Autobahnen berücksichtigt.

Aufgrund des Auftragsvolumens des vorliegenden Forschungsvorhabens wurde der Schwerpunkt der Untersuchungen auf die Problematik des Winterdienstes auf Strassen innerorts gelegt. Weitere Themen wie beispielsweise der Winterdienst auf Radwegen oder die Sicherheitsaspekte bei Fussgängern konnten aufgrund der Fülle der Informationen im Bereich Strassenwinterdienst nicht in der gleichen Bearbeitungstiefe behandelt werden.

3 BISHERIGE BESTANDESAUFNAHMEN

3.1 WIRTSCHAFTLICHKEIT

3.1.1 Allgemeines zur Wirtschaftlichkeit

Seit mehreren Jahren werden in vielen Ländern Untersuchungen durchgeführt, die sich darauf konzentrieren, Investitionen in den Winterdienst zu optimieren und das für die verschiedenen Strassennetze angemessene Serviceniveau zu definieren (OECD, 1990). In einer umfassenden Studie an der TH Darmstadt (D) über die volkswirtschaftlichen Folgen der Winterglätte und des Winterdienstes wurden die Kosten des Winterdienstes in Relation mit dem für den Verkehrsteilnehmer entstehenden Nutzen gebracht. Folgende Grössen wurden dabei einbezogen (DURTH, 1994):

Volkswirtschaftliche Kosten durch Winterglätte (Strassennutzerkosten)

Bei der Erfassung der durch Winterglätte entstehenden volkswirtschaftlichen Kosten sind folgende Parameter massgebend:

- Unfallkosten: Häufigkeit und Umfang von Verkehrsunfällen aufgrund beeinträchtigter Strassenbefahrbarkeit
- Zeitkosten: erhöhte Tranportkosten (längere Reisezeiten) aufgrund beeinträchtigter Strassenbefahrbarkeit
- erhöhte Betriebskosten: grösserer Energieverbrauch der Motorfahrzeuge zur Überwindung des Rollwiderstandes des Schnees

Volkswirtschafltlicher Nutzen durch den Winterdienst

Dank dem Winterdienst können die oben aufgeführten volkswirtschaftlichen Kosten gesenkt werden (geringere Betriebskosten, kürzere Reisezeit, weniger glättebedingte Unfälle). Dadurch ergibt sich der volkswirtschaftliche Nutzen des Winterdienstes.

Kosten-/Nutzen-Relation

Die Betriebskosten für den Winterdienst (fixe und variable Kosten für Personal, Arbeitsgeräte, Auftaumittel und Materialien bei unterschiedlichem Serviceniveau) werden dem volkswirtschaftlichen Nutzen durch den Winterdienst gegenübergestellt. Dadurch ergibt sich der Kosten-/Nutzen-Vergleich.

Weitere, schwieriger zu quantifizierende Kostenfaktoren in der volkswirtschaftlichen Gesamtkosten/-nutzen-Bilanz wurden bisher nur ansatzweise erfasst (DURTH et al., 1989, OECD, 1990). Der Einbezug dieser Faktoren hat sich bisher als sehr schwierig erwiesen. Es handelt sich um folgende Grössen:

- Auswirkungen der Auftaumittel auf die verschiedenen Bausubstanzen der Strassen und Bauwerke
- Korrossionsschäden an Fahrzeugen
- Soziale Kosten für einen qualitativ schlechteren Winterdienst
- Auswirkungen auf die Umwelt
- Einsatzfähigkeit der Notdienste

- Produktionsausfall bei Betrieben

SAGASSER (1982) versuchte, diese verschiedenen Faktoren in einer umfassenden Nutzen-Kosten-Analyse aufgrund von groben Annäherungen teilweise zu quantifizieren. Die Publikation enthält eine gute Übersicht über die wichtigen zu berücksichtigenden Grössen.

Im folgenden werden die Ergebnisse verschiedener Studien zusammengefasst.

3.1.2 Salzstreuung

Motorfahrzeuge

Ausserorts

Seit etwa 10 Jahren wird die Wirksamkeit des Winterdienstes hinsichtlich der Verkehrssicherheit und der Wirtschaftlichkeit des Verkehrsablaufes in Deutschland untersucht. Eindeutige Ergebnisse liegen für einbahnige Ausserortsstrassen vor. Die Methodik besteht darin, dass gestreute Informationen bei Winterdienstbetrieben (Einsatzberichte), Polizei (Unfallberichte), Strassenverwaltungen (Verkehrs- und Streckendaten) und Wetterämtern (monatliche Witterungsberichte) mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung gesammelt und ausgewertet werden. Sie werden durch projektbezogene Verkehrszählungen und Geschwindigkeitsmessungen ergänzt. Auf dieser Grundlage wird versucht, durch Aufsummierung der Einzelergebnisse allgemein halbstündliche Unfallkostenraten im winterlichen Strassenverkehr zu errechnen, daraus den Nutzen des Winterdienstes in der ersten Stunde nach dem Einsatz abzuleiten und die Wirksamkeit des Winterdienstes insgesamt für Netze bzw. Strassenabschnitte hochzurechnen (DURTH et al., 1989; DURTH, 1994).

Aufgrund dieser Methodik wurde die Einsparung durch den Nutzen des Winterdienstes (Salzstreuung) in der Bundesrepublik (Grenzen von 1987) errechnet. Der Nutzen lässt sich aus den geringeren Betriebskosten (geringeren Rollwiderstand), den kürzeren Reisezeiten und der Reduktion der glättebedingten Unfälle ableiten.

Wesentlicher Kostenfaktor beim Nutzen des Winterdienstes sind dabei die Unfallkosten, die über 80 % der Einsparungen ausmachen. Wenn man die Unfallkostenrate genauer betrachtet, so zeigt sich, dass die Unfallkosten auf winterglatten Fahrbahnen etwa 6mal so hoch sind wie auf nichtwinterlichen, und nach der Salzstreuung gehen die Unfallkosten sofort wieder auf das normale Niveau zurück.

Neben den Unfallkosten hat der Winterdienst auch positive Effekte auf andere Strassennutzerkosten wie Zeitkosten und Kraftstoffverbrauch infolge verbessertem Verkehrsfluss nach der Streuung. Insgesamt beträgt die Differenz der Strassennutzerkosten vor und nach der Salzstreuung etwa 0,36 DM pro Fahrzeugkilometer. Das heisst, dass jeder auf einer gestreuten statt winterglatten Fahrbahn zurückgelegte Kilometer einen Gewinn von 0,36 DM bedeutet.

Der direkte Vergleich der Winterdienst-Betriebskosten (ca. 50 DM/km) mit diesem volkswirtschaftlichen Nutzen ergibt, dass nach 140 Fahrzeugüberfahrten auf der gestreuten Fahrbahn der Nutzen die Kosten übersteigt. Dies zeigt die grosse volkswirtschaftliche Effektivität des Winterdienstes.

Der Nutzen beträgt 10,4 Mio DM pro Einsatz innerhalb der ersten Stunde nach dem Einsatz bzw. 340 Mio DM pro Winter im Netz der Bundes-, Landes- und Kreisstrassen (DURTH et al., 1989). Tabelle 3.1.1 fasst einige wichtige Ergebnisse dieser Studie in

Zahlenwerte zusammen.

Tabelle 3.1.1: Zusammenstellung der Kosten bzw. des Nutzens pro Fahrzeugkilometer (DURTH et al., 1989)

Kostenart	Kosten (Pf./Fzkm)			Veränderung (Pf./Fzkm)	
	trocken	glatt	gestreut	trocken/glatt	glatt/gestreut
Unfallkosten	6,5	35,8	6,2	+29,3	-29,6
Zeitkosten	13,8	23,5	18,0	+9,7	-5,5
Betriebs-kosten	7,6	8,6	7,8	+1,0	-0,8
Summe	27,9	67,9	32,0	+40,0	-35,9

Ähnliche Untersuchungen wurden auch in den USA an Hauptstrassen durchgeführt (HANBALI, 1994). Dabei wurden die direkten Kosten des Winterdienstes (Personal, Fahrzeuge, Material, Administration) in Relation zum Nutzen (Reduktion Unfälle, kürzere Reisezeiten, geringere Betriebskosten) gesetzt. Während der vier ersten Stunden nach der Schwarzräumung ergibt sich für den Fahrer ein Nutzen/Kosten-Verhältnis von 6.5 $ (d. h. 6.5 $ Ersparnis für jeden in den Winterdienst eingesetzten $). Die indirekten Kosten des Winterdienstes, die sehr schwer zu ermitteln sind, wurden dabei nicht berücksichtigt. Bei dieser Studie wurden die Kosten für den Winterdienst auf Hauptstrassen auf 21.5 $/km/Ereignis evaluiert.

Fazit Volkswirtschaftlichkeit Salz ausserorts

Der hohe volkswirtschaftliche Nutzen des Winterdienstes mit Salzstreuung konnte nachgewiesen werden. Dabei fallen vor allem die Einsparungen bei den Unfallkosten ins Gewicht.

Bewertung: ++ Infogehalt: ●

Innerorts

Eine volkswirtschaftliche Bewertung des innerörtlichen Winterdienstes ist heutzutage aufgrund des zu geringen Umfanges an vorhandenen Daten noch nicht möglich. Dies geht aus einem umfangreichen Forschungsprojekt an der TH Darmstadt in Deutschland hervor (BARK et al., 1994). Die Untersuchungen erstreckten sich auf die Winterperioden 1991 bis 1993 und erfassten die Städte Darmstadt, Erlangen, Garmisch-Partenkirchen und Hannover. Aufgrund der milden Winter 1991/92 konnten winterliche Verkehrsbeobachtungen nur in Garmisch-Partenkirchen durchgeführt werden. Die folgenden Aussagen fassen die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens zusammen.

Die Bewertung allein des verkehrlichen Nutzens des Winterdienstes in einem Vergleich der Unfall-, Zeit-, und Betriebskosten erwies sich als unbefriedigend. Die Kosten des Winterdienstes konnten aufgrund sehr variabler Faktoren wie Personal-, Streustoff- und Gerätekosten nur überschlägig ermittelt werden.

Die Unfallkosten im gesamten Netz sind um etwa 10 % geringer als an einem nichtwinterlichen Tag. Die Datenbasis für diese Aussage ist allerdings beschränkt. Eine Betrachtung der ökonomischen Auswirkungen des Zeitverlustes aufgrund des niedrigen Geschwindigkeitsniveaus bei winterlichen Fahrbahnverhältnissen wurde zwar vorgenommen, jedoch erwies sich aufgrund der innerörtlich relativ kurzen Fahrstrecken lediglich ein so geringer durchschnittlicher Zeitverlust, dass er im Rahmen der Bewertung des Winterdienstes vernachlässigt werden kann. Der Zeitverlust für die Ortsdurchfahrt von Garmisch-Partenkirchen, deren Länge etwa vier Kilometer beträgt, entspricht nicht einmal der Zeitbeeinflussung durch eine Lichtsignalanlage.

Hinsichtlich der Fahrzeugbetriebskosten differieren die Kostenfaktoren sehr. Unterschiede bei Positionen wie Reifenverschleiss, Schmierstoffbedarf und Abschreibung sind so gering, dass auch sie vernachlässigt werden können.

Zum Nachweis des volkswirtschaftlichen Nutzens des Winterdienstes wäre ein Vergleich von Unfallkostenraten vor und nach dem Winterdiensteinsatz notwendig gewesen. Da nur für Garmisch-Partenkirchen stündliche Fahrleistungen ermittelt werden konnte, die Unfallzahlen aber so niedrig sind, dass geringe Unterschiede bei den Unfallfolgen zu extremen Gegensätzen bei den Unfallkosten und Unfallkostenraten führen, war eine Berechnung auf dieser Grundlage nicht sinnvoll.

Die Resultate zeigen, dass die Erfassung der Winterdienstkosten im Innerortsbereich viel komplizierter als im Ausserortsbereich ist. So gilt es nicht nur, die verschiedenen Strassenkategorien mit drei bis vier Dringlichkeitsstufen zu berücksichtigen, sondern auch die weitere Differenzierung nach der Anwendung von Salz, abstumpfende Stoffe oder auch Nullstreuung einzubeziehen. Dies erschwert eine zuverlässige Dokumentation in den Aufzeichnungen der Winterdienstbetriebe. Ebenso fehlen auch Daten zu den Fahrleistungen des Stadtverkehrs und zu den differenzierten Fahrgeschwindigkeiten bei winterlichen und nichtwinterlichen Bedingungen (DURTH, 1994). Aufgrund dieser verschiedenen Schwierigkeiten konnte bisher ein Kosten-Nutzen-Nachweis der Wirksamkeit des Winterdienstes auf Salz- oder Splittstrecken im städtischen Bereich nicht erbracht werden.

Fazit Volkswirtschaftlichkeit Salz/Splitt innerorts

Der volkswirtschaftliche Nutzen des Winterdienstes konnte innerorts noch nicht nachgewiesen werden.

Bewertung: ? Infogehalt: ○

Korrosionsschäden an Fahrzeugen

Bei den Korrosionsschäden an Fahrzeugen ist schwer zu ermitteln, welcher Anteil der Korrosion tatsächlich auf das Salzstreuen zurückzuführen ist, da Salz nur in den Wintermonaten gestreut wird, während die meisten anderen Korrosionsfaktoren (Luftfeuchtigkeit, Luftverschmutzung, saurer Tau) über das ganze Jahr wirken (OECD, 1990).

In Anlehnung an amerikanische Untersuchungen existieren diesbezüglich grobe Schätzungen. So wurden für Deutschland Werte von ca. 175 DM pro Fahrzeug und Jahr geschätzt (SAGASSER, 1982). Aufgrund empirischer Schätzungen wurden die Kosten der Salzkorrosion in der Schweiz auf 300 Mio Fr./Jahr geschätzt (LEUCH, 1973). Aufgrund der seither bei den Fahrzeugen eingeführten Korrosionsschutz-Massnahmen sind diese Zahlen für die heutigen Verhältnisse kaum mehr repräsentativ. Neuere Untersuchungen belegen, dass die Salzkorrosion bei den modernen Fahrzeugen

praktisch kein Problem mehr darstellt (KURZMANN, 1993).

Fazit Wirtschaftlichkeit Korrosionsschäden Salz

Die Kosten der Korrosionsschäden an älteren Fahrzeugen wurden bisher nur grob geschätzt.

Bewertung: ? Infogehalt: O

Einwirkung von Chloriden auf Betonkonstruktionen

Gut abgedichtete Betonteile werden, selbst wenn sie alt sind, nur geringfügig durch Schmelzwasser beschädigt. Die in der Praxis beobachteten Schäden sind auf undichte Isolationen zurückzuführen.

Untersuchungen haben gezeigt, dass der häufigste Schaden an älteren, schlecht isolierten Betonbrücken die Chlorid-Kontamination (durch Salze im Winter, Spritz- und Meerwasser) ist, die sowohl den Beton als auch den Stahl angreifen (OECD, 1988). Bei der Kostenermittlung ist zu berücksichtigen, wie hoch der Restwert der Anlage ist bzw. wann ohne Verwendung von Tausalzen eine Instandsetzung oder Erneuerung durchzuführen wäre.

In Amerika wurden aufgrund von Erfahrungswerten und Schätzungen die nationalen Kosten für die durch Einwirkung von Streusalz hervorgerufenen Schäden an Infrastrukturen ermittelt (MENZIES, 1992). Die jährlichen Kosten belaufen sich auf ca. 425 Mio $ bis 925 Mio $ (Tabelle 3.2.1).

Tabelle 3.2.1: Zusammenfassung der in Amerika jährlich durch Streusalz verursachten Infrastruktur-Kosten (MENZIES, 1992)

		jährliche Kosten (Millionen $)
Kategorie I: gesicherte Daten	Brückendecke	125 bis 325
	Parkhäuser	75 bis 175
	Total	200 bis 500
Kategorie II: Schätzungen (Urteil einer Begleitkommission)	Brücken: weitere Komponenten	125 bis 325
	Autobahn: weitere Komponenten	100
	Total	225 bis 425
Total		425 bis 925

Die Reparaturkosten (Betondecke entfernen, neu auftragen, Stahl reinigen) für Brücken betragen ca. 215 bis 430 $/m^2. Die zusätzlichen Kosten für das Aufbringen und den Unterhalt einer Betonschutzschicht betragen ca. 43 $/m^2.

Fazit Wirtschaftlichkeit Schäden Bauwerke Salz

Die Kosten der Schäden an älteren Bauwerken wurden bisher nur grob geschätzt. Für die Verhältnisse in der Schweiz konnten keine Untersuchungen gefunden werden.

Bewertung: ? Infogehalt: O

Radwege

Auf den Radwegen sind sehr differenzierte Nutzen-Kosten-Entscheidungen zu treffen. Auch hier nimmt der Verkehr bei winterlicher Witterung ab. Bei einer Befragung machten nur 20 % der Radfahrer ihre Entscheidung, den Radweg bei winterlicher Witterung zu benutzen oder nicht zu benutzen, von der Qualität des Winterdienstes abhängig. Das Potential, seine Wirksamkeit zu erhöhen und damit weitere Kosten zu rechtfertigen, ist also hier ganz bescheiden (DURTH, 1994).

3.1.3 Splittstreuung

Motorfahrzeuge

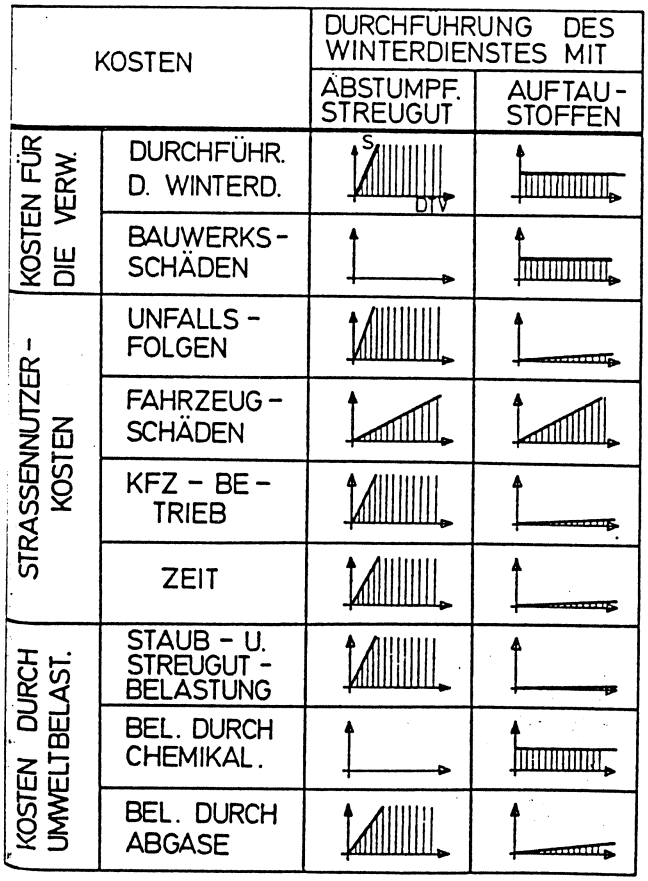
Ausserorts

Auf Ausserortsstrassen ist ein eingeschränkter Strassenwinterdienst mit Reduzierung der Salzanwendung nicht möglich, ohne hierbei eine Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit (auch Personenschaden) und Mehrkosten für die Allgemeinheit in Kauf zu nehmen. Die absolute Grenze des eingeschränkten Winterdienstes zeigt sich dabei eindeutig bei Strecken mit höherer Verkehrsbelastung, da bei diesen sowohl die Unfallzahlen als auch die volkswirtschaftlichen Kosten erheblich stärker ansteigen als bei schwach belasteten Strecken (DURTH et al., 1989). Der eingeschränkte Winterdienst stellt also im Bereich der Ausserortsstrassen keine Alternative zum Winterdienst mit Streusalz dar (BAUDIREKTION DES KANTON ZÜRICH, 1979).

Innerorts

Wie eingehend erwähnt, konnten bisher die volkswirtschaftlichen Kosten-/Nutzen-Verhältnisse des Winterdienstes innerorts mit Differenzierung der Wirksamkeit nach Salz- und Splittstreuung nicht erfasst werden. PICHLER (1987) entwickelte ein interessantes Gedankenmodell, welches die Beurteilung über die Verwendung von Salz oder Splitt im Winterdienst erleichtern sollte. Dabei wurden aufgrund qualitativer Überlegungen die Kosten der Verwaltung für den Winterdienst, die Strassennutzerkosten und die Kosten durch Umweltbelastung als Funktion des "durchschnittlichen täglichen Verkehrs" (DTV) dargestellt (Figur 3.1.1).

Aus dieser Darstellung schliesst PICHLER (1987), dass abstumpfende Mittel für zweispurige Strassen bei einem DTV kleiner als 500 bis 1 000 eingesetzt werden sollten. Ein DTV grösser als 500 bis 1 000 verlangt aus gesamtwirtschaftlichen Gründen auftauende Mittel.



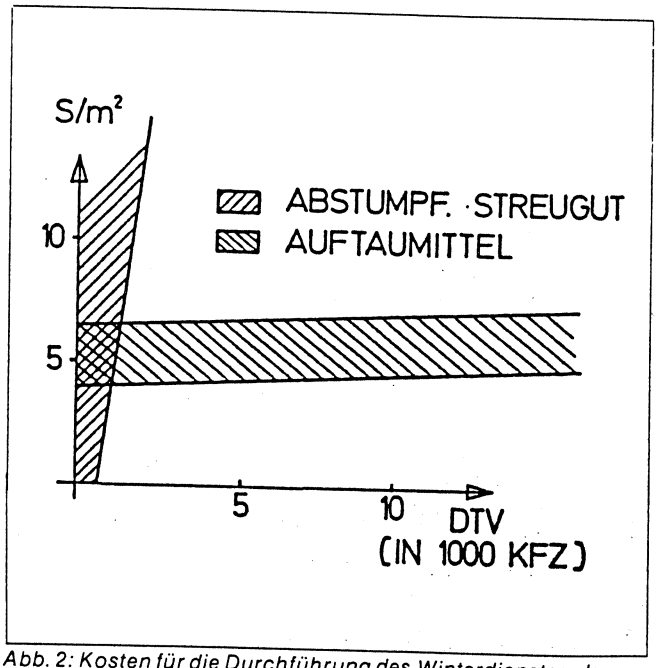


Abb. 2: Kosten für die Durchführung des Winterdienstes als Funktion des DTV

Abb 1: Schematische Darstellung der Winterdienstkosten als Funktion des DTV

Figur 3.1.1: (1) Schematische Darstellung der Winterdienstkosten als Funktion des "durchschnittlichen täglichen Verkehrs" (DTV)
(2) Kosten für die Durchführung des Winterdienstes als Funktion des DTV. S = Österreichische Schilling

Bezüglich **Betriebskosten** des Winterdienstes, differenziert nach Salz- und Splittstreuung, konnten in der Literatur keine genauen Angaben gefunden werden.

Aufgrund einer groben Schätzung kommt HANKE (1996) zum Schluss, dass die Kosten für die Streuung eines Kilometers Strasse etwa 10- bis 20fach höher bei der Splitt- als bei der Salzstreuung liegen.

Gemäss KEMPE (1985) stiegen die Kosten für den Winterdienst in der Stadt Erlangen bei weitgehender Umstellung des Winterdienstes auf Splittstreuung um etwa das Vierfache des sonst üblichen Wertes an.

Fazit Wirtschaftlichkeit Salz/Splitt innerorts

Die Betriebskosten des Winterdienstes mit Splittstreuung liegen ein Vielfaches höher als diejenigen mit Salzstreuung. Für einen Kilometer Strasse wurde ein Kostenfaktor von 10 bis 20 geschätzt.

Bewertung Salz:	++	Infogehalt:	O	(Schätzungen)
Bewertung Splitt:	--	Infogehalt:	O	(Schätzungen)

Schäden an Fahrzeugen

Im normalen Strassenverkehr verursacht Splitt Lack- und Unterbodenschutzschäden und wirkt damit indirekt korrosionsfördernd (PICHLER, 1987). Eine Quantifizierung dieser Schäden ist jedoch wegen des Fehlens entsprechender Untersuchungen nicht möglich.

Fazit Wirtschaftlichkeit Fahrzeugschäden Splitt

Die Kosten für Splittschäden an Fahrzeugen sind schwer zu ermitteln. Für die Verhältnisse in der Schweiz konnten keine Untersuchungen gefunden werden.

Bewertung: ? Infogehalt: O

Kosten von Entsorgung bzw. Wiederaufbereitung

In der Slowakei wurden Versuche zur Problematik des Recyclings von inertem Streusplitt durchgeführt. Dabei konnte auf der Fahrbahn eine Splittmenge von 35 - 37 % der gesamten ausgetragenen Menge eingesammelt werden. Die Untersuchungen zeigten, dass die Kosten für das Recycling des Splitts gesamthaft höher als die Einkaufskosten in den Steinbrüchen liegen (BELOSOVIC, 1994).

Für die Wiederaufbereitung von Splitt mit der Heissreinigung einschliesslich Deponierung der Reststoffe und Transport umgerechnet auf die Tonne Kehrgut sind Kosten von ca. 200 bis 250 DM/t zu erwarten. Die Kosten für das Einsammeln (Kehren) sind dabei nicht enthalten. In Deutschland betragen die Deponiepreise bis zu 400 DM/t (HANKE, 1993a).

3.2 UMWELT

3.2.1 Umweltauswirkungen der Salzstreuung

Boden

Tausalz wird durch Verwirbelung während des Streuvorganges und durch die Schneeräumung sowie durch abfliessendes Schmelzwasser in den Boden neben der Fahrbahn eingebracht. Der pH-Wert des Bodens verändert sich infolge des Austauschprozesses, an dem die Natriumionen beteiligt sind. Wenn das Natriumchlorid in den Boden eindringt, ersetzen die Natriumionen die Ca-, K- oder Mg-Ionen im Erdreich. Dadurch wird der pH-Wert erhöht, und der Boden wird schlammiger und dichter (DIRNBÖCK, 1993).

Der durch Salzablagerungen betroffene Boden liegt im Mittelstreifen und im einige Meter breiten bepflanzten Bereich, der an die Strasse angrenzt. Im allgemeinen ist die Salzansammlung auf die obersten Bodenschichten beschränkt. Am Beginn des Herbstes liegt der Salzgehalt normalerweise wieder auf dem ursprünglichen Wert. Ausnahmen sind die niederen Bodenschichten in Grossstädten und in engen Mittelstreifen auf den Autobahnen (OECD, 1990). Auch BROD (1995) kommt zum Schluss, dass im innerörtlichen Bereich Chlorid im Winter in geringer verdichteten Strassenrandböden eher ausgewaschen, in den hochverdichteten dagegen eher angereichert wird.

Fazit Umwelt, Boden, Salz

Die Belastung des Bodens mit Tausalz ist in der Regel reversibel. In hochverdichteten Böden im innerstädtischen Bereich kommt es zu einer Salzanreicherung. Massnahmen werden empfohlen.

Bewertung: 0 Infogehalt: ●

Grundwasser, Oberflächengewässer

Der mengenmässige Verbleib des Salzes in der Umwelt entlang von Strassen wird entscheidend von den örtlichen Gegebenheiten beeinflusst (BROD, 1994). Im allgemeinen wird davon ausgegangen, dass der kleinere Teil der ausgebrachten Tausalze im Randzonenbereich der Verkehrswege verbleibt, während der überwiegende Teil der Salze mit den Strassenabflüssen in die Vorfluter gelangen. Dabei können in Abhängigkeit von Applikationsmenge, Witterungsbedingungen und hydrologischen Verhältnissen starke Konzentrationsschwankungen auftreten.

Die von den Auftausalzen ausgehenden Belastungen stellen vor allem bei kleinen **Fliessgewässern** in forstlich und landwirtschaftlich genutzten Gebieten, deren Einzugsgebiete von stark frequentierten Verkehrswegen durchquert werden, den Hauptteil der Gesamtbelastung dar. In grösseren Flüssen, die durch Siedlungs- und Industriegebiete fliessen, fällt der Einfluss der Auftausalze hingegen anteilmässig nur wenig ins Gewicht.

Eine Studie zur Salzbelastung des Wasserkreislaufes wurde in einer Reihe von Testgebieten entlang einer Landstrasse im westlichen und mittleren Teil Schwedens durchgeführt (BÄCKMAN, 1994). Alle Testgebiete wurden zwei Jahre lang beobachtet, und in einigen Gebieten wurden nach zehn Jahren nachfassende Studien durchgeführt. Die Salzstreuung wurde auf den Strassen und Wegen der Insel Gotland ab Winter 1986/87 eingestellt. In diesem Zusammenhang wurde eine Untersuchung in Form einer Vorher-

Nachher-Studie durchgeführt, wobei die natürliche Umgebung auf verschiedenen Ebenen dokumentiert wurde.

Die Studie zeigte, dass die geologischen und hydrologischen Standortbedingungen für das Ausmass einer Salzbelastung entscheidend sind. Die wichtigen **Grundwasserträger** sind aufgrund ihres Volumens und ihrer Durchflussrate unempfindlich gegenüber einer Belastung durch Strassensalz. Bei ungünstigen Verhältnissen (hoher Grundwasserstand, Nähe zur Strasse, durchlässige Böden, geringe Durchflussrate) kann es zu einer Belastung kommen. Insgesamt zeigen die Resultate, dass das Risiko einer Belastung des Grundwassers relativ klein ist.

Zu ähnlichen Schlussfolgerungen kommt auch BROD (1993, 1994, 1995). Im oberflächennahen Grundwasser, dessen Einzugsgebiet im Bereich von Strassen liegt, kann es zu Na- und Cl-Konzentrationenanstiegen (von ca. 20 bis 60 mg/Liter bei der Chloridkonzentration) kommen. In Abhängigkeit von der Grundwasserfeldstärke ist nach etwa 50 - 200 m Fliessstrecke aufgrund von Verdünnung und Dispersion mit einem Rückgang der Cl-Konzentration auf das Niveau der Grundlast zu rechnen.

Erhöhte Cl-Konzentrationen im **Trinkwasser** in Abhängigkeit von der Anwendung von Auftausalz konnte in Deutschland in einigen Fällen, insbesondere bei Flachbrunnen, nachgewiesen werden. Die Korrelation zwischen Zeitdauer der Auftausalzanwendung und Cl-Gehalte wurde auch in Trinkwassergewinnungsanlagen in den USA nachgewiesen. Eine Überschreitung der Richtwerte für Trinkwasser ist möglich. Die Einrichtung bzw. die Benutzung von Flach- und Tiefbrunnen für die Trinkwasserversorgung in autobahnnahen Gebieten ist deshalb als bedenklich zu erachten und sollte vermieden werden.

Auch eine neuere Studie in der Schweiz kommt zum Schluss, dass bei quantitativ bedeutenden und selbst noch bei lokalen Grundwasservorkommen mässiger Ergiebigkeit keine Probleme bestehen (BLASER et al., 1997; noch nicht veröffentlicht). Bei lokalen Grundwasservorkommen bescheidener Ergiebigkeit und bei Quellwasservorkommen bescheidener Ergiebigkeit sind hingegen Problemfälle möglich. Massnahmen zur Verminderung des Streusalzes in die Umgebung werden diskutiert.

In mehreren Ländern wurden Untersuchungen über den Salzgehalt im Wasser aus städtischen **Kläranlagen** und aus der Strassenkanalisation vorgenommen. Der Tausalzgehalt in städtischen Abwässern kann auf Werte von bis zu 100 mg/Liter ansteigen. Wird jedoch das von den Strassen ablaufende Wasser ohne Verdünnung über eine Hauptabwasserleitung in den See geleitet, kann der Salzgehalt am Auslass in Extremfällen ca. 5 000 mg/Liter betragen. Im See verteilt sich das zuströmende Wasser selbst unter ungünstigen Bedingungen schnell (OECD, 1990).

In ihren Schlussfolgerungen stimmen die verschiedenen Studien im wesentlichen überein, dass eine Schädigung der Wasserpflanzen und -tiere infolge der zusätzlichen Salzbelastung durch die im Winterdienst ausgebrachten Tausalze mit grösster Wahrscheinlichkeit selbst für empfindliche Arten ausgeschlossen werden kann. Die Beeinträchtigung der Trinkwasservorräte durch Tausalz ist ebenso unwahrscheinlich (OECD, 1990).

Fazit Umwelt, Grundwasser/ Oberflächengewässer, Salz

Die Salzbelastung der Oberflächengewässer und des Grundwassers kann aufgrund des beschränkten räumlichen Ausmasses als **gering** bewertet werden. Massnahmen werden empfohlen.

Bewertung: 0 Infogehalt: ●

Vegetation

Das Strassenbegleitgrün, insbesondere im innerstädtischen Bereich, hat einen hohen ökologischen Wert. Das Wachstum der Vegetation am Strassenrand wird unter anderem auch durch die ausgestreuten Salzmengen beeinträchtigt.

Beim NaCl (Auftausalz) kann nicht grundsätzlich von einem Pflanzengift gesprochen werden, da wie bei jedem Stoff sowohl die Dosis als auch die Einwirkungsdauer für die Toxizität ausschlaggebend sind. Weiterhin muss bei der Beurteilung der Salzwirkung auf Pflanzen berücksichtigt werden, dass das Zusammenspiel aller am Standort einwirkenden Faktoren die Lebensvorgänge der Pflanze beeinflusst.

Während an Ausserortsstrassen Pflanzenschäden (Kontaktschäden) vorwiegend durch das Versprühen von salzhaltigem Schmelzwasser entstehen, wirkt das Tausalz im innerörtlichen Bereich fast ausschliesslich über den Boden (Bodenversalzung). Die durch Tausalz verursachten äusserlich sichtbaren Schadsymptome an Blättern und Zweigen - gelbe Flecken (Chlorosen), abgestorbene Teile (Nekrosen), vorzeitiger Blattabwurf, Wachstumsrückgang - sind nicht spezifisch, bieten jedoch Anhaltspunkte für eine Diagnose der Schadenursache. Art und Ausmass der Pflanzenschäden sind u.a. von der ausgebrachten Salzmenge, den Applikationsterminen, der Niederschlagsmenge und -verteilung sowie der Pflanzenart abhängig. Auf Ausserortsstrassen beschränken sich die festgestellten Schäden in der Regel auf einen 10-Meter-Streifen (BÄCKMAN, 1994).

Na- und Cl-Anreicherungen in Pflanzengeweben können zu Änderungen im Mineralstoff- und Wasserhaushalt sowie auf anderen Stoffwechselebenen führen. Pflanzen verfügen über verschiedene Möglichkeiten zur Verringerung einer Salzschädigung. Dazu gehört auch die Salztoleranz. So liegt beispielsweise die Salztoleranz der Gräser über der von Gehölzen, bei denen wiederum die Nadelbäume empfindlicher als die Laubbäume reagieren. Die Salztoleranz ist weiterhin von zahlreichen Umweltfaktoren, wie z.B. Wasser- und Nährstoffversorgung, Bodenverhältnisse, Immissionen und Schadorganismenbefall abhängig (BROD, 1994; GIESA & GUMPRECHT, 1990).

Nach RUGE (1972) ist aus pflanzenphysiologischen Gründen eine Gesamtmenge von 1 kg NaCl/m^2 und Jahr (innerörtlicher Bereich) noch akzeptabel. Dieser Wert gilt unter der Voraussetzung, dass nicht mehr als 10 % des auf der Fahrbahn ausgebrachten Auftausalzes in den Wurzelbereich der Bäume eindringt.

Verschiedene Massnahmen zur Verbesserung der Lebensbedingungen von Neupflanzungen oder älteren Bäumen sind möglich. Detaillierte Angaben dazu sind in den umfangreichen Publikationen von BROD (1993,1995) zu finden. Auch sollten vermehrt entlang von Strassen streusalztolerante Bäume angepflanzt werden. Die Auswahl ist allerdings beschränkt.

Ein Modellversuch in Dortmund (GEWU,1992) zeigte, dass sowohl Trockensalz wie auch Feuchtsalz und Calcium-Magnesiumacetat (CMA) schädigende Wirkungen auf die Vegetation und den Boden haben. Wegen des geringen Anteils von Chloriden ist von den untersuchten Materialien Feuchtsalz FS30 gegenüber Trockensalz und CMA zu bevorzugen. Die Empfehlung der Studie lautet, man solle auf jeden Fall Streumittel mit der geringstmöglichen Dosierung verwenden.

Fazit Umwelt, Vegetation, Salz

Die Beeinträchtigung der Vegetation, insbesondere der Bäume im innerstädtischen Bereich, darf nicht unterschätzt werden. Massnahmen zur Reduktion der Salzbelastung sind notwendig.

Bewertung: - Infogehalt: ●

3.2.2 Umweltauswirkungen der Splittstreuung

Schadstoffe im Splitt

Untersuchungen in Deutschland haben gezeigt, dass abstumpfende Streumittel je nach Herkunft unterschiedlich mit Schwermetallen belastet sind (MORITZ, 1984). Dabei wurden sowohl natürliche Streumittel wie Sande, Kiese, Splitte als auch künstliche Streumittel wie Schlackengranulate überprüft. Die Untersuchungen konzentrierten sich auf die Analyse der Schwermetalle im Feinanteil der Streumittel, wo die Schwermetalle deutlich angereichert waren.

Die Resultate zeigen, dass natürliche, gebrochene Materialien geringere Gehalte an den umweltschädlichen Metallen Blei, Cadmium, Zink und Arsen aufweisen als vergleichbare künstliche Streumittel wie Schlackengranulat (Tabelle 3.2.2). Eine Ausnahme machten natürliche, nichtgebrochene Flusssande bzw. -kiese, die mit weit höheren Schwermetallgehalten belastet waren als die Gesamtheit der untersuchten vierzehn abstumpfenden Streumittel. Ursache dafür sind sehr wahrscheinlich Anlagerungen auf der Oberfläche der Einzelkörner aufgrund der Belastung der Flusssedimente.

Tabelle 3.2.2: Vergleich der Untersuchungsergebnisse über Schwermetallbelastungen in abstumpfenden Streumitteln (MORITZ, 1984) mit den Grenzwerten (in ppm)

Metall	Anteil in den untersuchten Streumittel	tolerierbarer Wert für Kulturböden	Grenzwerte in D: zulässiger Wert im Boden	Grenzwert in D: zulässiger Wert im Klärschlamm
Blei	28 - 665	100	100	1 200
Cadmium	0,1 - 1,9	3	3	20
Zink	78 - 440	300	300	3 000
Arsen	0,75 - 56	20		

Der Vergleich der Ergebnisse mit den Grenzwerten zeigt, dass abstumpfende Streumittel nicht ohne Vorbehalt und in unbegrenzten Mengen auf den Strassen gestreut werden sollten. Insbesondere wurde bisher die Langzeitwirkung von Splitt im angrenzenden Kulturland zu wenig untersucht.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurden die Anforderungen für abstumpfende Streustoffe (MERKBLATT FGSV, 1985) überarbeitet und im einzelnen genauere Kriterien bezüglich granulometrische Eigenschaften, Festigkeit und Umweltverträglichkeit der Stoffe

festgelegt (WAGNER, 1989). So wurden Merkmale für die Beurteilung der Streustoffe definiert, wie beispielsweise die Schadstoffe in Form der Schwermetalle. Mit einem standardisierten Prüfverfahren besteht heutzutage ein Instrument zur Kontrolle der Eigenschaften der Streustoffe bei deren Beschaffung (WAGNER, 1989).

Entsorgung

In einer Winterperiode werden im Durchschnitt von den Städten in Deutschland etwa 500 000 Tonnen abstumpfende Stoffe (ca. 70 % Splitt, sonst Granulate, Sande etc.) ausgestreut (HANKE, 1993a). Dabei werden ca. drei Viertel der in deutschen Städten ausgestreuten Splittmengen wieder eingesammelt. Der Altsplitt ist teilweise zerkleinert und vor allem durch groben Strassenabfall, Gummiabrieb, Ölreste und Schwermetalle stark verunreinigt.

Eine Studie im Auftrag der Stadt München (BLASY & BUSSE, 1992) zeigte, dass der eingesammelte Splitt erhöhte Schadstoffwerte insbesondere bezüglich Quecksilber, Kupfer, Blei, polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) sowie fäkalcoliforme Keime (Hundekot) aufwies. Die Schadstoffe sind vor allem in den Feinfraktionen (bis zu 25 %) angereichert.

Tabelle 3.2.3 fasst die Resultate von Untersuchungen des eingesammelten Splitts (Kies, Sand, Verunreinigungen) im Jahre 1991 und 1996 in Zürich zusammen.

Tabelle 3.2.3: Untersuchungen vom eingesammelten Splitt bei der Splittaufbereitungsanlage in Zürich, vor der Behandlung (STADTENTWÄSSERUNG, 1991; Untersuchungen der Firma Eberhart, 1996, nicht veröffentlicht)
KW = Kohlenwasserstoffe; TVA = Technische Verordnung über Abfälle

	Probe 1* 1991	Probe 2* 1991	Probe 3* 1991	Probe 4** 1991	Probe 5*** Mischprobe 1996	Grenzwert TVA für Inertstoffe	Richtwert Zürich, unversch. Aushub
TS 110 °C [%]	95,7	92,3	93,6	98,9	92,7		
Blei [mg/kg TS]	260	210	370	430	<60	500	75
Zink [mg/kg TS]	310	270	440	440	<160	1 000	200
KW Rohextrakt (vor Alox) [mg/kg TS]	13	10	33	76			100
KW gesamt [mg/kg TS]	4	3	15	23	280		50
PAK [mg/kg TS]					6,5		1

* Fraktion <0,8 mm für Schwermetallanalysen
** Fraktion <2,0 mm für Schwermetallanalysen
*** keine weiteren Schadstoffe in umweltrelevanten Konzentrationen

Bisher wurde der Altsplitt vor allem auf Deponien abgelagert oder im Wegebau wiederverwendet. Aufgrund der Schadstoffbelastung des Splitts wird dies in Zukunft nicht mehr möglich sein. Altsplitt ist in der Schweiz insbesonders aufgrund der Grobver-

unreinigung mit Strassenabfall, Kunststoffe, Laub etc. auf einer Reaktordeponie zu entsorgen oder muss aufbereitet und wiederverwertet werden (SCHWEIZER NORM 640 727). Aufgrund des knappen Deponievolumens und der steigenden Deponiegebühren drängt sich immer mehr eine Wiederaufbereitung von Splitt auf.

Es gibt prinzipiell zwei unterschiedliche Verfahren zur Wiederaufbereitung von Streusplitt, nämlich die Nassreinigung und die Heissreinigung (HANKE, 1993a + 1993b). Beim bisher meist angewandten Verfahren, nämlich die Heissreinigung, müssen immer noch 25 bis 30 % der eingesammelten Splittmenge deponiert oder verbrannt werden.

Die Tendenz bei der Aufbereitung/Entsorgung von wieder aufgenommenem Splitt geht dahin, das Material wieder in den Stoffkreislauf zurückzuführen und möglichst als Baustoff zu verwenden (MORITZ, 1996). So wird beispielsweise in Wien der Einkehrsplitt als Zuschlagstoff zum Schlackenbeton für die Umwallung einer Deponie verwendet (STEINBAUER, 1994).

In München wurden umfangreiche Untersuchungen zur Wiederaufbereitung von Altsplitt durchgeführt. Im Winter 1994/95 wurden 11 000 Tonnen Splitt ausgebracht. Zur Wiederaufbereitung konnten nur 1 250 Tonnen angeliefert werden. Die Wiederaufbereitung wurde extern vergeben. Das berücksichtigte Angebot mit dem besten Kosten/Nutzen-Verhältnis sah eine Grobabsiebung und eine Nassreinigung vor. Das Material wurde in einem Kies- und Schotterwerk nach einer Grobabsiebung in eine Brechanlage zur Absiebung und anschliessend in einer Waschanlage aufbereitet. Mit diesem Verfahren wurden 3,5 % des Altsplitts zu einer Deponie gebracht. Rund 30 % konnten als Sand und ca. 55 % als Splitt wiederverwendet werden. Das als Schlamm anfallende Feinmaterial von ca. 11,5 % wurde nach Entwässerung und Trocknung zur Rekultivierung von Deponien verwendet (LANDESHAUPTSTADT MÜNCHEN, 1996).

Im Jahr 1995/96 wurde der eingesammelte Altsplitt der Stadt München aufgrund von Kostenüberlegungen auch extern in einer privaten mobilen Trockenanlage mit Vorabsiebung, Trocknung, Klassierung und Sortierung wiederaufbereitet. Das gereinigte Material wurde als Zuschlagstoff für Beton, als Mauer- und Pflastersand verwendet. Die Reststoffe wurden entweder kompostiert oder auf eine Hausmülldeponie gebracht (LANDESHAUPTSTADT MÜNCHEN, 1996). Gegenüber der Wiederaufbereitung von 1994/95 konnten dadurch die Kosten weiter gesenkt werden.

Gemäss dem Münchner Bericht wurden die ursprünglich angenommenen Probleme mit Keimen und Bakterien überschätzt. Der Trend dürfte in Zukunft in Richtung Waschanlagen gehen. Generell waren 1996 die Belastungswerte von Altsplitt bezüglich Schwermetalle und Kohlenwasserstoffe ebenfalls geringer als ursprünglich angenommen. Scheinbar werden die im Kehricht enthaltenen Schadstoffe bereits durch das während der Kehrung verwendete Wischwasser gelöst. Dadurch ergibt sich "vorentwässertes Material" mit geringeren Schadstoffgehalten.

Bei der Recyclinganlage in Zürich, welche auf dem Prinzip der Heissreinigung basiert, werden die anfallenden Feinanteile (ca. 25 %) in eine Reaktordeponie beseitigt. Die Untersuchung von Feinstaub aus dieser Anlage ergab folgende Belastungswerte (Tabelle 3.2.4):

Tabelle 3.2.4: Resultate der Laboruntersuchungen von Feinstaub aus der Splittaufbereitungsanlage in Zürich gemäss Laborbericht Stadtentwässerung Zürich 25.11.87 und Resultate 14./15.08.1991 (nicht veröffentlicht)

	1987 [mg/kg TS]	1991 [mg/kg TS]	Vergleichswerte TVA [mg/kg TS]
Zink (Zn)	1 010	329	1 000
Kupfer (Cu)	232	95	500
Chrom (Cr)	109	95	
Cadmium (Cd)	4,6	1,2	10
Nickel (Ni)	167	45	500
Blei (Pb)	1 090	340	500
Kobalt (Co)	<23	12	
Kohlenwasserstoffe:			
Rohextrakt	2 900	7 343	
Gesamt		1 506	

Gegenüber den Anforderungen, welche die Technische Verordnung über Abfälle (TVA,1990) an Inertstoffe stellt, weist der Feinstaub im Jahr 1991 keine erhöhten Schwermetallgehalte auf. Der organische Anteil liegt allerdings über den in der TVA für Inert- und Reststoffe festgelegten 5 %. Der Feinstaub aus der Recyclinganlage muss somit auf eine Reaktordeponie oder in einer Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) entsorgt werden. Die erhöhten Kohlenwasserstoffwerte sind vermutlich auf die Ölfeuerung in der Anlage zurückzuführen.

Aufgrund der geschilderten Entsorgungsproblematik steht das bisher massive Ausbringen von Splitt und die damit verbundene Abfallproduktion im Widerspruch mit dem Vorsorge- und Vermeidungsprinzip nach Umweltschutzgesetz und TVA.

Fazit Umwelt, Entsorgung Splitt

Altsplitt ist in der Schweiz insbesonders aufgrund der Grobverunreinigung mit Strassenabfall, Kunststoffe, Laub etc. auf einer Reaktordeponie zu entsorgen oder muss aufbereitet und wiederverwertet werden.

Bewertung: - Infogehalt: ◗

Vegetation

Nicht nur durch den Verkehr, sondern auch im Zuge der Schneeräumung kommt es zu einer Splittablagerung auf Banketten und Böschungen. Durch Auswaschung gelangen die am Splitt haftenden Schadstoffe in den Boden. Zur Zeit fehlen Untersuchungen zu den möglichen Langzeit-Auswirkungen von verunreinigtem Splitt auf den Boden und die Vegetation.

Eine Entfernung des Streusplitts nach Winterende auf dem Kulturland ist vielfach technisch nicht möglich oder zumindest so arbeitsaufwendig, dass sie im Freiland unterbleibt. Der Grasbewuchs kann dadurch geschädigt oder vernichtet werden, so dass nur tiefwurzelndes Unkraut überleben kann. Untersuchungen in Österreich deuten auch auf einen Zuwachsverlust beim Baumbestand hin (DIRNBÖCK, 1993). Solche Resultate müssten aber durch weitere Untersuchungen noch bestätigt werden.

Fazit Umwelt, Vegetation, Splitt

Zur Zeit fehlen Untersuchungen zu den möglichen Langzeit-Auswirkungen einer mechanischen Schädigung der angrenzenden Vegetation durch den Splitt sowie zu Auswirkungen des verunreinigten Splitts auf den Boden und die Vegetation. Dieser letzte Effekt dürfte eher gering sein.

Bewertung: ? Infogehalt: ○

Staubbelastung

In Deutschland wurden im Auftrag des Bundesgesundheitsamtes über drei Winterperioden (88/79 bis 90/91) Messungen der Staubbelastung durch abstumpfende Streumittel (Quarzkiessplitt) an Strassen durchgeführt (LASKUS ET AL., 1991). Die Studie kommt zum Schluss, dass eine gesundheitliche Beeinträchtigung von Passanten als auch von Anwohnern stark befahrener, mit Quarzkiessplitt abgestreuter Strassen durch Schwebstaub-Immissionen nicht auszuschliessen ist. Die MIK-Werte wurden zum Teil überschritten (MIK = Maximale Immissionskonzentration, noch unbedenklich). Die Resultate gelten für den in Berlin verwendeten Quarzkiessplitt.

Hohe Staubspitzenwerte sind vor allem beim Zusammenfegen von trockenem Splitt mit Handkehrgeräten zu erwarten. Eine betriebsärztliche Überwachung des Personals und das Tragen von Staubmasken wird empfohlen.

Eine silikogene Gefährdung (Einlagerung von Staub in die Atemwege und Lungen) ist für das Betriebspersonal bei der Bedienung der Handkehrgeräte nicht auszuschliessen. Bei Passanten und Anwohnern gibt es keine Anhaltspunkte für eine solche Gefährdung.

Das Bundesgesundheitsamt empfiehlt deshalb, den ausgestreuten Splitt - nach Möglichkeit - möglichst rasch wieder einzusammeln. Zudem ist Splitt nur an ausgesprochen kritischen Verkehrspunkten bei Minimierung der Dosierungen auf das absolut Notwendige zu streuen.

Fazit Umwelt, Staubbelastung, Splitt

Die Staubbelastung kann gravierende Auswirkungen auf das Betriebspersonal und allenfalls auch auf Passanten haben.

Bewertung: - Infogehalt: ◗

3.3 SICHERHEIT

3.3.1 Sicherheitsaspekte bei der Salzstreuung

Motorfahrzeuge

Ausserorts

In den Ländern Mitteleuropas ist ein Anteil von 10 bis 15 % aller Unfälle mit Personenschäden auf winterliche Fahrbahnzustände und nicht angepasstes Fahrverhalten zurückzuführen.

Mit einer an der Technischen Hochschule Darmstadt entwickelten Methode (DURTH et al., 1989) konnte der Zusammenhang zwischen Winterdienst und Unfällen erstmals eindeutig aufgezeigt werden. Dazu müssen der Fahrbahnzustand und das Verkehrsgeschehen zum Zeitpunkt jedes einzelnen Unfalles nachträglich so exakt wie möglich ermittelt werden. Die Studie bezieht sich auf Ausserortsstrassen.

Der Strassenwinterdienst mit Salzstreuung führt zu einem schnellen und sehr starken Rückgang des Unfallrisikos. Die Zahl der Unfälle nach der Streuung beträgt lediglich ein Viertel derer vor der Streuung. Aber der Winterdienst reduziert nicht nur die Zahl der Unfälle, sondern auch die Unfallschwere. Es geht die Zahl aller Unfallarten zurück, aber ganz besonders die der Unfälle mit schweren Personenschäden, deren Häufigkeit nach der Streuung sogar niedriger als auf nichtwinterlichen Strassen liegt.

Extrapoliert man den Nutzen der Salzstreuung für die erste Stunde nach der Streuung auf alle Landstrassen der Bundesrepublik für einen durchschnittlichen Winter, so ergeben sich bereits für diese erste Stunde nach der Streuung etwa 5 000 vermiedene Unfälle mit Personenschäden, davon 1 500 Unfälle mit schweren Personenschäden.

Fazit Sicherheit, Mfz ausserorts, Salz

Der Winterdienst mit Salzstreuung führt zu einem schnellen und sehr starken Rückgang des Unfallrisikos.

Bewertung: ++ Infogehalt: ●

Innerorts

Die Aspekte der Sicherheit im Winterdienst mit Salzanwendung innerorts werden im Abschnitt 3.3.2 behandelt, da die meisten Studien sowohl die Salz- wie auch die Splittstreuung gleichzeitig behandeln.

Die obige Bewertung der Salzstreuung auf Ausserortsstrassen bezüglich Sicherheitsaspekte kann für die Hauptverkehrs- und Hauptstrassen innerorts übernommen werden.

3.3.2 Sicherheitsaspekte bei der Splittstreuung

Motorfahrzeuge

Ausserortsstrassen

Die Studie der TH Darmstadt zur Analyse des Zusammenhanges von Winterdienst und Verkehrssicherheit wurde ebenfalls auf 350 km Landstrassen in Hessen (kein Salz, nur Räumung) und auf 440 km Landstrassen in Bayern (im Regelfall Splitt, in Ausnahmefällen Salz) erweitert.

Die Analyse zeigte einen deutlichen Anstieg des Unfallrisikos und der Strassennutzerkosten auf diesen Strecken im Vergleich zur Salzstreuung. Tabelle 3.3.1 zeigt, dass bei einer vergleichsweise unbedeutenden Salzeinsparung bereits messbare Zunahmen der Unfälle mit Personenschäden zu verzeichnen sind, und weiterhin, dass die gleichzeitige Zunahme des Kraftstoffverbrauchs und der Abgasemission auch die umweltrelevante Bedeutung der Salzeinsparung in Frage stellen.

Tabelle 3.3.1: Ermittelte verkehrlich-betriebliche Auswirkungen des eingeschränkten Winterdienstes, ausgedrückt in Mehraufwand pro 100 t eingesparten Salzes (nach DURTH et al., 1989)

Mehraufwand pro 100 t Salzeinsparung	Hessen	Bayern
Unfälle absolut	3	8
Unfälle mit Personenschäden	0,25	4
Reisezeit (h)	3 000	27 000
Kraftstoff (l)	11 000	106 000
Summe der Kosten (DM)	90 000	609 000

Die Schlussfolgerung der Studie lautet, dass der eingeschränkte Winterdienst auf Ausserortsstrassen keine Alternative zum Winterdienst mit Streusalz darstellt.

Innerortsstrassen

Über die Erfahrungen mit einem salzarmen Winterdienst in Erlangen (D) berichtet KEMPE (1985). Die Publikation beschreibt auf eindrückliche Weise die Schwierigkeiten, die sich je nach Witterung mit der Splittstreuung ergeben können.

Im Winter 1984/85 wurde in Erlangen ein neuer Streuplan eingeführt, der die Verwendung von Tausalz auf nur noch 19 km sowie den Einsatz von Splitt auf weiteren 68 km der insgesamt 350 km Strassen vorsah. Noch während des ersten Winters musste auf Druck der Öffentlichkeit dieses Streunetz wieder auf 125 km erweitert werden. Die mit Splitt behandelten Strecken waren während des Schneefalls dann gut und griffig zu befahren, wenn die Fahrzeuge mit entsprechenden Reifen ausgerüstet waren. War die Schneedecke erst einmal festgefahren (was z. B. bei Schneefall während des Berufsverkehrs und auf Hauptverkehrsstrassen unvermeidbar war), konnte "nur ein oftmaliges Abstumpfen mit Splitt eine Besserung bringen". Unter der Einwirkung von Sonne und Verkehr verdichtete sich die Schneedecke im Laufe der Zeit zu einer kompakten

Eisschicht, die den Verkehr massiv behinderte. Trotz des aufgrund heftiger Beschwerden von Bürgern, Polizei und Verkehrsbetrieben dann durchgeführten Einsatzes schweren Geräts der Bauindustrie konnten die Eisschichten nur millimeterweise abgeschabt werden. "Ein wirkungsvoller Einsatz wurde erst möglich, als die Temperaturen ... in die Nähe des Gefrierpunktes kletterten". Auf den mit Salz behandelten Strecken konnte dagegen nach einmaligem Durchgang eine einwandfreie Fahrbahn wiederhergestellt werden.

Die Zahl der Unfälle im Stadtgebiet stieg im Vergleich zu den Vorjahren um 20 bis 30 % an. Besonders stark war der Anstieg der Fussgängerunfälle an Überwegen auf etwa das 10fache des langjährigen Durchschnitts. KEMPE stellt zusammenfassend fest, dass der alternative Winterdienst zwar prinzipiell durchführbar ist, aber mit Nachteilen hinsichtlich der Winterdienstkosten, der Verkehrssicherheit und der Leistungsfähigkeit des Verkehrs erkauft wird.

In einem umfassenden Ansatz zur Interpretation der Einflussfaktoren auf die Verkehrssicherheit im Winter schreibt SCHNEEWOLF (1991), dass die Sicherheit sowohl innerwie auch ausserorts von verschiedenen Faktoren, die von der Verkehrsbevölkerung und der Administration beeinflussbar sind, abhängig ist. Er spricht von einem integrierten Winterverkehrsmanagement, wobei die Leistungen der Bevölkerung (Informationen-Nachfrage, Umfang der Verkehrsteilnahme, Ort/Zeit der Verkehrsteilnahme, gewähltes Verkehrsmittel, Ausrüstung des Verkehrsmittels und Geh-/Fahrverhaltens) ebenso wichtig sind wie diejenigen der Administration (Öffentlichkeitsarbeit bezüglich Wetter- und verkehrliche Tagesprognose, Verstärkung des öffentlichen Verkehrsangebots, verkehrslenkende Massnahmen, kommunaler Winterdienst).

Über die Verkehrssicherheit entscheidet aus seiner Sicht die Art der Aufeinanderabgestimmtheit der Krisenleistungen von Verkehrsbevölkerung und Administration. Der differenzierte Winterdienst ist nur eine der Komponenten, die zu einer erhöhten Verkehrssicherheit innerorts beitragen.

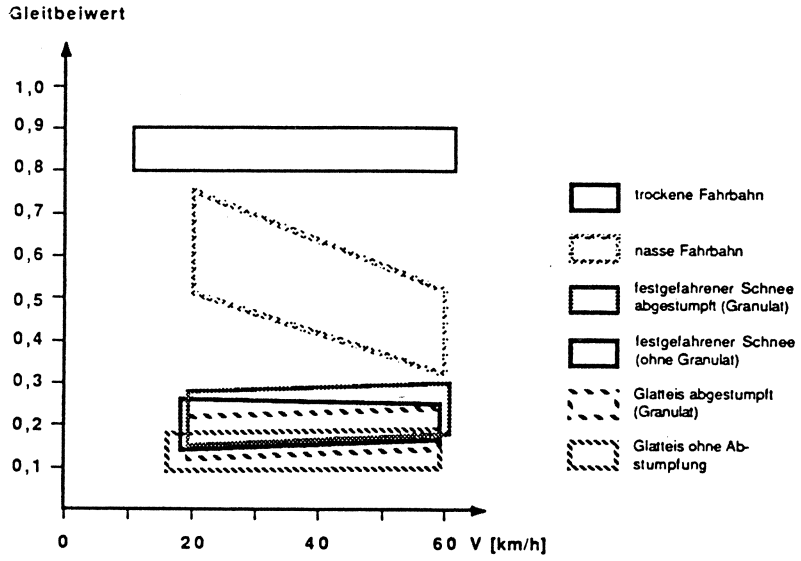
In den Wintern 1983/84 und 1984/85 waren in Hamburg 28 % der Stassennetze Salzstrecken, weitere 28 % Splittstrecken und der Rest Strecken mit Nullstreuung. Für den Winter 1985/86 wurde ein grundsätzlich streusalzfreier Winterdienst auf Fahrbahnen beschlossen. Bisherige Salzstrecken wurden nun gesplittet. Es zeigte sich, dass das Unfallgeschehen im salzarmen Winter in Hamburg im Vergleich zu den Nachbarstädten an den Glättetagen etwa gleich und an den glättefreien Tagen erheblich günstiger war. Die Datengrundlage für eine solche Interpretation war allerdings beschränkt und auch der Vergleich mit anderen Städten am selben Tag ist aus methodischer Sicht fraglich.

SCHNEEWOLF schliesst aus dem Hamburger-Versuch, dass für die Verkehrssicheit - zumindest bei ebenen Strecken - weniger der Zustand auf der Strasse als vielmehr die Reaktion der Verkehrsteilnehmer den Ausschlag gibt. Das relativ günstige Unfallgeschehen an den Glättetagen kam durch Kompensationsleistungen der Verkehrsbevölkerung und weniger durch die Wirksamkeit des Winterdienstes zustande (SCHNEEWOLF, 1991).

Umfassende Messungen und Untersuchungen von HOFFMANN et al. (1985) im Stadtstrassennetz von Berlin in den Jahren 1980 bis 1984 haben bezüglich der im Winter 1981/82 auf dem ganzen Netz eingeführten Splittstreuung zu den nachfolgend zusammengefassten Erkenntnissen geführt.

Die Wirkung von Splitt hält nur selten längere Zeit an. Das erzielbare Kraftschlussniveau (Haftung von Fahrzeugrad an Fahrbahn; massgebend für den Bremsweg und die Fahrtstabilität) führt zwar teilweise zu einem verbesserten Brems- und Beschleunigungsverhalten der Motorfahrzeuge. Es kann jedoch kein Zustand erzeugt

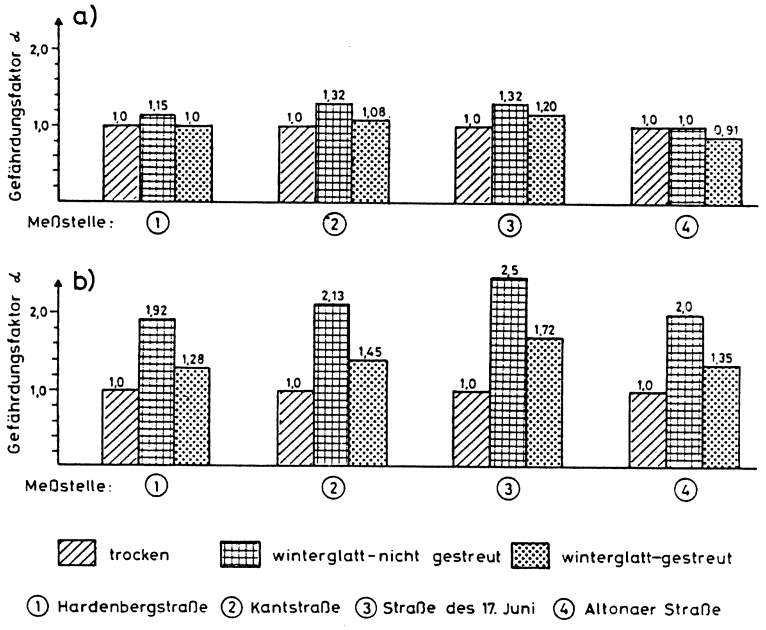
werden, der mit dem der nassen oder feuchtnassen Fahrbahn vergleichbar wäre. Die Resultate der Kraftschlussmessungen von HOFFMANN (1986) und WEHNER (1960) wurden von DURTH et al. (1989) grafisch dargestellt (Figur 3.3.2). Die Resultate zeigen eindrücklich die geringe Wirkung von Splitt bezüglich Erhöhung des Gleitbeiwertes (Mass für Kraftschluss).



Figur 3.3.2: Gleitbeiwerte (Variationsbreite von 90 % der Werte) für verschiedene Fahrbahnzustände nach WEHNER und HOFMANN (in DURTH et al., 1989)

Für glatteisähnliche Fahrbahnzustände, wie sie sich teilweise auch erst unter Verkehrseinfluss während oder nach Schneefall bilden, stellt das Ausbringen mineralischer Streustoffe in vielen Fällen keine ausreichende Massnahme zur Glättebekämpfung dar.

Die Studie zeigte, dass die Autofahrer mit einer deutlichen Geschwindigkeitsreduktion (18 bis 22 %) auf winterliche Strassenverhältnisse reagieren. Der Abstand bleibt aber gleich und die potentielle Gefährdung bei splittgestreuten, winterglatten Strassen nicht rechtzeitig anhalten zu können, steigt um 30 bis 70 % an. Die errechneten Gefährdungsfaktoren (Mass für die potentielle Gefährdung gegenüber trockener Fahrbahn) sind in der Figur 3.3.3 dargestellt

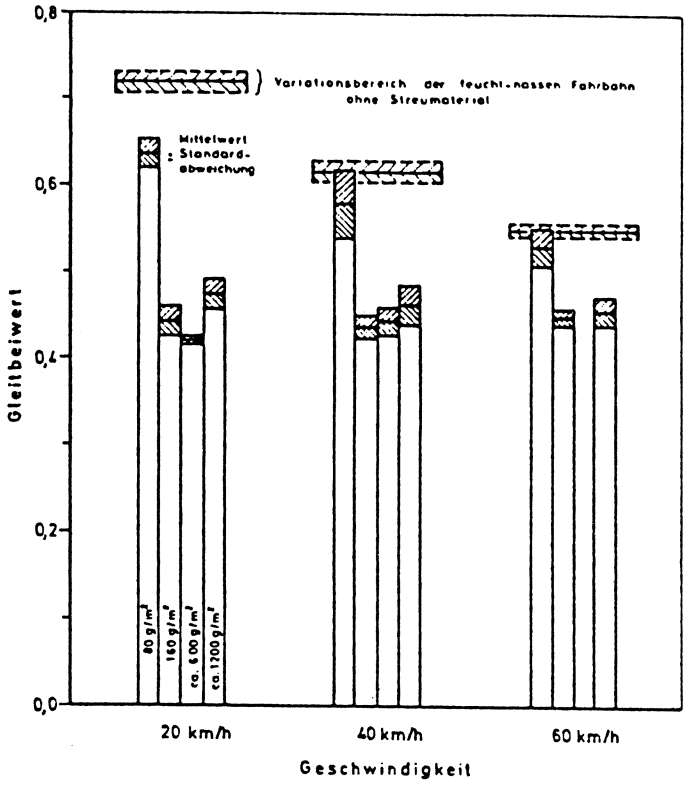


Figur 3.3.3: Gefährdungsfaktoren für unterschiedliche Fahrbahnzustände und verschiedene Messstellen
a) winterglatte Fahrbahn ohne Glatteis
b) winterglatte Fahrbahn mit Glatteis (nach HOFMANN, 1986)

Das Unfallgeschehen auf städtischen Hauptverkehrsstrassen bei Umstellung auf Streuung mit mineralischen Stoffen steigt tendenziell an, wobei nicht nur leichte, sondern auch schwere Sachschäden zu verzeichnen sind. Die Verwendung von Granulat bei normaler Glätte auf den Hauptverkehrsstrassen bewirkte eine Verdopplung der Unfallrate gegenüber der trockenen bzw. nassen Fahrbahn, während bei der Verwendung von Salz die Unfallrate auf dem Niveau der nichtwinterlichen Fahrbahn verblieb.

Auf Nebenstrassen konnte auch bei normaler Glätte kein Unterschied zwischen auftauenden und abstumpfenden Streustoffen hinsichtlich der Verkehrssicherheit festgestellt werden.

Ansammlungen mineralischer Streustoffe, wie sie am Ende von Glätteperioden häufig auf nicht oder nur vereinzelt befahrenen Flächenbereichen im Strassennetz anzutreffen sind, können zum bekannten Effekt des "Durchrutschens" der Fahrzeugreifen beim Anfahren führen. Messungen zum "Rollsplitt-Effekt" zeigten, dass die Anwesenheit von mineralischem Streustoff auf der feuchtnassen Fahrbahnoberfläche zu deutlichen Einbussen im Kraftschlussangebot führt. Dabei wird jedoch auch mit zunehmender Anhäufung des Materials ein unteres Grenzniveau des Gleitbeiwertes von 0,4 nicht unterschritten, wobei sich mit abnehmender Geschwindigkeit im Vergleich zur mineralfreien Oberfläche die Kraftschlusseinbussen stärker bemerkbar machen (Figur 3.3.4).



Figur 3.3.4: Rollsplitt-Effekt auf feuchtnasser Fahrbahn: Gleitbeiwerte bei Vorhandensein unterschiedlicher Mengen von Streumaterial für unterschiedliche Messgeschwindigkeiten (nach HOFFMANN et al., 1985a)

Ähnliche Untersuchungen auf trockener Fahrbahn unter den realistischen Bedingungen tatsächlich vorhandener Reststreumengen (schätzungsweise ca. 1 200 g/m^2 Granulat-Splitt-Gemisch) führten in der Tendenz zu gleichen Ergebnissen.

Eine weitere umfassende Untersuchung zum Winterdienst wurde in Dortmund durchgeführt (GEWU, 1992). Ziel der Arbeit war es, technische und organisatorische Möglichkeiten für Winterdienstmassnahmen zu untersuchen und zu bewerten, um daraus Orientierungshilfen und Empfehlungen für weitere Massnahmen abzuleiten. Dabei wurden unterschiedliche Winterdienstvarianten (Trockensalz, Feuchtsalz FS 30, Calcium-Magnesiumacetat, Natursplitt und Nullvariante) einer integrierten Bewertung unterzogen, die sowohl die unmittelbaren physikalischen Wirkungen der eingeleiteten Massnahmen (z.B. Tauwirkung, resultierende Glätteminderung auf der Fahrbahn) als auch die verkehrlichen Wirkungen (Verkehrsablauf, Unfallgeschehen) und die Wirkungen auf die Umwelt (z.B. Pflanzen, Böden) berücksichtigt.

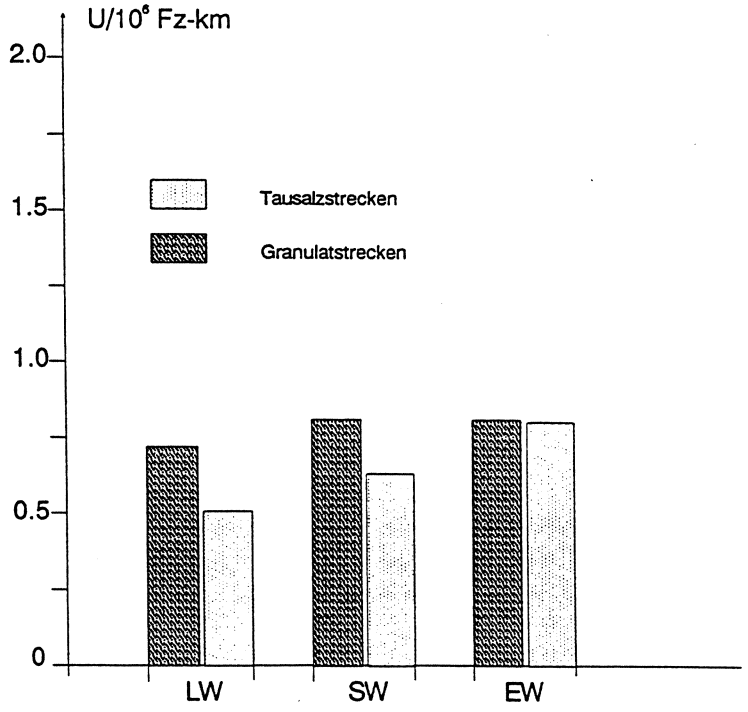
Dazu wurden in den Wintern von 1978/88 bis 1990/91 unterschiedliche Winterdienstmassnahmen in benachbarten Teilen des Dortmunder Stadtgebietes ausgeführt. Die Unfallhäufigkeiten wurden ausgewertet, und spezielle Erhebungen an einzelnen, ausgewählten Teststrecken und Knotenpunkten wurden durchgeführt. Für diese einzelnen Strecken wurden jeweils Verkehrsveränderungen wie z. B. Änderungen des Verkehrsaufkommens, Unfallhäufigkeiten und Stauhäufigkeiten ermittelt. Zudem wurden Messungen der Gleitbeiwerte durchgeführt, um durch Schnee, Eis oder Reif erzeugte und durch Wirkung des jeweiligen Streustoffes ggf. geminderte Glätte auf der Fahrbahn möglichst objektiv zu erfassen. Bezüglich Unfallhäufigkeit wurde zur Absicherung der Resultate gleichzeitig eine ergänzende Analyse von Unfallhäufigkeiten im Berliner Stadtgebiet durchgeführt.

Die Winterperioden im gewählten Zeitraum zeichneten sich durch sehr mildes Wetter aus. Deshalb können die Untersuchungsergebnisse nur Tendenzen aufzeigen.

Im Vergleich zum Trockensalz waren die Wirkungen der Streugüter Feuchtsalz (FS30) und CMA auf schneebedeckter Fahrbahn in der ersten Stunde nach dem Abstreuen sehr gering. Erst danach stiegen die Gleitbeiwerte bei der mit FS30 behandelten Strecke merklich an. Das Streugut Quarz-Kies erzielte eine geringfügige Anhebung der Gleitbeiwerte unmittelbar nach dem Streuen, hatte jedoch insgesamt keine durchgreifende Wirkung.

Die Auswertung der Unfallhäufigkeiten in den verschiedenen Streugebieten - aufgeteilt nach Winter- und Sommerhalbjahren - zeigte, dass die Gesamtheit der Unfälle in den Gebieten zu gering war, um statistisch fundierte Aussagen machen zu können.

Die anhand des streusalzlosen Winterdienstes (Splittstreuung) in Berlin durchgeführten Unfallauswertungen (Unfallraten) zeigen, dass die absolute Zunahme der Unfallraten (schwere Unfälle: B- und C-Kategorie) bei winterlichen Strassenverhältnissen höher auf den Granulat- als auf den Tausalzstrecken liegen. Bei extrem winterlicher Witterung liegen die Zunahmen der Unfallraten bei den beiden Winterdienstmöglichkeiten gleich hoch (Figur 3.3.5).



Figur 3.3.5: Absolute Zunahme der Unfallraten bei winterlichen Strassenverhältnissen (ohne leichte Sachschäden)
NW = nicht winterliche Witterung
LW = leicht winterliche Witterung
SW = stark winterliche Witterung
EW = extrem winterliche Witterung

Einer Verallgemeinerung dieser Ergebnisse stehen allerdings die nur punktuell im betrachteten Netz verfügbaren Daten der Verkehrsbelastung entgegen. Aufgrund der speziellen Berliner Verkehrssituation (v.a.umfangreiches Angebot an öffentlichen Verkehrsmitteln) dürfen diese Resulate auch nicht ohne weiteres auf andere Städte übertragen werden. Diese Einschränkungen zeigen, wie schwierig es ist, im innerstädtischen Bereich zuverlässige Aussagen zur Verkehrssicherheit zu bekommen.

Aufgrund des geringen Anstiegs der Gleitbeiwerte bei Splittstreuung unter den vorhandenen Randbedingungen (Schneedecke/Schneefall) kommen die Verfasser der Dortmunder Studie zum Schluss, dass auf den Einsatz von abstumpfenden Stoffen verzichtet werden kann. Dabei weisen sie vor allem auf den Aufwand für die Reststoffeinsammlung und die erforderliche problematische Entsorgung der kontaminierten Reststoffe hin.

BARK et al. (1993) untersuchten im Rahmen des Forschungsauftrages "Winterdienst und Verkehrssicherheit (innerorts)" an der TH Darmstadt die Auswirkungen des differenzierten Winterdienstes auf die Verkehrssicherheit.

Bei den Unfalluntersuchungen (alle vier Städten, 1988/89 bis 1992/93) zeigte sich, dass an Tagen mit Volleinsätzen die Unfallrate bzw. Unfalldichte höher als an nichtwinterlichen Vergleichstagen ist. Die mittlere Unfallschwere ist an diesen winterlichen Tagen in Darmstadt, Erlangen und Hannover hingegen meist geringer. In Garmisch-Partenkirchen ist die winterliche Unfallschwere tendenziell eher höher als die nichtwinterliche. Der Unterschied ist vermutlich auf die verstärkte Reaktion der Autofahrer auf die sehr seltenen winterlichen Strassenverhältnisse in den drei Städten zurückzuführen.

Die Untersuchungen zeigten, dass das Fahrverhalten bei winterlichen Fahrbahnverhältnissen wesentlich riskanter als auf trockenen Strassen ist. Da die Geschwindigkeiten den Fahrbahnverhältnissen nicht ausreichend angepasst werden und der Kraftschluss deutlich reduziert ist, ergeben sich Risikofaktoren, die ca. 40 % über dem ausreichenden angepassten Wert von F = 1 bei trockener Fahrbahn liegen. Der Risikofaktor F ist ein Indikator für die relative Sicherheit der Fahrweise und ergibt sich aus dem Quotienten des Brems- bzw. Anhalteweges bei verschiedenen Fahrbahnverhältnissen.

So ist bei Salzstrecken eine geringere Überschreitung des Risikofaktors zu verzeichnen als bei Splittstreuung, da auf den Salzstrecken genauso wie auf der Splittstreuung nur eine leichte Geschwindigkeitsabnahme zu verzeichnen war, jedoch der Kraftschluss bei Splitt wesentlich geringer ist als bei Salz.

Bei der Nullstreuung sind eine geringere Unfalldichte (Unfälle/10^3 km) und auch geringere mittlere Unfallkosten (DM/Unfall) zu verzeichnen als bei Splittstreuung. Dies deutet im Durchschnitt auf weniger Unfälle hin und auch weniger schwere Unfälle auf den Nullstrecken. In den untergeordneten Strassen ohne Winterdienst wird also bewusster auf die winterlichen Gefahren reagiert.

Im Vergleich zwischen Salz- und Splittstreuung lässt sich dagegen nicht eindeutig eine geringere Unfallschwere bei einem der beiden Streustoffe erkennen. Die Unfalldichte auf Salzstrecken ist meist höher, doch handelt es sich gewöhnlich entweder um hochbelastete oder gefährliche - also nicht um direkt vergleichbare - Strassen.

Aus der Analyse des Fahrverhaltens und des Unfallgeschehens lässt sich ableiten, dass auf Strassen mit massgebender Verbindungsfunktion auf Winterdienst mit Salzstreuung nicht verzichtet werden sollte. Splittstreuung suggeriert dem Autofahrer eine stärkere Erhöhung der Griffigkeit als sich tatsächlich einstellt, was zu hohe Geschwindigkeiten zur Folge hat. Im untergeordneten Strassennetz ist Nullstreuung einer Splittstreuung vorzuziehen, da offenbar das höhere Risiko dem Fahrer deutlicher wird. Salzstreuung ist hier aber an besonderen Gefahrenstellen sinnvoll.

Aus diesen Untersuchungen wird deutlich, dass die statistische Sicherheit der Aussagen mit der Differenzierung im Innerortsbereich stark abnimmt. Dadurch wird auch eine regionale oder landumfassende Aussage zur Wirksamkeit des Innerorts-Winterdienstes insgesamt sehr fraglich (DURTH, 1994).

Fazit Sicherheit, Mfz innerorts, Salz/Splitt

Der Winterdienst mit Salzstreuung gewährleistet eine hohe Verkehrssicherheit. Die Wirkung von Splitt bezüglich Kraftschlusserhöhung ist hingegen gering. Das Risiko eines Unfalls wird tendenziell erhöht. Die Sicherheit wird nur teilweise gewährleistet.

Bewertung Salz:	++	Infogehalt:	●
Bewertung Splitt:	0	Infogehalt:	◗

Radwege

Im Rahmen einer Studie von BACH et al., 1995 wurde festgestellt, dass der Fahrunfall (Alleinunfall) auf Radwegen der häufigste Unfalltyp ist. Das im Winter festgestellte erhöhte Unfallrisiko wird auf die Verkehrsverlagerung vom Radweg auf die Strasse zurückgeführt. Einen direkten Zusammenhang mit den Schneeverhältnissen auf dem Radweg konnte somit nicht festgestellt werden.

Fussgänger auf Gehwegen

Eine Studie in Schweden über Unfälle und Verletzungen bei älteren Leuten (über 60 Jahre) auf Gehwegen und Strassen zeigt, dass 52 % der Verletzungen durch Stürze, 44 % durch Kollisionen mit Fahrzeugen und 4 % durch andere Faktoren verursacht werden (GARD & LUNDBORG, 1994; SJÖGREN & BJÖRNSTIG, 1989, 1991). Zwei Drittel der Stürze erfolgten auf Glatteis oder Schnee.

Bisher konnten Vorteile eines bestimmten Streustoffes für die Sicherheit einzelner Fussgänger nicht nachgewiesen werden (MORITZ, Entwurf 1997).

3.4 LEISTUNGSFÄHIGKEIT DER STRASSEN

3.4.1 Leistungsfähigkeit der Strassen bei der Salzstreuung

Die Salzstreuung auf Ausserortsstrassen gewährleistet einen hohen Verkehrsfluss. Beobachtungen zur Leistungsfähigkeit der Strassen ergaben, dass diese durch den Winterdienst mit Salzstreuung gegenüber der glatten Fahrbahn deutlich gesteigert wird.

Fazit Leistungsfähigkeit Strassen, Salz

Die Salzstreuung gewährleistet einen hohen Verkehrsfluss.			
Bewertung Salz:	++	Infogehalt:	●

3.4.2 Leistungsfähigkeit der Strassen bei der Splittstreuung

Motorfahrzeuge

Innerorts

Die verkehrstechnischen Messungen in Berlin im Verlauf der beiden Winter 1980/81 und 1981/82 (HOFFMANN et al., 1985c) haben gezeigt, dass bei normalen winterlichen Strassenverhältnissen die Leistungsfähikgeit an den lichtsignalgesteuerten Knotenpunkten etwa um ein Drittel gegenüber der trockenen Fahrbahn reduziert wird. Dies führt zusammen mit geringeren Fahrgeschwindigkeiten bei Winterglätte zu einer Abnahme der mittleren Reisegeschwindigkeiten von 35 km/h auf etwa 25 km/h. Für die Erreichbarkeit derselben Ziele im Stadtgebiet muss dann z. B. in der morgendlichen Hauptverkehrszeit ungefähr ein 1,5facher Zeitaufwand gegenüber der Fahrt bei trockener Fahrbahn in Kauf genommen werden.

Die Leistungsfähigkeit der Zufahrten an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlagen sinkt bei extremer Winterglätte auf die Hälfte der Durchflussmöglichkeit bei trockener Strasse ab.

Die winterdienstliche Betreuung von Strassen ist volkswirtschaftlich auch unter dem Gesichtspunkt der Aufrechterhaltung des Verkehrs, d.h. Sicherung einer möglichst grossen Leistungsfähigkeit zumindest auf Hauptverkehrsstrassen, zu sehen (BARK et al.,1993). So verändert sich grundsätzlich die Leistungsfähigkeit einer Strasse mit wechselndem Fahrbahnzustand, wenn die Sicherheit gleich bleibt, d. h., dass ein niedriger Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn (bedeutet ein längerer Bremsweg) durch Geschwindigkeitsreduzierung kompensiert wird. Zum Beispiel verringert sich bei schneebedeckter Fahrbahn auf einer innerörtlichen Strasse die Leistungsfähigkeit, unter der Annahme eines Risikofaktors von 1 (V_{85} = 50 km/h), um etwa 35 % gegenüber einer trockenen Fahrbahn. Die Verringerung der Leistungsfähigkeit für eine nasse Fahrbahn liegt hingegen nur bei etwa 13 %. Hieraus lässt sich schliessen, dass die zügige Beseitigung des Fahrbahnzustandes "schneebedeckt" von volkswirtschaftlich grossem Interesse ist.

Fazit Leistungsfähigkeit Strassen, Splitt

Mit der Splittstreuung wird die Leistungsfähigkeit der Strassen gegenüber der Salzstreuung reduziert. Eindeutige Untersuchungen dazu im innerörtlichen Bereich konnten aber bisher nicht durchgeführt werden.

Bewertung: 0 Infogehalt: ◗

3.5 SYNTHESE

Wirtschaftlichkeit

Der hohe volkswirtschaftliche Nutzen des Winterdienstes mit Salzstreuung auf Ausserortsstrassen wurde in einer umfassenden Studie aufgezeigt. Bereits nach 140 Fahrzeugüberfahrten auf der gestreuten Fahrbahn übersteigt der Nutzen die Kosten des Winterdienstes.

Innerorts konnte ein solcher Nachweis, insbesondere mit einer Differenzierung nach Salz- und Splittstrecken, noch nicht erbracht werden.

Hingegen liegen die Kosten des Winterdienstes mit Splitt um ein Mehrfaches höher als mit Salzanwendung. HANKE (1996) schätzt, dass die Kosten für die Streuung eines Kilometers Strasse etwa 10- bis 20fach höher bei der Splitt- als bei der Salzstreuung liegen. Dabei fallen vor allem die Wiedereinsammlungs- und die Entsorgungskosten ins Gewicht.

Die Betriebskosten der Salzstreuung können deshalb als "gering" bezeichet werden, während diejenigen der Splittstreuung als "unverhältnismässig hoch" zu bewerten sind.

Umweltaspekte

Die Auswirkungen der Salzbelastung auf den Boden, die Fliessgewässer und das Grundwasser sind in der Regel örtlich und zeitlich beschränkt. Die Beeinträchtigung der Vegetation, insbesondere der Bäume im innerstädtischen Bereich, darf nicht unterschätzt werden. Neuere Erkenntnisse zeigen, dass eine Gesamtmenge von 1 kg $NaCl/m^2$ und Jahr noch akzeptabel ist. Durch technische Massnahmen ist allerdings zu gewährleisten, dass nicht mehr als 10 % des auf der Fahrbahn ausgebrachten Auftausalzes in den Wurzelbereich der Bäume eindringt.

Neuere Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass auch die Splittstreuung bezüglich Umweltauswirkungen nicht unbedenklich ist. Dabei ist insbesondere auf die bedeutende Abfallproduktion (verunreinigter Altsplitt) und die damit verbundene Entsorgungsproblematik hinzuweisen. Aber auch die Staubbelastung beim Wiedereinsammeln des Splitts ist bezüglich Gesundheit des Strassenpersonals und in geringerem Masse der Passanten problematisch. Eine umfangreiche Darstellung der Umweltauswirkungen von Splitt ist in der jüngsten, wertvollen Literaturstudie von MORITZ (Entwurf 1997) zu finden.

Sowohl die Salz- (Schädigung der Vegetation) als auch die Splittstreuung (Entsorgung, Staubbelastung) sind deshalb als "erhebliche" Belastung einzustufen. Massnahmen zur Reduktion der Streumengen beider Stoffe drängen sich auf.

Sicherheit

Der Winterdienst mit Salzstreuung führt zu einem schnellen und sehr starken Rückgang des Unfallrisikos. Die Zahl der Unfälle nach der Streuung beträgt lediglich ein Viertel derer vor der Streuung. Die Zahl aller Unfallarten geht zurück, aber ganz besonders die der Unfälle mit schweren Personenschäden.

Die Wirkung von Splitt hält nur selten längere Zeit an. Zudem zeigten Kraftschlussmessungen, dass die Wirkung von Splitt nur sehr gering ist. Die Verwendung von Splitt

bei normaler Glätte auf den Hauptverkehrsstrassen bewirkt eine Erhöhung der Unfallrate gegenüber der trockenen bzw. nassen Fahrbahn, während bei der Verwendung von Salz die Unfallrate auf dem Niveau der nichtwinterlichen Fahrbahn verbleibt (HOFFMANN et al., 1985).

Die absolute Zunahme der Unfallrate der schweren Unfälle bei winterlichen Strassenverhältnissen liegt höher auf den Splitt- als auf den Tausalzstrecken (GEWU, 1992).

Splittstreuung suggeriert dem Autofahrer eine stärkere Erhöhung der Griffigkeit als sich tatsächlich einstellt, was zu hohe Geschwindigkeiten zur Folge hat. So ergibt sich bei der Splittstreuung eine höhere Überschreitung des Risikofaktors als bei der Salzstreuung (BARK et al.,1993).

Bei der **Nullstreuung** sind tendenziell eine geringere Unfalldichte und auch geringere mittlere Unfallkosten zu verzeichnen als bei der Splittstreuung (BARK et al., 1993). In den untergeordneten Strassen ohne Winterdienst wird also bewusster auf die winterlichen Gefahren reagiert. Die Nullstreuung kommt nur in Frage in ebenen Quartierstrassen, ohne spezielle Gefahrenstellen.

Die Vor- und Nachteile der Salz- und der Splittstreuung wurden von HANKE (1996) zusammengefasst und sind im neuen Merkblatt der VKS (1997) übernommen worden (siehe Tabelle 3.5.1).

Tabelle 3.5.1: Vor- und Nachteile der Salz- oder Splittstreuung

VOR- UND NACHTEILE DER SALZ- ODER SPLITTSTREUUNG (NACH VKS, 1997)

Salzstreuung

- Eine aktuelle Studie der TH Darmstadt zum Thema Verkehrssicherheit im Winter innerorts (DURTH et al., 1994) zeigt, dass Streusalz - insbesondere auf den verkehrswichtigen Strassen - die Verkehrssicherheit erheblich erhöht und zudem Verkehrsfluss und Leistungsfähigkeit gewährleistet.
- Salz ist sowohl hinsichtlich der Streustoffkosten als auch hinsichtlich der Ausbringungskosten der wirtschaftlichste Streustoff (insbesondere auch durch die geringen Mengen).
- Eine aktuelle Untersuchung zu den Umweltauswirkungen von Salz (BROD, 1994) belegt, dass Salz in den heute üblichen Mengen bei entsprechend vorsichtiger Dosierung und Ausbringung keine Umweltschäden hervorruft. Die Untersuchung zeigt auf, dass Mengen von unter 1 kg pro m^2 und Jahr unschädlich sind; diese werden heute im kommunalen Bereich weit unterschritten.
- Untersuchungen haben gezeigt, dass mit Feuchtsalz bei verbesserter Wirkung deutliche Verringerungen der Salzmengen (mindestens 25 %) erreicht werden können, so dass die Feuchtsalzausbringung sowohl eine sehr wirtschaftliche als auch umweltfreundliche Methode ist.

Splittstreuung

- Die Wirkung der abstumpfenden Stoffe auf den Verkehr ist äusserst gering. Der Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn wird nur geringfügig verbessert, zudem sind in kürzeren Abständen Nachstreuungen erforderlich. Dementsprechend zeigen Unfallanalysen im Rahmen der o. g. Forschungsarbeit (DURTH et al., 1994) auch, dass die Auswirkungen der Splittstreuung auf die Verkehrssicherheit neutral bis negativ sind und mit der Salzstreuung nicht konkurrieren können. Insbesondere problematisch ist, dass die Verkehrsteilnehmer nach erfolgter Streuung eine Verbesserung des Kraftschlusses unterstellen und schneller fahren.
- Wegen der grossen erforderlichen Streumengen, der Notwendigkeit des Nachstreuens, der Notwendigkeit der Wiederaufnahme und Entsorgung (zumindest eines Teils der ausgebrachten Menge) ist die Splittstreuung ein erheblicher Kostenfaktor. Die Kosten für die Streuung eines Kilometer Strasse betragen unter Berücksichtigung der Entsorgungskosten bei Splittstreuung etwa das 15- bis 20fache gegenüber der Salzstreuung. Beim Streuen anderer abstumpfender Stoffe ist das Verhältnis noch schlechter, da die Entsorgung noch problematischer ist.
- Die Streuung von abstumpfenden Stoffen ist auch hinsichtlich der Umweltbelastung problematisch. In - heute immer noch zum Teil verwendeten - Schlacken und Granulaten sind Schwermetalle enthalten, die Grundwasser und Boden belasten können. Bei allen abstumpfenden Stoffen - auch Splitt - zeigt sich die Staubbelastung (Zermahlen durch den Verkehr) bei Aufwirbelungen durch den Verkehr bzw. bei der Wiederaufnahme (Kehren) als erheblich gesundheitsgefährdend für die Anwohner und vor allem für das Kehrpersonal. Untersuchungen des Bundesgesundheitsamtes in Berlin haben entsprechende Gesundheitsgefahren (Staublunge) nachgewiesen.
- Als weiterer Problempunkt hat sich die Entsorgung erwiesen. Bis heute gibt es kein funktionierendes Recycling-Verfahren zur Wiederverwendung im Winterdienst, abgesehen von den hohen Kosten. Somit muss die eingesammelte Menge häufig deponiert werden. Im Hinblick auf das Abfallvermeidungsgebot ist die abstumpfende Streuung also sehr problematisch.
- Splitt bringt lediglich in den Fällen Vorteile, wo eine Schneedecke über längere Zeit auf der Strasse verbleibt und gepflegt werden kann und der Salzeinsatz mit ständiger Schwarzräumung nicht sinnvoll ist. Hier bringt Splitt eine leichte Verbesserung des Kraftschlusses auf der Schneedecke. Dies kommt nur für höhere Lagen in schneereichen Gebieten in Frage; hierbei ist die richtige Räumtechnik (Pflege der Schneefahrbahnen) zu beachten.

VOR- UND NACHTEILE DER SALZ- ODER SPLITTSTREUUNG (NACH VKS, 1997) Forts.

Nullstreuung

- Bei den Untersuchungen zur Verkehrssicherheit hat sich gezeigt, dass auf Nebenstrassen mit geringem Geschwindigkeitsniveau und ohne besondere Gefahrenstellen auch ohne Streuung ein gutes Sicherheitsniveau erreicht wird, da die Verkehrsteilnehmer hier vorsichtig fahren. Insbesondere im Vergleich zur Splittstreuung ist die Nullstreuung auf diesen Strassen aus verkehrlicher Sicht mindestens gleich gut.

- Hinsichtlich der Kosten und der Umweltbelastung ist die Nullstreuung naturgemäss der Ausbringung von Streustoffen überlegen.

Aufgrund dieser neuen Erkenntnisse und einer integralen Betrachtung der Aspekte Wirtschaftlichkeit, Umwelt und Sicherheit müssen auch die abstumpfenden Streumittel kritisch betrachtet werden. HANKE wirft bereits 1993 die Frage auf, ob die sehr geringe und dazu noch zeitlich beschränkte Wirksamkeit der abstumpfenden Streuung die immens hohen Kosten (einschliesslich der Folgekosten für Wiederaufnahme und Entsorgung) sowie die damit verbundene Belastung von Mensch (Staub) und Umwelt (Ressourcen, Deponiefläche, Energie, Abgase, Lärm, Abwasser) rechtfertigen. Aufgrund dieser Erkenntnisse sollte die Nullstreuung in den dafür geeigneten Strassenabschnitten (Quartierstrassen) in Zukunft konsequenter angewendet werden.

3.6 PRAKTISCHE HINWEISE ZUR OPTIMIERUNG DES WINTERDIENSTES

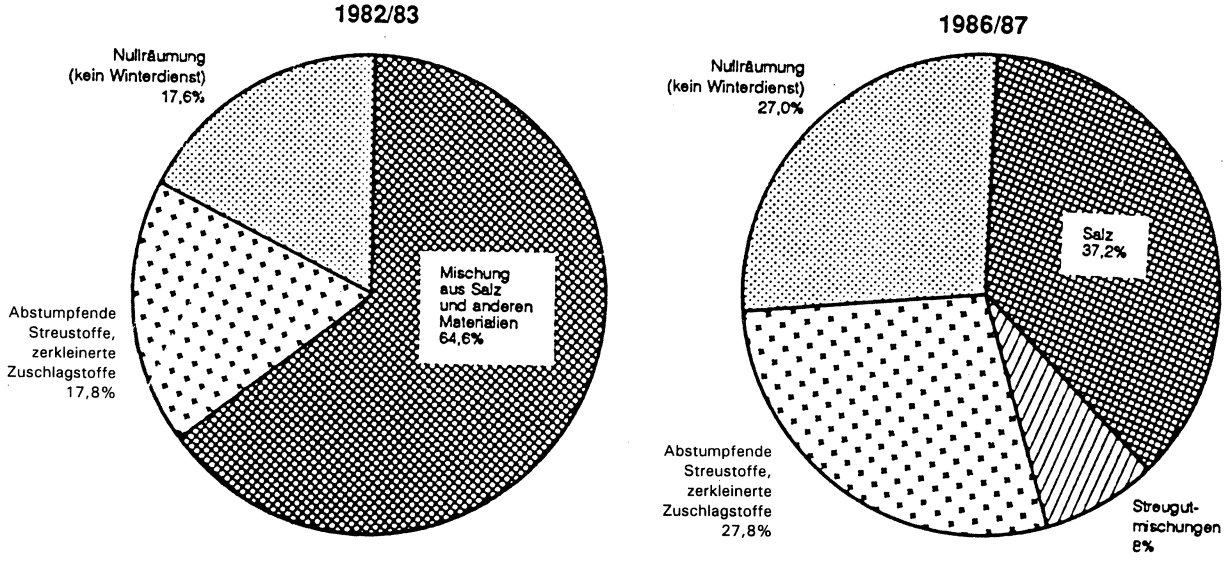
3.6.1 Winterdienst auf Strassen innerorts

Erfahrungen in Schweden

In Schweden wurde aufgrund einer umfangreichen Untersuchung (Minsalt-Projekt 1985 - 1991) die Winterdienst-Strategie angepasst. Die Strategie zielt darauf hin, weniger Salz zu verwenden und gleichzeitig ein hohes Sicherheitsniveau zu erreichen. Feuchtsalz-Technik, effizientes Räumen und vorsorgliche Salzstreuung stehen dabei im Vordergrund. In Städten wird weiterhin die Splittstreuung auf Quartierstrassen empfohlen. Auf Fuss- und Fahrradwegen wird ebenfalls die Splitt- oder Sandstreuung empfohlen (ÖBERG AND GUSTAFSON, 1991).

Erfahrungen in Deutschland

Seit 1990 hat sich im Bundesdurchschnitt aller Städte ein Anteil von etwa 40 Prozent Salzstreuung, 30 Prozent abstumpfender Streuung und etwa 30 Prozent Nullstreuung - jeweils bezogen auf die Strassennetzlänge - eingependelt. Der Anteil der Splittstrekken und der Nullstrecken am gesamten Strassennetz hat sich seit 1982/83 wesentlich vergrössert (Figur 3.6.1). In einer Winterperiode werden von den deutschen Städten durchschnittlich etwa 500 000 Tonnen abstumpfende Stoffe im Strassenwinterdienst ausgestreut. Hinzu kommen die auf Rad- und Gehwegen verwendeten Streustoffe (HANKE, 1993a).



Figur 3.6.1: Vergleich der Strassennetzanteile und der jeweiligen Winterbehandlung im Winter 1982/83 (Durchschnitt aller Städte) (nach HANKE, 1987)

Der Forschungsbericht der TH-Darmstadt (DURTH u. HANKE, 1989) beschreibt ein Verfahren zur Aufstellung optimierter Räum- und Streupläne. Ziel der Optimierung ist dabei, mit den zur Verfügung stehenden Mitteln einen bestmöglichen Winterdienst durchzuführen. Dadurch können erhebliche Einsparungen und Verbesserungen erreicht

werden, sowohl im Hinblick auf die Kosten des Winterdienstes als auch auf dessen Wirksamkeit für den Verkehr.

Die bisherige Winterdienststrategie in Deutschland ist im Merkblatt "Kommunaler Winterdienst" (MERKBLATT FGSV, 1985), in der Info-Schrift "Differenzierter Winterdienst im kommunalen Bereich" des VKS (VKS,1987) beschrieben. Die zukünftige Strategie wird in einer neueren Informationsschrift des VKS dargestellt (1997). Aufgrund der Bedeutung dieser Publikation werden wichtige Empfehlungen dieser Schrift wiedergegeben (siehe Tabellen 3.6.1 und 3.6.2). Weitere Angaben zu den Eigenschaften und zum Einsatz der Streustoffe werden nachfolgend auszugsweise zitiert (VKS, 1997):

"Auftauende Streustoffe (Salz)

Die erforderliche Streumenge hängt bei der Salzstreuung von der Dicke der Schnee- und Eisschicht, von der Temperatur, der Luftfeuchte und der Verkehrsdichte ab. Insofern ist es wichtig, möglichst viel Schnee mechanisch durch Räumen von der Fahrbahn zu beseitigen, so dass nur noch der Rest abgetaut werden muss und somit geringere Salzmengen ausreichen.

Der wirksamste, wirtschaftlichste und relativ umweltfeundlichste Taustoff ist Natriumchlorid (Kochsalz NaCl). Bei tieferen Temperaturen (etwa ab -10 °C) wird auch Calcium- oder Magnesiumchlorid verwendet ($CaCl_2$, $MgCl_2$, in der Regel beigemischt); die Eigenschaften und Auswirkungen sind vergleichbar. Bei normalen Temperaturen und Einsätzen reichen Streumengen bis maximal 20 g/m^2 aus.

Andere "alternative Taustoffe" sind nicht nur wesentlich teurer, sondern in den meisten Fällen wesentlich belastender für die Umwelt. Häufig ist auch die Wirksamkeit (erforderliche Menge, Temperaturgrenze, Zeitdauer zum Tauen) deutlich schlechter. Die Anwendung solcher Stoffe ist generell abzulehnen...

Abstumpfende Stoffe (Splittstreuung)

Eine solche abstumpfende Wirkung kann nur mit relativ grossen Streumengen erreicht werden, hierfür sind mindestens 100 g/m^2 erforderlich, in der Regel 150 g/m^2. Bei einer Eisschicht oder bei Reifglätte sind abstumpfende Mittel praktisch ohne Wirkung, da sie nicht auf der Oberfläche haften und durch den Verkehr weggeschleudert werden. Auf einer (noch nicht festgefahrenen) Schneedecke ist eher eine abstumpfende Wirkung zu erreichen, allerdings auch nur so lange, bis durch den Verkehr das Streugut zur Seite (aus den Reifenspuren heraus) geschleudert, in die Schneedecke ganz eingedrückt oder unter Verkehrswirkung die Oberfläche zu Eis verdichtet wurde. Um die Bildung von dickeren Eisschichten zu verhindern, ist deshalb eine intensive Schneeräumung und eine Pflege der Schneefahrbahnen wichtig..."

Weitere Empfehlungen zum Streustoff-Einsatz und zur Minimierung der Salzmengen sind in den Tabelle 3.6.1 und 3.6.2 wiedergeben.

Tabelle 3.6.1: Empfehlungen zum Streustoff-Einsatz (VKS, 1997)

Empfehlungen zum Streustoff-Einsatz gemäss Informationsschrift des VKS (1997)
• Einsatz von Salz auf allen Strassen, auf denen aus Gründen der Sicherheit und des Verkehrsflusses ein höherer Kraftschluss zwischen Fahrzeug und Fahrbahn erreicht werden muss. Dies sind: - Hauptverkehrs-, Hauptsammelstrassen, Strassen mit hoher Verkehrsbelastung - Strassen mit besonderem Verkehr (Öffentl. Verkehr, Rettungsdienste, ggf. Zufahrten zu Industriegebieten) - besondere Gefahrenstellen (Steigungsstrecken, Engstellen, besondere Knotenpunkte, Brücken, Punkte mit besonderer Glättebildung) Grundsätzlich ist bei der Salzanwendung der Einsatz von Feuchtsalz (FS 30) zu empfehlen.
• Auf allen anderen Strassen, auf denen die Streuung von Salz nicht erforderlich ist, ist grundsätzlich die **Nullstreuung** zu empfehlen, d.h. der Verzicht auf Streustoffe, da die Splittstreuung hier keine Vorteile, sondern nur Nachteile bringt (ausser in höheren Lagen in schneereichen Gebieten).
• Diese Strecken sind bei Bedarf lediglich zu räumen. In ganz besonderen Fällen (Eisregen, Glatteis, besondere Reifglätte) kann auch auf diesen Strecken eine Streuung erforderlich werden; in diesen Fällen muss flächendeckend Salz eingesetzt werden; Differenzierung des Winterdienstes heisst also in diesem Fall zeitliche Differenzierung nach den Wetterverhältnissen.
• Der **Differenzierte Winterdienst** stellt an den Verkehrsteilnehmer erhöhte Anforderungen, da er im Stadtgebiet sehr stark unterschiedliche Fahrbahnverhältnisse antrifft, die nicht immer sofort optisch zu unterscheiden sind (schwarze Fahrbahn, weisse Strassen). Daher ist bei der Einteilung des Netzes in diese zwei Streustufen unbedingt darauf zu achten, dass für die Salzstreuung ein zusammenhängendes Netz entsteht (kein ständiger Wechsel zwischen gestreut und ungestreut) und Streugrenzen an für den Verkehrsteilnehmer plausiblen Stellen liegen und erkennbar sind, da er sich an diesen Stellen in der Fahrweise umstellen muss. Darüber hinaus muss durch gezielte Öffentlichkeitsarbeit an die Verkehrsteilnehmer appelliert werden, ihre Fahrzeuge wintergerecht auszurüsten, sich in Geschwindigkeit und Fahrweise den veränderten Strassenzuständen anzupassen sowie nach Möglichkeit auf den öffentlichen Personennahverkehr auszuweichen. Insbesondere, wenn - infolge der vorliegenden Empfehlungen - von Splitt- auf Nullstreuung umgestellt wird, ist eine **intensive Aufklärung der Öffentlichkeit** über Ursachen und Ziel der Umstellung wichtig.

Tabelle 3.6.2: Empfehlungen zur Minimierung der Salzmengen (VKS, 1997)

Weitere Empfehlungen zur Minimierung der Salzmengen gemäss Informationsschrift des VKS (1997)
Auch auf den Strecken, auf denen der Salzeinsatz nach wie vor erforderlich ist, können die Salzmengen durch Einsatz modernster Technik und Beachtung neuer Erkenntnisse deutlich reduziert und minimiert werden. Hierbei sind vor allem folgende Punkte von Bedeutung: • Nutzung und Auswertung bestmöglicher Wetterinformationen durch Anschluss an das bundesweit bei den Wetterämtern betriebene Strassen-Wetter-Informations-System (SWIS), ggf. zusätzliche Glättemeldeanlagen im eigenen Netz und intensive Beobachtung und Auswertung des Wettergeschehens; hierzu sind auch Schulungen des Personals notwendig. • Eine wesentliche und heute noch nicht ausreichend genutzte Möglichkeit zur Minimierung der Streumengen ist die verstärkte mechanische Räumung. Je mehr Schnee und Eis mechanisch von der Strasse entfernt wird, um so weniger muss auf physikalisch-chemischem Wege "weggetaut" werden. Somit können aggressive Pflüge, Besen oder Räum-Kehr-Kombinationen, richtig eingesetzt, auch Streustoffe reduzieren. • Die Anwendung hochwertiger Salze mit hoher Tauleistung ermöglicht durch ein optimales Verhältnis zwischen getauter Eismenge und aufgebrachter Salzmenge eine Minimierung der Salzmenge, hier bestehen bei den am Markt angebotenen Salzen durchaus Unterschiede. • Sehr wesentlich zur Salzmengenreduzierung ist die Anwendung von Feuchtsalz (FS 30). Untersuchungen haben gezeigt, dass hierbei nicht nur deutliche Salzeinsparungen (mindestens 25 %), sondern gleichzeitig auch eine verbesserte Wirkung (schnellere Tauwirkung, längere Liegedauer, Wirksamkeit bei tiefen Temperaturen) erreicht werden. Auch die Wirtschaftlichkeit wird verbessert, da die Einsparungen die Investitionen wieder aufwiegen. • Möglichst frühzeitiger Winterdiensteinsatz, da, je früher die Streuung erfolgt (vor Festfahren des Schnees), eine geringere Streumenge ausreicht; bei verlässlicher Wetterprognose (SWIS) und entsprechenden Wetterlagen ist ein vorbeugendes Streuen auch unter dem Gesichtspunkt der Salzmengenminimierung notwendig, da weniger Salz zum Verhindern einer Glättebildung benötigt wird als zum Auftauen einer vorhandenen Eisschicht. • Optimierte und strategische Einsatzplanung, um im Bedarfsfall angepasst und schnell reagieren zu können • Noch besser angepasste Streumengen im Einzelfall: Die erforderliche Streumenge hängt von der vorhandenen Schnee-/Eisschicht, der Witterung (insbesondere Temperatur, Luftfeuchte) und dem noch vorhandenen Restsalz ab. Hierüber sind einerseits heute immer noch zu wenig Kenntnisse bei den Einsatzleitern und Fahrern vorhanden, andererseits fehlen häufig die Hilfsmittel zur Beurteilung (Messgeräte im Fahrzeug, Glättemeldeanlagen); entsprechende Ausstattung im Fahrzeug (z. B. Aussenthermometer), eine verbesserte Aufnahme des Netzes (Thermalkartierungen) sowie Schulungen des Personals können hier wesentliche Verbesserungen bringen. In diesem Zusammenhang ist auch die Weiterentwicklung der Fahrzeug- und Gerätetechnik von besonderem Interesse ("Thermographie" mit automatischer Streumengensteuerung).

Die Schlussfolgerung der Informationsschrift des VKS (1997) lautet, dass ein differenzierter Winterdienst, der den vorstehenden Empfehlungen folgt, nicht nur wesentlich umweltfreundlicher und kostengünstiger als früher ist, sondern gleichzeitig auch ein sehr hohes Mass an Verkehrsfluss und Verkehrssicherheit gewährleistet.

3.6.2 Winterdienst auf Radwegen

Der Winterdienst auf Radwegen wird in Deutschland in den einzelnen Gemeinden unterschiedlich durchgeführt. Sowohl Taustoffe als auch abstumpfende Stoffe werden eingesetzt. In gewissen Gemeinden wird nur geräumt und/oder gefegt. Die folgenden Ausführungen basieren auf der Forschungsarbeit der Technischen Hochschule Darmstadt und der Universität Karlsruhe (BACH et al., 1995) sowie auf einen VKS-Vortrag (REINEFARTH, 1996). Die Veröffentlichung einer VKS-Infoschrift mit Empfehlungen zur Organisation und Durchführung des Winterdienstes auf Radwegen soll in Kürze erfolgen.

An kalten Tagen im Winter nimmt die Radverkehrsstärke um 27 % bis 79 % ab. Bei Schneefall liegt die Abnahme sogar bei ca. 90 %. Die Radfahrer steigen auf andere Verkehrsmittel um oder gehen zu Fuss. Als Behinderungsgrund werden Schneematsch, überfrierender Schneematsch, angefrorener Schnee, Spurrillen, Aufschüttungen an Kreuzungen, zugeschüttete Radwege und Begegnung mit Fussgängern an durch Schneeablagerungen gebildeten Engstellen genannt.

Für die Durchführung des Winterdienstes auf Radwegen ergeben sich folgende Empfehlungen (REINEFARTH, 1996):

<u>Dringlichkeitsstufen</u>

- Aufstellung eines Radwegekatasters (Lage, Länge, Breite, Engstellen, Verkehrsstärke nach Quellen und Zielen) und Einteilung der Radwege in Grundnetz (Dringlichkeitsstufe I; alle radialen und tangentialen Hauptverbindungen sowie Fahrten zur Arbeitsstätte und zu Schulen) und Nebennetz (Dringlichkeitsstufe II).
- Das Grundnetz sollte aus einem möglichst zusammenhängenden Radwegnetz bestehen, welches in einer angemessenen Zeit bearbeitet werden kann (ca. 3 bis 4 Std.). Das Nebennetz wird aufgrund verschiedener Schwierigkeiten (z. B. festgefahrener Schnee, Leerfahrten etc.) in der Regel in 1 bis 2 Tagen betreut.

<u>Streustoffeinsatz</u>

- Der Winterdienst auf Radwegen muss gleichzeitig mit dem Winterdienst auf Fahrbahnen und Gehwegen begonnen werden. In den ersten Stunden nach Eintritt des Wintereregnisses können Spurrillen noch verhindert werden.
- In der Regel sollten abstumpfende Streustoffe wie Sand oder Splitt zur Anwendung kommen (Streudichte um 100 g/m^2 bei Schneedicke 1 bis 1,5 cm). Obwohl Sand verschiedene Nachteile aufweist (Zusammenfrieren und Verstopfen der Streubehälter, aufwendige Aufnahme, trockene Lagerung) wird dieser Stoff gegenüber Splitt bevorzugt. Splitt oder ähnlich scharfkantige abstumpfende Streustoffe beschädigen die Fahrradreifen.
- Zur Beseitigung von Reifglätte auf dem Grundnetz lässt sich der Einsatz von Taustoffen nicht immer vermeiden. In solchen Fällen wird empfohlen, bei Temperaturen unter -5 °C bis zu 20 g/m^2 Tausalz anzuwenden. Die Beseitigung von Reifglätte mechanisch von Hand muss aus wirtschaftlichen Gründen abgelehnt werden.
- Vereiste Radwege können nur mit viel Taustoffen oder mechanisch von Hand enteist werden. Die erste Möglichkeit ist aufgrund der an Radwegen vorkommenden Strassenbäume abzulehnen.
- Der Einsatz von kombinierten Räum-Kehr-Maschinen ist empfehlenswert.

Als weitere Verbesserungsmöglichkeit wird empfohlen, bei der Planung neuer Radwege frühzeitig die Abmessungen und Arbeitsbreiten von den Winterdienst-Kleinfahrzeugen

zu berücksichtigen. Engstellen im Radwegnetz sollten schnellstmöglich beseitigt werden.

3.6.3 Winterdienst auf Gehwegen

Auf Gehwegen sollte in Zukunft eine verstärke mechanische Räumung zum Einsatz kommen. Bei der Planung der Gehwege und Trottoirs ist der Einsatz von Winterfahrzeugen einzubeziehen.

Splitt weist in der Regel auf Gehwegen eine gute Wirkung auf. Der Splitt bleibt am Streuort liegen und wird nicht, wie auf der Fahrbahn, weggeschleudert.

Ein absolutes Streusalzverbot auf Gehwegen ist aber kaum sinnvoll. An gewissen gefährlichen Stellen wie Treppen, steilen Gehwegen und beispielsweise bei Eisregensituation ist ein sparsamer Einsatz von Streusalz zu empfehlen (mündliche Mitteilung von H. HANKE, 1996).

4 DATENERHEBUNGEN ZUM WINTERDIENST IN DEN DREI STÄDTEN: TESTSTRECKEN

4.1 EINFÜHRUNG

Die bisherigen umfangreichen Publikationen zum Thema Winterdienst liefern wertvolle Informationen zu den Aspekten Wirtschaftlichkeit, Umwelt und Sicherheit. Einige Lücken bestehen allerdings beispielsweise in der Ermittlung der Betriebskosten des Winterdienstes differenziert nach Salz- und Splittstreuung im innerörtlichen Bereich. BARK et al. (1994) weisen darauf hin, dass die Abschätzung der Betriebskosten aufgrund der Komplexität des Winterdienstes im innerörtlichen Bereich sehr aufwendig ist.

Im Hinblick auf die in diesem Forschungsvorhaben angestrebte ganzheitliche Bewertung der Anwendung von Splitt oder Salz im Winterdienst war es aber unerlässlich, genauere Angaben zu den Streumengen und Betriebskosten der beiden Winterdienstmethoden in den gewählten Städten zu bekommen. Dazu sollte eine relativ einfache Methode mit vertretbarem Aufwand zum Einsatz kommen.

4.2 VORGEHEN UND GRUNDLAGEN

4.2.1 Teststrassen

Die winterlichen Strassenzustände sind laufenden Veränderungen durch Witterungs- und Verkehrseinflüsse unterworfen. An jeder Strasse ist eine breite Palette von Einzelzuständen mit tageszeitlichen Veränderungen anzutreffen (HOFFMANN, 1986). Auch jeder Winter ist wieder ganz anders. Die gesammelten Daten sind für die Witterungsverhältnisse in dem jeweiligen Winter repräsentativ. Verallgemeinerungen können nur mit vielen Einschränkungen gemacht werden.

Aufgrund dieser Erkenntnisse aus der Literatur können vergleichbare winterliche Strassenzustände am besten bei nahe-, möglichst parallelliegenden Strassen in einer Stadt angetroffen werden. Deshalb wurden für den Vergleich der Winterdienstmethoden mit Salz- oder Splittstreuung in den Städten Zürich, Baden und Chur Teststrassenpaare (eine Salz- und eine Splittstrecke) ausgewählt, die folgende Kriterien erfüllen:

- gleiches Mikroklima (Strassenpaare, die möglichst nahe und parallel zueinander liegen)
- gleiche Höhenlage
- Länge der Strassenpaare ca. 1 km

Die ausgewählten Strassen sind in der Beilage 4.2.1 charakterisiert. Bei der Auswahl der Testpaare wurden die genannten Kriterien soweit wie möglich berücksichtigt. Aufgrund des in der Schweiz praktizierten, örtlich differenzierten Winterdienstes konnten weitere Kriterien wie "gleiche Verkehrsmenge" und "gleiche Dringlichkeitsstufe" bei den meisten Teststrecken insbesondere in Zürich nicht erfüllt werden. Bei der Auswertung der Daten wurde dies berücksichtigt. Fotoaufnahmen der Teststrassen sind in den Beilagen 4.2.2a - 4.2.2e wiedergegeben.

Die Daten wurden im Winter 1996 (Januar bis April) und im Winter 1996/97 (November bis April) durch das Winterdienst-Betriebspersonal erhoben. Die dafür entworfenen Formblätter (Beilage 4.2.3) enthielten Informationen zu folgenden Punkten:

- Schneehöhe
- Anzahl Personen im Einsatz
- Fahrzeug
- Strassenzustand
- Zeitaufwand
- Streumenge, eingesammelte Splittmenge
- abtransportierter Schnee
- Fahrverhalten (qualitative Bewertung)

Die gewonnenen Daten wurden basierend auf den in der Beilage 4.2.4 wiedergegebenen Annahmen und Ansätzen ausgewertet.

Bezüglich Sicherheitsaspekte wurde auf Erhebungen von Verkehrsunfällen verzichtet. In der Fachliteratur wird mehrmals darauf hingewiesen, dass punktuelle Versuche und Auswertungen einerseits aufgrund der sehr geringen Stichproben der Unfälle und andererseits aufgrund der Vergleichbarkeit verschiedener Winter problematisch sind. Hinzu kommt, dass korrekte Interpretationen der Daten nur möglich sind, wenn Unterlagen über die Verkehrsmengen, d. h. mögliche Verlagerungen von den Versuchsstrekken auf andere, vorliegen (DURTH et al., 1989). Der beachtliche Aufwand zur Erhebung solcher Daten kann nur im Rahmen eines mehrjährigen Forschungsvorhabens, welches hauptsächlich auf diese Fragestellung ausgerichtet ist, bewältigt werden. Aufgrund dieser Überlegungen wurde auf Erhebungen von Verkehrsunfällen auf den Teststrecken oder gesamthaft in den drei Städten verzichtet.

Mit der qualitativen Erfassung des Fahrverhaltens (Fahrgeschwindigkeit 50 km/h, 30 km/h, 10 km/h) sollten dennoch grobe Anhaltspunkte für den Erfolg der Winterdienstmethoden gewonnen werden.

4.2.2 Testtrottoir

Im Winter 1996/97 wurden entsprechende Daten auch für die Trottoirs der gewählten Teststrassen erhoben (Beilage 4.2.5). Die gewählten Trottoirs sind in der Beilage 4.2.6 charakterisiert. Die Numerierung der Trottoirpaare entspricht derjenigen der angrenzenden Teststrassen. Ausnahme dazu bildet das Trottoir 2 (Witikonerstrasse) in Zürich.

Beispiele der Auswertungstabellen sind in den Beilagen 4.2.7 (Strassen) und 4.2.8 (Trottoir) enthalten.

4.3 ERGEBNISSE

4.3.1 Winterdienst in den drei Städten

Teststrassen

In **Zürich** kommt der örtlich differenzierte Winterdienst zur Anwendung. Entsprechend den Vorschriften der Stoffverordnung (Beilage 4.3.1) werden Weissräumgebiete ausgeschieden, in welchen nur gesplittet wird. Praktisch alle Wohnquartiere werden bei Schneefall lediglich mit Schneepflügen geräumt und bei Bedarf - wenn Schneeglätte auftritt - gesplittet. Bei Eisregen oder Glatteisbildung wird auch in den Weissräumgebieten gesalzt.

Sowohl für die Schneeräumung, einschliesslich der Schneeabfuhr, wie auch für die Bekämpfung der Winterglätte sind die Strassen in drei Dringlichkeitsstufen eingeteilt (Beilage 4.3.2).

Die Entsorgung des eingesammelten Splitts erfolgt in einer Recyclinganlage. Es kann davon ausgegangen werden, dass ca. 50 % des ausgestreuten Splitts zurückgewonnen werden können (STADT ZÜRICH, 1994). Infolge der milden Winter konnte die Recyclinganlage in den letzten Jahren nur sehr schlecht ausgelastet werden.

In **Baden** wird der Winterdienst ähnlich wie in Zürich durchgeführt. Die Weissräumgebiete werden aber äusserst sparsam gesplittet. In den Wintern 1996 und 1996/97 wurden aufgrund der geringen Schneemenge die Quartierstrassen nur geräumt und nicht gesplittet. Diese Strecken werden in der folgenden Datenerhebung als "Nulllösung" bezeichnet.

Die Stadt **Chur** liegt in der schneereichen Alpenregion. Die Tag/Nacht-Temperaturschwankungen sind oft sehr hoch mit Temperaturen von beispielsweise 10 - 15 °C am Tag und -10 °C in der Nacht. In Chur kommt ebenfalls der örtlich differenzierte Winterdienst zum Einsatz. Gleichzeitig wird der zeitlich differenzierte Winterdienst praktiziert. Je nach Schnee- oder Eisglättesituation werden die Quartierstrassen gesplittet oder gesalzen. Diese Variante wird in der Datenerhebung als "Mischlösung" bezeichnet, wobei zwischen "Salz Mischlösung" (Salzanteil auf diesen Strassen) und "Splitt Mischlösung" (Splittanteil auf diesen Strassen) unterschieden wird. Aufgrund der Temperaturschwankungen werden die Hauptstrassen auch oft vorsorglich gesalzen. Der eingesammelte Splitt wird in Chur vorläufig noch auf eine Inertstoffdeponie gebracht.

Trottoir

In Zürich und Chur werden die Trottoirs nur gesplittet. Ausnahmsweise, bei Glatteisverhältnissen, wird gesalzen. In Baden werden die Trottoirs entsprechend den angrenzenden Strassen mit Tausalz oder Splitt gestreut.

4.3.2 Anzahl Einsätze auf den Strassen in den beiden Wintern

Die Anzahl Streu- und Räumeinsätze auf den Teststrecken in den beiden Wintern 1996 und 1996/97 können zur groben Charakterisierung des Winters herangezogen werden (Tabelle 4.3.1).

In Zürich (410 - 650 m ü. M.) liegt die Totalzahl der Einsätze in den beiden Wintern nahe beieinander. Auch die Schnee- und Eiseinsätze sind vergleichbar. Die Kosten und die Streumengen der beiden Jahre sollten somit vergleichbar sein.

In Baden (350 - 493 m ü. M.) und in Chur (571 - 579 m ü. M.) war der Winter 1996/97 milder als der Winter 1996.

In Baden waren sowohl im Winter 1996 wie auch im Winter 1996/97 wenige Einsätze bei Eisglätte zu verzeichnen.

In Chur hingegen waren die Einsätze bei Eisglätte zahlreicher als diejenigen bei Schneeverhältnissen.

Tabelle 4.3.1: Anzahl Streu- und Räumeinsätze (Mittelwert der Teststrecken) im Winter 1996 (Januar - April) und im Winter 1996/97 auf den Teststrecken

	Zürich		**Baden**		**Chur**	
Anzahl Einsätze	*1996*	*1996/97*	*1996*	*1996/97*	*1996*	*1996/97*
bei Schnee	8,3	8,4	10,0	5,2	4,0	3,2
bei Eisglätte*	7,0	10,3	3,8	1,0	15,7	10,3
Total**	15,3	18,3	13,8	6,2	19,7	13,5

* bei Eisglätte, Eisregen, Schneeglätte, Reifglätte
** Präventiveinsätze sind bei dieser Zusammenstellung nicht berücksichtigt

Weitere Informationen zur Anzahl Streu- und Räumeinsätze differenziert nach Teststrassen und Stadt sind den Beilagen 4.3.3 und 4.3.4 zu entnehmen.

4.3.3 Streumengen

Teststrassen

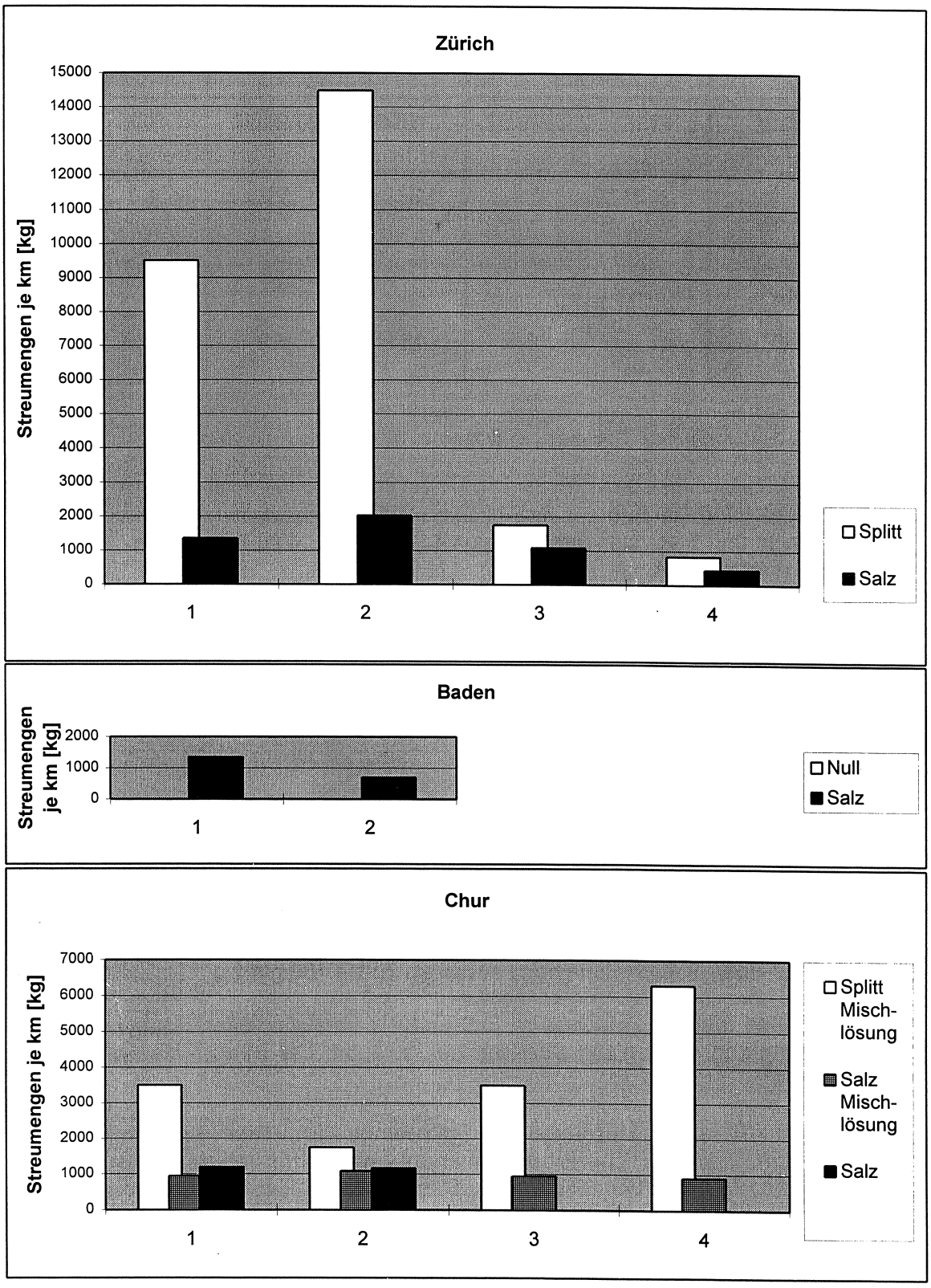
Die auf den Teststrecken ausgebrachten Streumengen im Winter 1996 (Januar - April) sind in den Figuren 4.3.1 und 4.3.2 dargelegt.

In **Zürich** werden in höheren Lagen Splittmengen von über 14 t/km·Winter gestreut. Die Salzmengen liegen zwischen ca. 0,4 und 2 t/km·Winter. Die gestreuten Splittmengen liegen bei den Teststrassenpaaren 1 und 2 um den Faktor 7 höher als die Salzmengen. Im Winter 1996/97 wurden auf dem Weissräumgebiet auch geringe Salzmengen ausgetreut. Die Streudichte für Salz liegt zwischen 5 und 14 g/m^2 (meistens bei 10 g/m^2) und für Splitt je nach Höhenlage zwischen 20 bis 150 g/m^2.

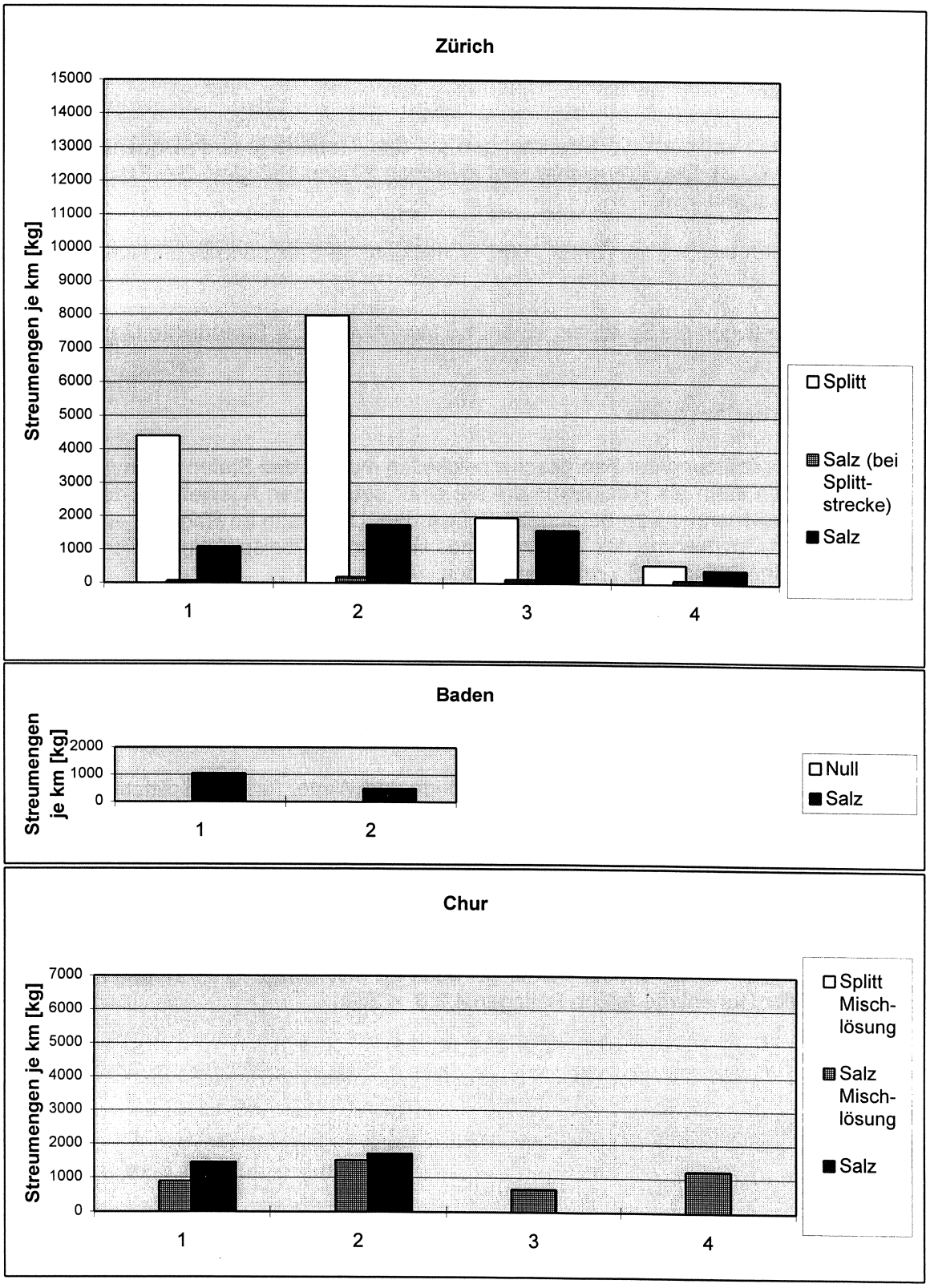
In **Baden** werden zwischen ca. 0,5 und 1,3 t Salz/km·Winter ausgestreut. Bei der Nullstreuung werden die Strassen nur geräumt. Die Streudichte für Salz liegt bei 10 g/m^2.

In **Chur** liegen die ausgestreuten Splittmengen im Winter 1996 zwischen 3,4 und 6,2 t/km.Winter. Gleichzeitig wird aber auf diesen Strecken (Mischlösung) auch Salz ausgestreut (ca. 1 t/km·Winter). Die Streudichte für Salz liegt bei 5 bis 10 g/m^2 (meistens bei 5 - 6) und für Splitt bei 250 g/m^2.

Aufgrund der unterschiedlichen Anzahl Einsätze in den drei Städten (Tabelle 4.3.1) wird deutlich, dass die jeweiligen Streumengen nicht direkt vergleichbar sind. Zudem sind auch die unterschiedlichen Höhenlagen der drei Städte (Beilage 4.3.3) bei der Interpretation der Differenzen heranzuziehen.



Figur 4.3.1: Streumengen auf den Teststrecken im Winter 1996 (Januar - April)



Figur 4.3.2: Streumengen auf den Teststrecken im Winter 1996/97 (November - April)

Die Streumengen je Einsatz und Winter für die verschiedenen Teststrecken sind in den Beilagen 4.3.5 und 4.3.6 dargestellt.

Trottoir

In Zürich variieren die Streumengen auf den Trottoirs je nach Höhenlage sehr stark (Figur 4.3.3). Die Streudichte liegt zwischen 20 und 150 g/m^2. Bei Eisglätte wird auch Salz ausgebracht.

In Baden wurden im Winter 1996/97 nur geringe Salzmengen und kein Splitt ausgestreut.

In Chur liegen die Splittmengen bei 1,5 t/km·Winter. Die Streudichte liegt bei 200 g/m^2.

4.3.4 Sicherheitsaspekte

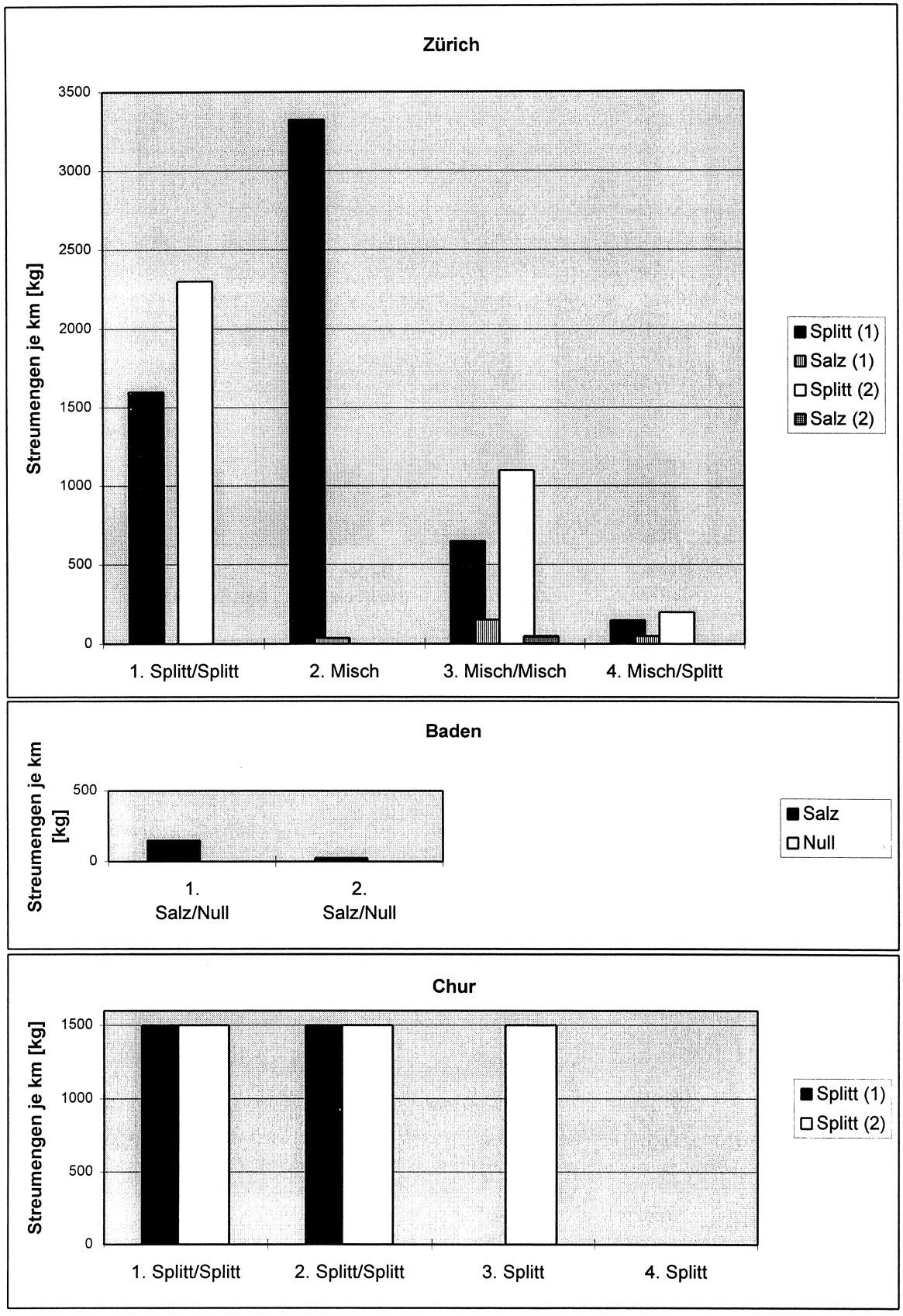
Die Abschätzung der Fahrgeschwindigkeiten mit den drei Stufen 50 km/h, 30 km/h und 10 km/h kann als Hilfsinstrument bei einer detaillierten Auswertung der Effizienz der Winterdiensteinsätze herangezogen werden. Dies kann im Rahmen einer stadtspezifischen Optimierung des Winterdienstes erfolgen. Ein Beispiel einer solcher Auswertung ist in der Beilage 4.3.7 wiedergegeben.

4.3.5 Kostenvergleich Splitt/Salz bei den gewählten Teststrassen

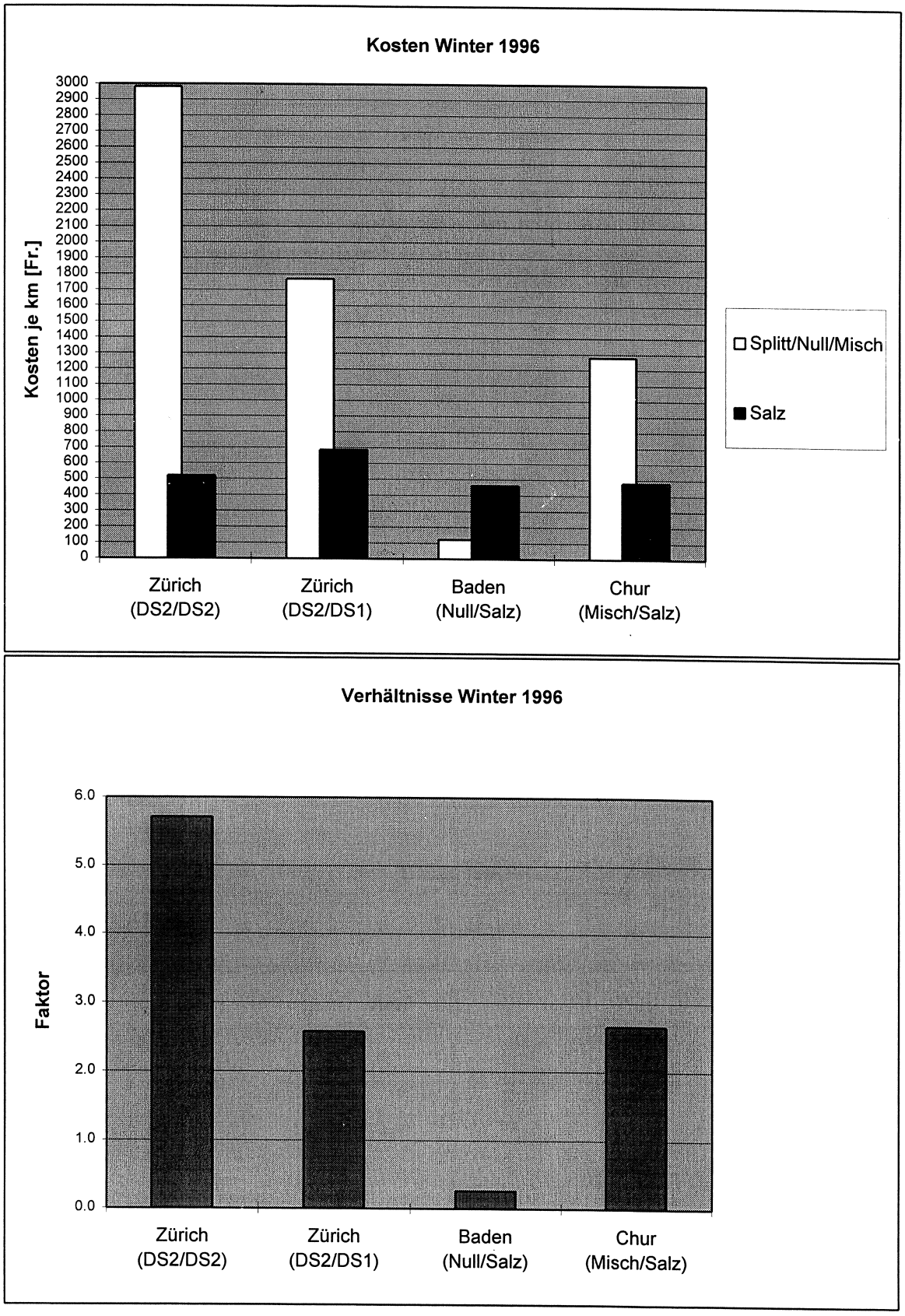
Vergleich der Teststrassen

Im Winter 1996 liegen die Kosten pro km und Winter für eine Splittstrecke (Dringlichkeitsstufe 2 (DS2)) in **Zürich** ca. 6mal höher als diejenigen einer parallelliegenden Salzstrecke auf gleicher Höhenlage (550 - 570 m ü. M.; DS2) (Figur 4.3.4). Im Winter 1996/97 ergibt sich für dieselben Strecken ein Faktor von 4 (Figur 4.3.5).

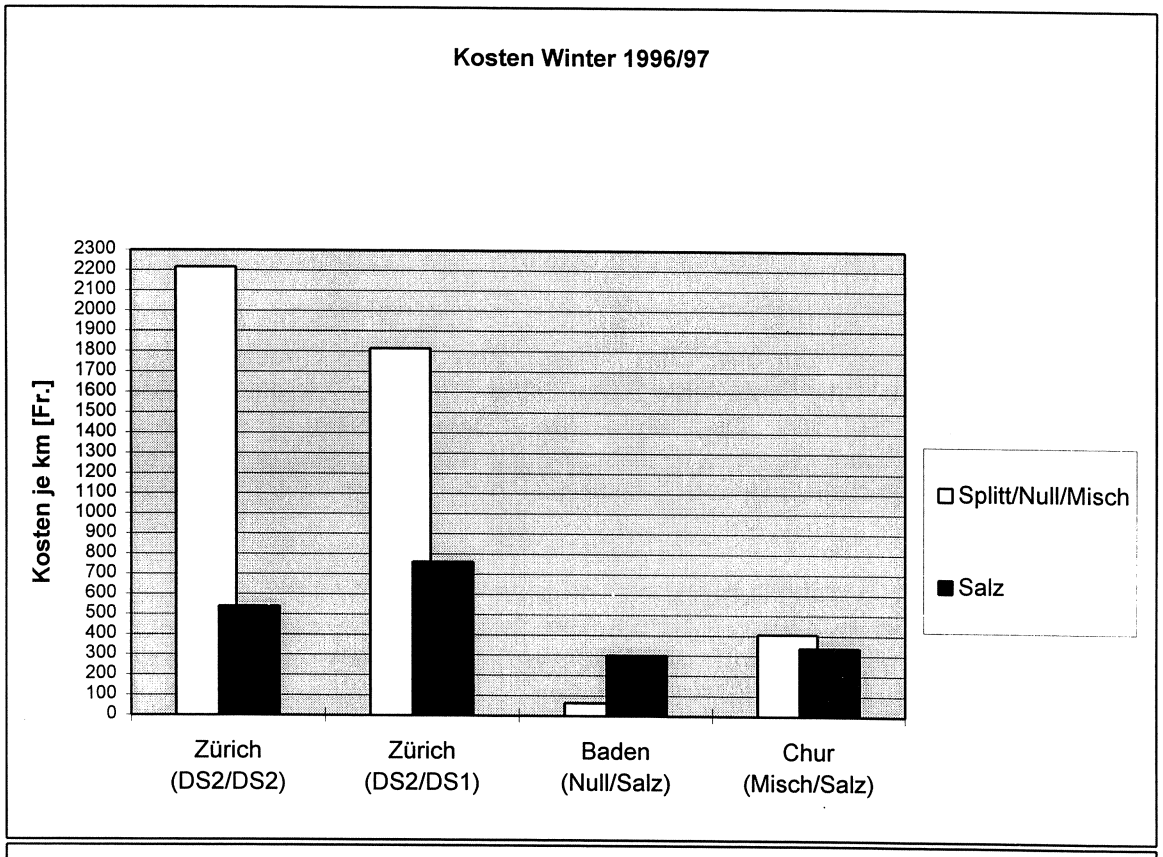
Beim Vergleich der Kosten einer Splittstrecke (DS2) mit einer Salzstrecke (Dringlichkeitsstufe 1 (DS1)) auf gleicher Höhenlage im Winter 1996 ergibt sich ein Faktor von 2.5 (Figur 4.3.4). Dieser Faktor gilt auch für den Winter 1996/97 und ist unabhängig von der Höhenlage (siehe Beilagen 4.3.8, 4.3.9).

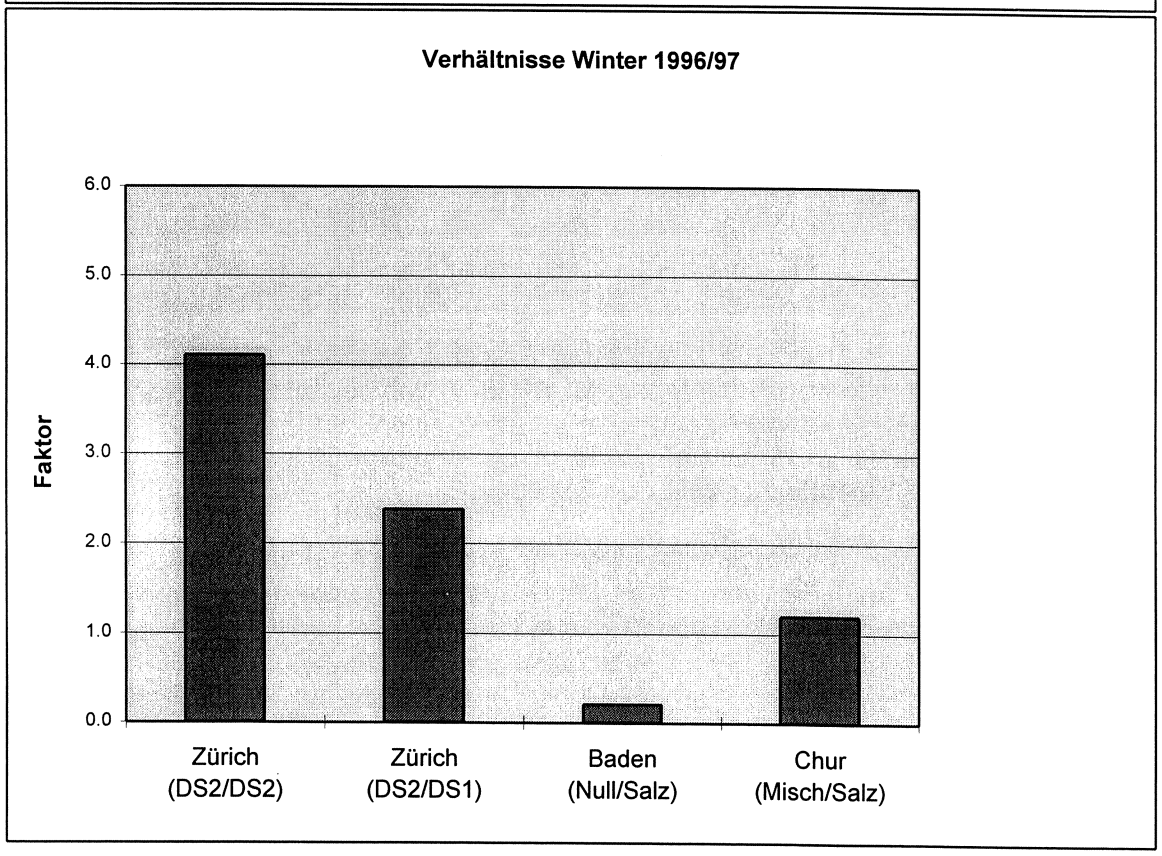


Figur 4.3.3: Streumengen auf den Testtrottoirs (Winter 1996/97)



Figur 4.3.4: Kosten pro km und Winter für die Teststrecken (Winter 1996)
DS1 = Dringlichkeitsstufe 1; DS2 = Dringlichkeitsstufe 2





Figur 4.3.5: Kosten pro km und Winter für die Teststrecken (Winter 1996/97)
DS1 = Dringlichkeitsstufe 1; DS2 = Dringlichkeitsstufe 2

Die Salzkosten waren in den beiden Jahren vergleichbar. Die Splittkosten liegen im Winter 1996/97 hingegen tiefer als im Winter 1996. Der Kostenunterschied lässt sich einerseits aus der Anzahl Einsätze (1996: 9 Schneeeinsätze, 12 Eiseinsätze; 1996/97: 9 Schneeeinsätze, 7 Eiseinsätze), andererseits aus der sparsameren Splittanwendung ableiten.

Die Salzstrecken in **Baden** sind im Vergleich zu den Nullstrecken ("Nullstreuung": nur Räumung, keine Streuung) in den beiden Wintern um den Faktor 4 teurer (Figuren 4.3.4, 4.3.5).

Die Unterschiede zwischen den Teststrecken 1 und 2 (Beilagen 4.3.8, 4.3.9) sind hauptsächlich auf die verschiedenen Höhenlagen zurückzuführen. Im Winter 1996 liegen die Kosten der Salzstrecken unter Berücksichtigung der Höhenlage (siehe Beilage 4.3.8) auf einem vergleichbaren Niveau wie diejenigen in Zürich. Im Winter 1996/97 liegen die Kosten der Salzstrecken aufgrund des milden Winters (siehe Tabelle 4.3.1) tiefer.

Im Vergleich **Zürich/Baden** kann vor allem der Winter 1996 herangezogen werden (15,3 Einsätze in Zürich; 13,8 Einsätze in Baden). Bei der Teststrecke 1 in Zürich (Höhenlage 550 - 570 m ü. M.; DS2) liegen die Kosten der Salzstrecke bei ca. 510 Fr./km.Winter. In Baden liegen die Kosten der vergleichbaren Strecke (Höhenlage 481 - 493 m ü. M.; DS1) bei ca. 650 Fr./km.Winter. Die Kosten liegen nahe beieinander. Beim Vergleich Splitt Zürich/Nullstreuung Baden wird das enorme Sparpotential der Nullstreuung deutlich. Der Faktor bei den spezifischen Schneeverhältnissen im Winter 1996 (wenig Eisglätte-Einsätze in Baden) liegt bei ca. 16.

In **Chur** sind im Winter 1996 die Strecken mit der "Mischlösung" um den Faktor 2.7 teurer als die Salzstrecken. Im extrem milden Winter 1996/97 wurde nicht gesplittet. Auch der Winter 1996 war für diese Region sehr mild (Schneeeinsätze 4). Dank der Mischlösung lassen sich die Anzahl der kostenrelevanten Splitteinsätze auf ein Minimum reduzieren.

Die Kosten der Salzstrecken im Winter 1996 sind mit denjenigen in Zürich für eine ähnliche Höhenlage (Zürich: Teststrecke 1) vergleichbar (Beilage 4.3.8).

Der Vergleich der Faktoren Mischlösung/Salz und Splitt/Salz **Chur/Zürich** ist aufgrund der unterschiedlichen Ausprägung der Winter in den beiden Städten nicht möglich.

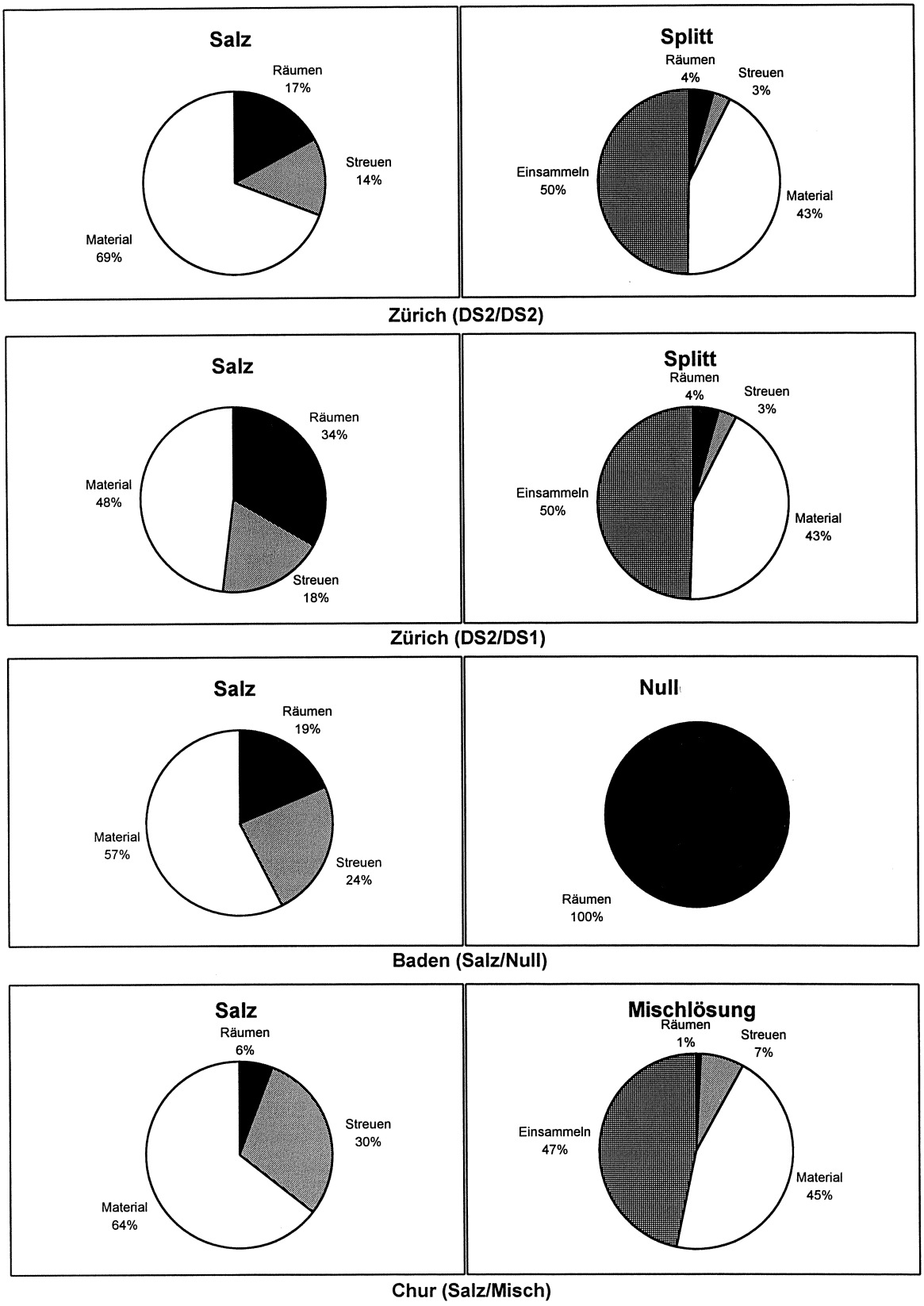
Anteil der Aktivitäten an den Gesamtkosten

Der Anteil der Winterdienst-Aktivitäten (Materialeinkauf inkl. Entsorgungskosten, Räumen, Streuen, Einsammeln) an den Gesamtkosten gibt Auskunft über die Kostenrelevanz der einzelnen Aktivitäten (Figur 4.3.6).

Bei der Salzstrecke DS2 in Zürich überwiegen die Materialkosten (Einkauf Salz). Dies gilt auch bei den Salzstrecken in Baden und Chur. Bei den Salzstrecken DS1 in Zürich fällt die Räumung mit einem Anteil von 34 % mehr ins Gewicht.

Bei den Splittstrecken in Zürich überwiegt das Einsammeln. An zweiter Stelle mit einem hohen Kostenanteil von 43 % liegen die Materialkosten (Einkauf Splitt inkl. Entsorgung).

Bei den Strecken mit Mischlösung in Chur liegen die Kostenanteile vom Einsammeln und vom Material sehr nahe beieinander.



Figur 4.3.6: Anteil der Winterdienst-Aktivitäten an den Gesamtkosten (Winter 1996)
In Zürich: Material (inkl. Kosten für Recyclingsplitt)
In Chur: Einsammeln (inkl. Entsorgungskosten)

4.3.6 Kostenvergleich bei den gewählten Trottoirs

Die hohen Kosten beim Trottoirpaar 1 in Zürich sind auf die zeitintensiven Schneeräumarbeiten von Hand zurückzuführen (Figur 4.3.7).

In Baden wurden die Trottoirs mit Fahrzeugen geräumt und an wenigen Tagen gesalzen (nur "Salztrottoir").

In Chur wurden die Trottoirs aufgrund des milden Winters nur an wenigen Tagen mit Fahrzeugen geräumt und nur an drei Tagen gesplittet.

4.3.7 Bewertung der Resultate aus der Sicht Umwelt und Wirtschaftlichkeit

Umwelt

Zum Schutz der Umwelt vor Salzbelastungen sollten in allen drei Städten weitere Anstrengungen zum Einsparen von Salz unternommen werden. Die Ergebnisse der Teststrecken deuten darauf hin, dass solche Einsparungen noch möglich sind.

Die kritische Gesamtmenge von 1 kg NaCl/m^2 und Jahr wird in den Wintern 1996 und 1996/97 auf keiner der erfassten Teststrecken in Zürich, Baden und Chur überschritten. Die Werte liegen für Zürich zwischen minimal 0,06 und maximal 0,29 kg NaCl/m^2·Jahr, für Baden zwischen 0,07 und 0,193 kg NaCl/m^2·Jahr und für Chur zwischen 0,171 und 0,245 kg NaCl/m^2·Jahr.

In Zürich werden in höheren Lagen hohe Splittmengen von bis zu 14 t/km·Winter gestreut. Auch beim Splitt sollten die gestreuten Mengen möglichst reduziert werden.

Die gestreuten Splittmengen in Chur gelten für einen milden Winter und können nicht mit den Mengen in Zürich verglichen werden.

Wirtschaftlichkeit

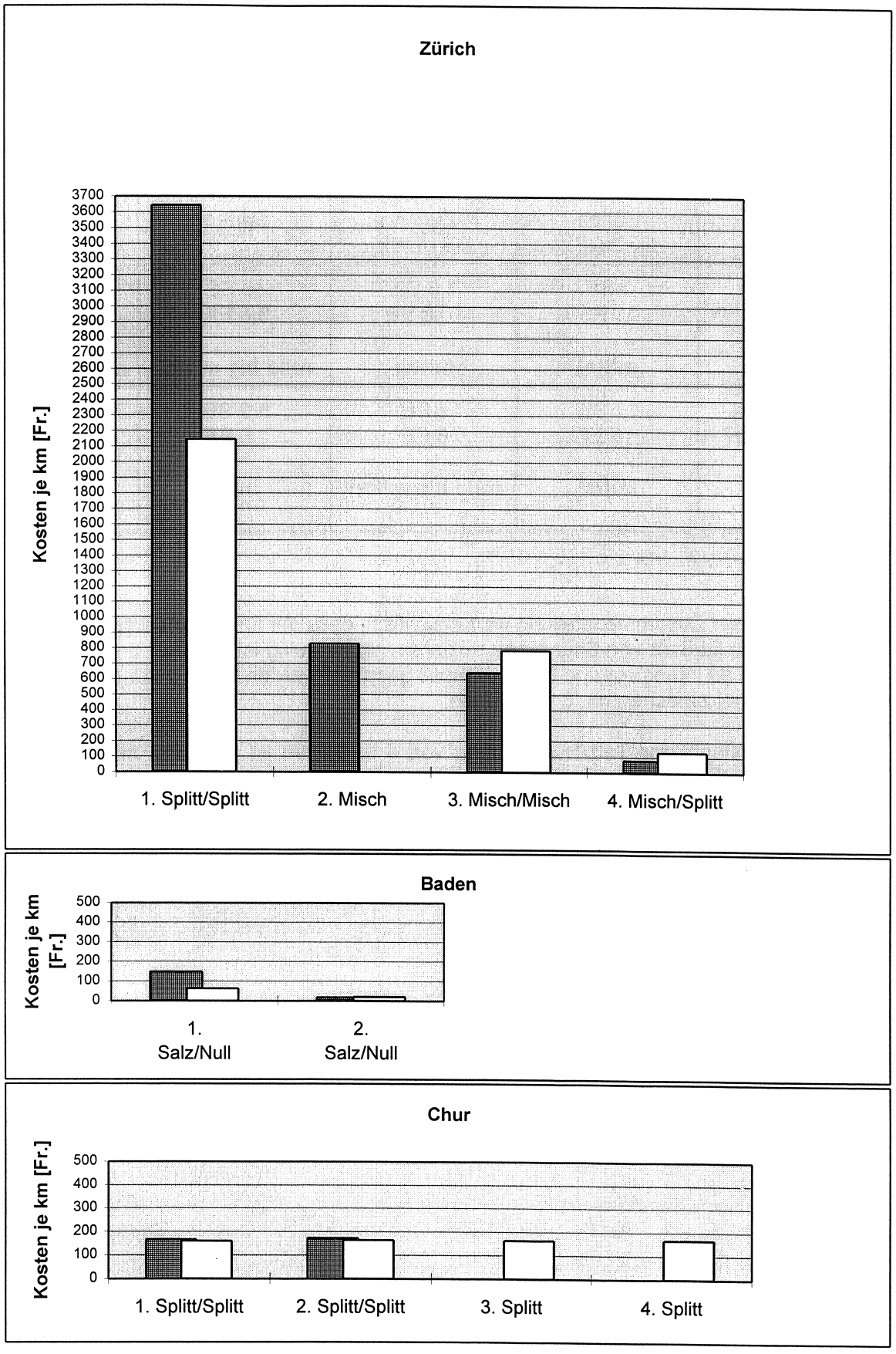
Ein sparsamer Umgang mit Salz wirkt sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit aus. Der Anteil der Materialkosten für Salz an den Gesamtkosten liegt zwischen 55 und 70 %.

Die errechneten Kostenfaktoren Splitt/Salz, Salz/Nullstreuung und Mischlösung/Salz gelten nur für die gewählten Teststrecken in Zürich, Baden, Chur und sind für die beiden Winter 1996 und 1996/97 repräsentativ.

Nach Aussage erfahrener Strassenmeister in Zürich, Baden und Chur kann die Winterlichkeit wie folgt grob charakterisiert werden.

- strenge Winter 12 Schnee-Einsätze, 15 Eis-Einsätze
- mittlere Winter 8 Schnee-Einsätze, 10 Eis-Einsätze
- milde Winter 4 Schnee-Einsätze, 5 Eis-Einsätze

Demzufolge wären die Winter 1996 und 1996/97 in Zürich, Baden und Chur wie folgt zu klassieren (Tabelle 4.3.2):



Figur 4.3.7: Kosten pro km und Winter für die Testtrottoir (Winter 1996/97)

Tabelle 4.3.2: Grobe Klassierung der Winter 1996 und 1996/97 aufgrund der Einsatztage (SE = Schnee-Einsätze; EE = Eis-Einsätze). Aufgrund der unterschiedlichen Höhenlagen muss in Zürich noch weiter differenziert werden.

	Charakterisierung der Winter			
	Zürich DS2/DS2	Zürich DS1/DS2	Baden	Chur
Winter 1996	9 SE 11 EE **mittel**	7,8 SE 10,8 EE **mittel**	10 SE 3,8 EE **mild bis mittel**	4 SE 15,7 EE **mild bis mittel**
Winter 1996/97	11 SE 10 EE **mittel**	8 SE 6 EE **mild bis mittel**	5,2 SE 1,0 EE **mild**	3,2 SE 10,3 EE **mild**

Aus dieser Zusammenstellung wird ersichtlich, dass der für **Zürich** errechnete Kostenfaktor Splitt/Salz von 6 für einen mittleren Winter gültig ist. Je öfter im Winter Schnee fällt, um so intensiver und häufiger muss gesplittet werden. Der Faktor sollte deshalb in der Regel zwischen ca. 3 - 10 liegen.

Der Kostenfaktor Salz/Nullstreuung von 4 in **Baden** ist für einen milden Winter repräsentativ.

Der Kostenfaktor Mischlösung/Salz von 2,5 in **Chur** ist ebenfalls für einen milden Winter repräsentativ. Der Faktor sollte in der Regel zwischen 2,5 und 9 liegen.

5 REPRÄSENTATIVE DATEN FÜR DIE GEWÄHLTEN STÄDTE

5.1 ZIELE

Die Ergebnisse der Teststrecken werden im vorliegenden Abschnitt aufgrund einiger Annahmen auf das ganze Stadtgebiet hochgerechnet und mit den Betriebskosten des Winterdienstes gemäss jährlicher Abrechnung verglichen. Selbstverständlich lassen sich dadurch nicht allzu genaue Zahlen ermitteln. Ziel ist es dennoch, Grössenordnungen bei den Betriebskosten des Winterdienstes getrennt nach Salz und Splittstreuung zu ermitteln und somit Möglichkeiten der Kostenoptimierungen aufzuzeigen.

5.2 VORGEHEN UND METHODIK

Ablaufschema Winterunterhalt

Die Ablaufschemas zum Winterdienst wurden aufgrund von Befragungen der Winterdienstverantwortlichen aufgestellt.

Hochrechnung der Teststrecken auf das Stadtgebiet

Die Hochrechnung der Kosten der Teststrecken auf das ganze Strassennetz der jeweiligen Stadt wurde schrittweise vorgenommen:

- Berechnung der Einsatzkosten für das ganze Jahr 1996
- Umrechnung der Kosten auf eine repräsentative Höhenlage unter Berücksichtigung der Differenzierung der Strecken in Dringlichkeitsstufen 1 und 2
- Hochrechnung auf das ganze Stadtnetz (km Schwarz-, Weissräumungsnetz bekannt).

5.3 ERGEBNISSE

5.3.1 Ablaufschema Winterunterhalt

Die Ablaufschemas Winterunterhalt der drei Städte (Beilagen 5.3.1 - 5.3.3) geben Auskunft über die Tätigkeiten, die bei der Kostenschätzung der Teststrecken berücksichtigt wurden (schraffierte Bereiche).

Aus dieser Darstellung lassen sich für den Vergleich Salz-/Splittstreuung folgende Schlüsse ziehen:

- Beim Winterdienst mit Salzstreuung sind insgesamt vier Tätigkeiten erforderlich. Bei der Splittstreuung sind zweiundzwanzig Aktivitäten zu verzeichnen, also ca. fünfmal mehr als beim Salz.

- Bei der Ermittlung der Kosten der Teststecken wurden nur einige Tätigkeiten erfasst (schraffierte Bereiche). Andere indirekte Kosten werden vom Splitt verursacht durch Beimischung des Splitts an das Wischgut (normale Strassenreini-

gung), an das Schlammsammlergut mit den Entsorgungskosten und an die Sandfänge der Kläranlage (Zusatzkosten Kanalreinigung und Reinigung der Sandfänge). Diese indirekten Kosten wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht erfasst.

- Die verschiedenen Tätigkeiten im Zusammeng mit der Splittstreuung verursachen einerseits die bereits evaluierten hohen Kosten der Splitt-Teststrecken. Andererseits sind damit auch verschiedene Umweltbelastungen wie Transporte (Luft, Lärm), Energieverbrauch und Entsorgungsprobleme verbunden. Diese sollen im Rahmen einer vereinfachten Ökobilanz evaluiert werden (Kapitel 6).

5.3.2 Hochrechnung der Kosten der Teststrecken auf das Stadtnetz

Der Vergleich zwischen Winterdienst-Betriebskostenabrechnung und Hochrechnung der Teststrecken stimmt in Zürich recht gut überein (Tabelle 5.3.1). Die Abweichung beträgt Fr. 158 000. Diese entsprechen lediglich ca. 2,5 % der Gesamtwinterdienstkosten von Fr. 6,23 Mio.

Die Kosten der Einsätze im Winterdienst im Jahr 1996 für das Weissräumgebiet liegen gemäss Hochrechnung bei ca. Fr. 970 000. Diese entsprechen 15,5 % der Gesamtkosten.

Unter Berücksichtigung des Faktors Splitt-/Salzstreuung bei den Teststrecken von ca. 6 (siehe Kapitel 4) würden die Kosten für dieselben Strecken bei einer Umstellung der Splitt- auf die Salzstreuung bei ca. Fr. 160 000 liegen.

Bei einer Umstellung der Splittstrecken auf die Nullstreuung würde der Faktor bei ca. 10 liegen (vorsichtige Schätzung; bei der Stadt Baden betrug der Faktor 16, siehe Kapitel 4). Das Einsparpotential beträgt dementsprechend ca. Fr. 870 000 und entspricht ca. 53 % der Strassen-Einsatzkosten oder 14 % der Gesamtwinterdienstkosten.

In **Baden** liegt die Abweichung zwischen Winterdienst-Betriebskostenabrechnung und Hochrechnung der Teststrecken bei Fr. 6 686 000. Dies entspricht ca. 6,7 %.

Die Kosten der Einsätze im Winterdienst im Jahr 1996 für das Weissräumgebiet (Nulllösung) liegen gemäss Hochrechnung bei ca. Fr. 2 121 000. Dies entspricht ca. 2 % der Gesamtwinterdienstkosten.

Diese Kosten sind für die Winterdienst-Methode Nullstreuung (nur Räumen, kein Streuen) repräsentativ, da in der Stadt Baden im Jahr 1996 aufgrund der milden Verhältnissen kein Splitt gestreut wurde.

In **Chur** konnte eine beachtliche Abweichung zwischen Betriebskostenabrechnung und Hochrechnung festgestellt werden. Die Abweichung beträgt Fr. 375 000 und entspricht ca. 45 % der Gesamtkosten.

Der Unterschied ist auf die Schneeabfuhr-Kosten zurückzuführen. Diese Kosten wurden im Rahmen der Erhebungen bei den Teststrecken im Hinblick auf den angestrebten Vergleich mit den Städten Zürich und Baden nicht erfasst. Sie sind aber für die Stadt Chur von grosser Bedeutung. Gemäss Schätzung des Verantwortlichen des Winterdienstes liegen sie ca. dreimal höher als die übrigen Einsatzkosten. Die Schneeabfuhr-Kosten würden dementsprechend auf ca. Fr. 290 000 geschätzt.

Aufgrund des milden Winters 1996 ist das errechnete Einsparpotential bei einer Umstellung der Splittstreuung auf die Nullstreuung klein. Diese Situation ist allerdings nicht repräsentativ für Chur.

Tabelle 5.3.1: Zürich: Vergleich Hochrechnung Teststrecken mit jährlicher Betriebskostenabrechnung für 1996

Zürich			
	Betrag Betriebskostenabrechnung [in 1 000 Fr.]	Betrag Hochrechnung [in 1 000 Fr.]	Kommentar
ausgewiesene Betriebskosten			
Löhne/Personal	2 604		
Fahrzeuge/Geräte	972		
Material	822		
Fremdkosten	1 419		
Gemeinkosten	413		
für Einsätze relevante Kosten			
Hochrechnung DS1-Strassen (Salz)		627	
Hochrechnung DS2-Strassen (Salz)		033	
Hochrechnung Splitt-Strassen		968	
Hochrechnung Trottoirs		770	
Annahmen: in Betriebsrechung für Einsätze Teststrecken nicht relevante Kosten			
nicht berücksichtigte Restflächen		719	Treppen, Bushaltestellen, Velowege etc. (Annahme: 30 % der Hochrechnung)
Fixkosten		1 500	
Gemeinkosten		413	
Löhne/Personal (nicht Einsätze)		1 042	(Annahme: 40 % der Personalkosten)
Abweichung		*158*	
Total	**6 230**	**6 230**	

Tabelle 5.3.2: Baden: Vergleich Hochrechnung Teststrecken mit jährlicher Betriebskostenabrechnung für 1996

Baden			
	Betrag Betriebs kosten-abrechnung [in 1 000 Fr.]	Betrag Hoch-rechnung [in 1 000 Fr.]	Kommentar
ausgewiesene Betriebskosten			
Löhne/Personal	59,46		
Fahrzeuge/Geräte	6,7		
Material	18,0		
Fremdkosten	15,99		
Gemeinkosten			
für Einsätze relevante Kosten			
Hochrechnung (Salz)		18,681	
Hochrechnung Splitt-Strassen (effektiv Nullstreuung)		2,121	
Hochrechnung Trottoirs		1,4	
			Zwischentotal: 22,202
Annahmen: in Betriebsrechung für Einsätze Teststrecken nicht relevante Kosten			
nicht berücksichtigte Restflächen		6,661	Treppen, Bushaltestellen, Velowege etc. (Annahme: 30 % der Hochrechnung)
Fixkosten		30,817	
Gemeinkosten		-	
Löhne/Personal (nicht Einsätze)		23,784	(Annahme: 40 % der Personalkosten)
Löhne/Personal (Wiederverwertung Splitt)		10,000	(Schätzung des Chefs Winterdienst)
Abweichung		*6,686*	
Total	**100,15**	**100,15**	

Tabelle 5.3.3: Chur: Vergleich Hochrechnung Teststrecken mit jährlicher Betriebskostenabrechnung für 1996

Chur			
	Betrag Betriebskostenabrechnung [in 1 000 Fr.]	Betrag Hochrechnung [in 1 000 Fr.]	Kommentar
ausgewiesene Betriebskosten			
Löhne/Personal	272, 412		
Fahrzeuge/Geräte	178, 983		
Material	36,655		
Fremdkosten	216,263		
Gemeinkosten (Abschreibungen Fahrzeuge, Pflüge etc.)	127,730		
für Einsätze relevante Kosten			
Hochrechnung Salzstrecken		30,618	
Hochrechnung Splittstrecken		25,271	
Hochrechnung Trottoirs		40,650	
			Zwischentotal 96,539
Annahmen: in Betriebsrechung für Einsätze Teststrecken nicht relevante Kosten			
nicht berücksichtigte Restflächen		28,962	Treppen, Bushaltestellen, Velowege etc. (Annahme: 30 % der Hochrechnung)
Fixkosten		94,260	
Gemeinkosten		127,730	
Löhne/Personal (nicht Einsätze)		108,965	(Annahme: 40 % der Personalkosten)
*Abweichung**		*375,587*	
Total	**832,043**	**832,043**	

* Die Abweichung ist auf die Kosten der Schneeabfuhr zurückzuführen. Diese Kosten liegen in der Regel dreifach höher als die übrigen Einsatzkosten und können somit auf ca. Fr. 300 000 geschätzt werden.

5.3.3 Volkswirtschaftliche Bedeutung des Winterdienstes

Der Teststrecken-Versuch erlaubt keine Rückschlüsse auf die volkswirtschaftliche Bedeutung des Winterdienstes in den drei Städten.

Eine wichtige Grösse in der volkswirtschaftlichen Gesamtkosten/-nutzen-Bilanz ist der Produktionsausfall bei Betrieben. Der Statusbericht des Strasseninspektorats Zürich enthält dazu folgende Angaben (STADT ZÜRICH, 1994):

"Die Stadt Zürich ist das wirtschaftliche Zentrum der Schweiz. 361 000 Pendler benützen jeden Tag das Zürcher Verkehrssystem auf dem Weg zur Arbeit. Wenn man sich vorstellt, dass bei heftigen Schneefällen und ungenügender Schneeräumung die Stadt lahmgelegt und nur einen halben Tag lang die Arbeitsplätze unbesetzt blieben, wäre mit einem volkswirtschaftlichen Schaden von über 50 Mio Franken zu rechnen. Dagegen sind die durchschnittlich 200 000 - 300 000 Franken, welche das Strasseninspektorat pro Einsatztag braucht, gut angelegtes Geld. Nach Erhebungen des Stadtplanungsamtes machen aber die Arbeitswege nur 26 % der gesamthaft zurückgelegten Wege aus. Weitere 25 % dienen der Versorgung. Der Rest sind Freizeit, Schule und Sonstiges. Selbstverständlich würden auch in diesen Sektoren zusätzlich Millionenverluste entstehen. Wenn man dann noch die möglichen Unfälle mit den Folgen von menschlichem Leid und ebenfalls hohen Kosten in die Betrachtung einbezieht, ist es klar, dass der Winterdienst in einer Stadt wie Zürich nicht wegzudenken ist".

5.3.4 Zuverlässigkeit der Resultate

Die Hochrechnung der Kosten der Teststrecken auf das ganze Stadtnetz beruht auf verschiedenen Vereinfachungen und Annahmen. Die Resultate sind als Grössenordnungen zu verstehen, die zur groben Bestätigung der Ergebnisse der Teststrecken herangezogen werden können.

5.3.5 Diskussion der Resultate

Insgesamt stimmen die Beträge der Teststrecken-Hochrechnung recht gut mit den jährlichen Betriebsabrechnungskosten überein. Abweichungen konnten begründet werden.

Das Einsparpotential bei einer möglichen zukünftigen Umstellung der Splittstreuung auf die Nullstreuung liegt in Quartierstrassen in Zürich bei einem normalen Winter in der Grössenordnung von 53 % der Strassen-Einsatzkosten und 14 % der Winterdienst-Gesamtbetriebskosten. Bei dieser Einsparung sind nur die Einsatzkosten berücksichtigt.

Unter Berücksichtigung der hohen Investitions- und Abschreibungskosten (u. a. Silos, Fahrzeuge etc.) ergibt sich ein insgesamt viel höheres Einsparpotential.

Die Stadt Baden geht heute schon sehr sparsam mit dem Splitt um. Aufgrund des milden Winters lassen sich aus dem Vergleich Betriebsabrechnung/Hochrechnung keine allgemeinen Aussagen machen.

Interessant ist der Vergleich zwischen dem prozentualen Anteil der Einsatzkosten für das Weissräumgebiet an den Gesamt-Strasseneinsatzkosten im Winter in Baden und Zürich. Der Wert liegt in Baden bei 10 % (milde Winter) und in Zürich bei 59 % (normale Winter).

Auch in der Stadt **Chur** sind die hochgerechneten Einsatzkosten aufgrund des milden Winters 1996 nicht repräsentativ. Die Ergebnisse zeigen, dass Einsparmöglichkeiten nicht nur bei einer Reduktion des Splitteinsatzes, sondern auch bei einer Reduktion der Schneeabfuhr-Einsätze zu suchen sind.

6 VEREINFACHTE ÖKOBILANZ SALZ/SPLITT

6.1 ZIEL

Die vereinfachte Ökobilanz soll die wichtigsten Umweltbelastungen der beiden Produkte Salz und Splitt im Winterdienst von der Herstellung bis zur Entsorgung erfassen und darstellen. Der Schwerpunkt wird auf die Beurteilung derjenigen Belastungen gelegt, die in der Fachliteratur bisher nur ansatzweise erfasst wurden. Es handelt sich primär um die Umweltbelastungen Energieverbrauch, Ressourcenverbrauch, Luft-/Abwasserbelastung und Entsorgung.

6.2 VORGEHEN UND SYSTEMABGRENZUNG

Die vereinfachte Ökobilanz wurde in Zusammenarbeit mit der EMPA St.Gallen erstellt. Detaillierte Informationen zu Grundlagen, Datenerhebung, Systemabgrenzung, Methodik und Resultate sind dem Anhang 1 zu entnehmen. Im vorliegenden Kapitel werden nur die wichtigsten Ergebnisse dargestellt und kommentiert.

Die Ökobilanz wurde durchgeführt mit den Daten, die an den Teststrassen 1 (Restelbergstrasse - Forster-Billeterstrasse) in Zürich im Winter 1996 (Januar - April) gesammelt wurden.

Für den eingesammelten Splitt wurden drei Szenarien berücksichtigt:

- Wiederaufbereitung mit mobiler Recyclinganlage (Heissreinigung)
- Aufbereitung zu Kies/Sand (Waschanlage, Nassreinigung)
- Entsorgung in Reaktordeponie

Grundsätzlich wurden folgende Prozesse in die Bilanzierung eingeschlossen:

- Abbau und Herstellung der Streumittel
- Aufwendungen für Streuung/Einsammlung
- Aufwendungen für Recycling/Aufbereitung
- Aufwendungen für Entsorgung
- alle Transporte
- Aufwendungen für die Energiebereitstellung

Die berechneten Werte (Energie- und Wasserbedarf, Luft- und Wasseremissionen, Abfallmengen) der Sachbilanz wurden mit der Methode der Umweltbelastungspunkte (UBP; Methode der ökologischen Knappheit) und mit der Eco-indicator 95 Methode bewertet (Anhang 1).

6.3 ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ SALZ/SPLITT

In den Figuren 6.3.1 und 6.3.2 sind die UBP ohne Belastungspunkte für Deponien dargestellt, da ansonsten mit dieser Bewertungsmethode extrem hohe, teilweise fragliche Werte, entstehen (Anhang 1).

Splitt schneidet insgesamt bei der Ökobilanz mit UBP deutlich schlechter als Salz ab (Figur 6.3.1). Dies gilt für alle drei betrachteten Entsorgungs-/Wiederaufbereitungs-

szenarien. Die mobile Recyclinganlage verursacht die höchste Umweltbelastung.

Beim Splitt sind für alle Szenarien die hohen Werte vor allem auf die Entsorgung des Splitts, insbesondere desjenigen Anteils, der über die Strassenreinigung in die Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) gelangt, zurückzuführen. Weiter sind die Transporte des Neusplitts nach Zürich und die Entsorgungstransporte von Bedeutung.

Die Darstellung nach Kompartimenten Energie, Luft, Wasser (Figur 6.3.2) zeigt, dass beim Splitt die Luftbelastung im Vordergrund steht. Dies ist auf die Bereitstellung und Verbrennung fossiler Energieträger zurückzuführen (hauptsächlich aufgrund von Transporten und Strassenreinigung mit Entsorgung in KVA). Beim Salz rühren die UBP mehrheitlich vom Kompartiment Wasser her, dies als Folge der Chloridemissionen.

Mit der Bewertungsmethode Eco-indicator 95, die sich hauptsächlich auf Schäden von Menschen und Ökosystemen konzentriert, schneidet Splitt ebenfalls deutlich schlechter als Salz ab (Figur 6.3.3).

Die mobile Recyclinganlage verursacht eine deutlich höhere Umweltbelastung als die Wiederaufbereitung mit der Waschanlage (Figur 6.3.3). Bei dieser letzten, für Splitt günstigsten Variante fällt ebenfalls die Entsorgung samt Strassenreinigung am stärksten ins Gewicht.

Bei der Wirkungsabschätzung nach Wirkungskategorien (Figur 6.3.4) erhält die Versauerung, die v. a. auf die Schwefel- und Stickoxidemissionen beim Verbrauch fossiler Energieträger zurückzuführen ist, eine grosse Bedeutung.

6.4 ZUVERLÄSSIGKEIT DER RESULTATE

Die vorhandene Datenlage und die zeitliche Einschränkung der Studie ermöglichte die Erstellung einer vereinfachten Ökobilanz mit Grobabschätzung der wichtigsten Umweltauswirkungen von Salz und Splitt im Winterdienst. Für eine abgesicherte und allgemeingültige Aussage müssten einige Annahmen und Datengrundlagen verifiziert und erweitert werden.

6.5 BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

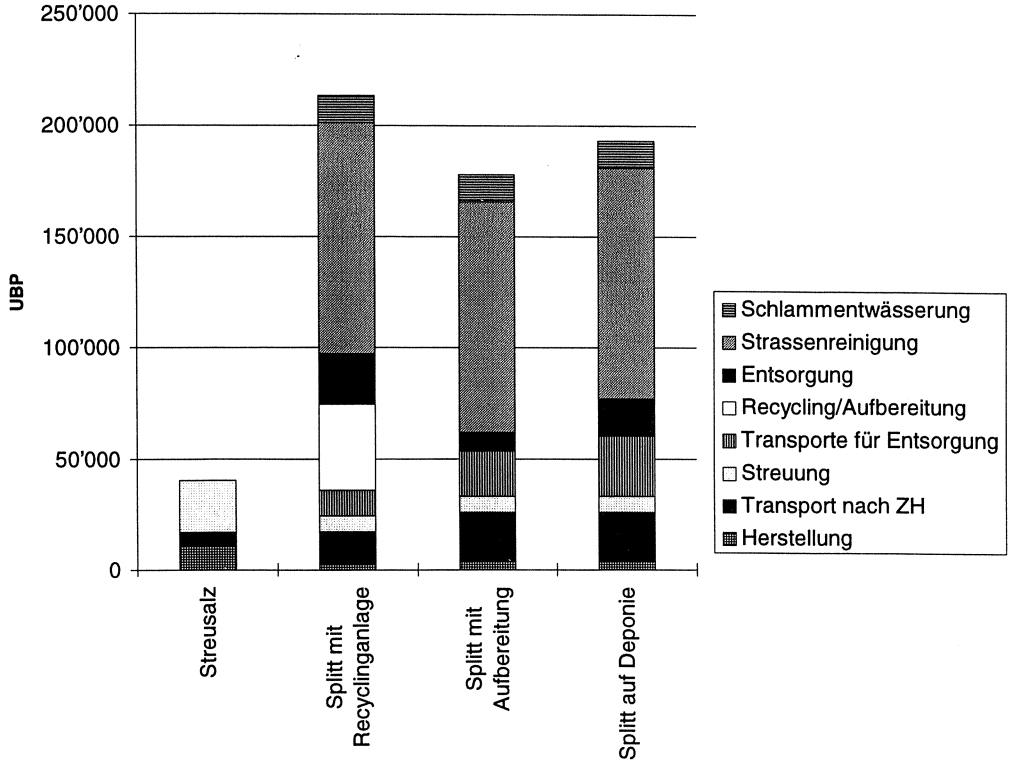
Die Ergebnisse der vereinfachten Ökobilanz zeigen deutlich auf, dass die Splittstreuung im Zusammenhang mit der Entsorgung (Energiebedarf, Transport) hohe Luftemissionen verursacht, die auf den Verbrauch fossiler Energieträger zurückzuführen sind.

Diese Resulate bestätigen die Bewertung, die im Kapitel 3.2.2 (Umweltauswirkungen von Splitt) bezüglich Entsorgung von Splitt vorgenommen wurde. Die Entsorgung wurde dabei mit "einem Minus" bewertet.

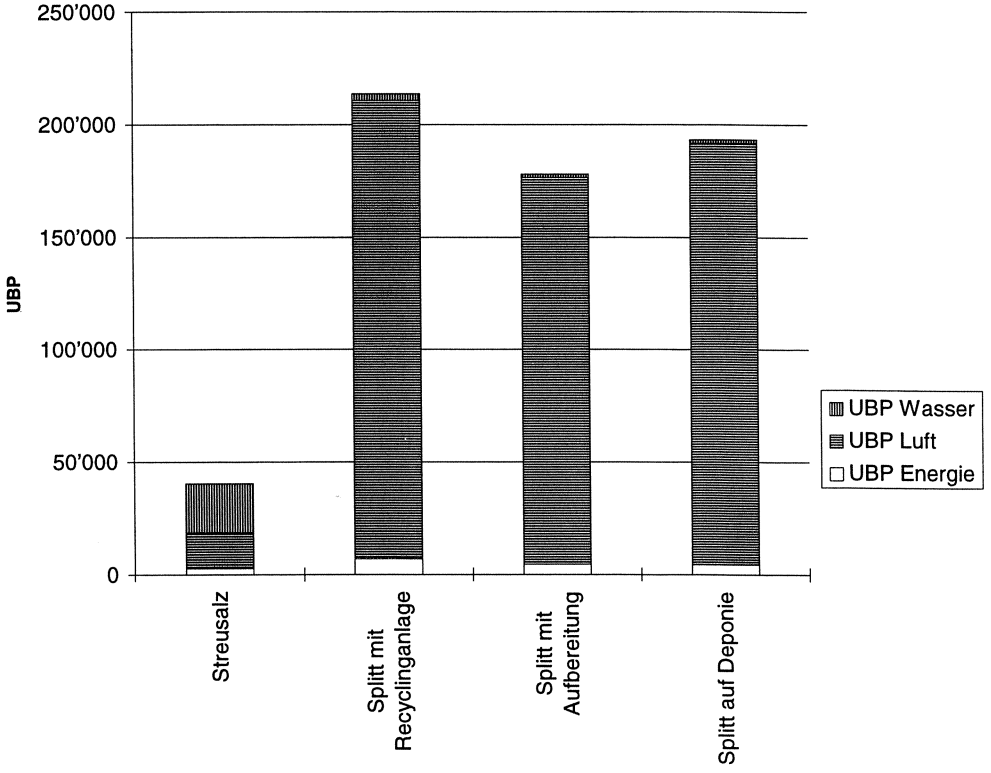
Fazit Ökobilanz Salz/Splitt

Insgesamt schneidet die Salzstreuung bezüglich ökobilanzrelevanter Belastungen (Energie- und Wasserbedarf, Luft- und Wasseremissionen, Abfallmengen) deutlich besser als die Splittstreuung ab. Die Salzstreuung wird mit "geringe Belastung" und die Splittstreuung mit "erhebliche Belastung" bewertet .

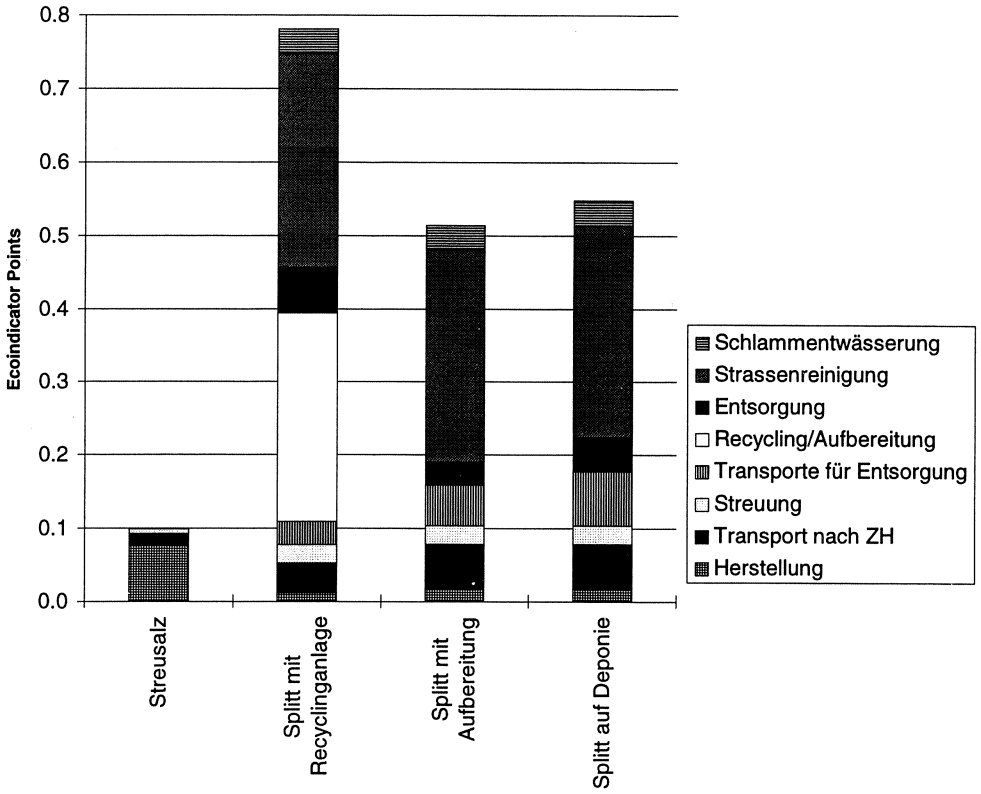
Bewertung Salz:	0	Infogehalt:	◗
Bewertung Splitt:	-	Infogehalt:	◗



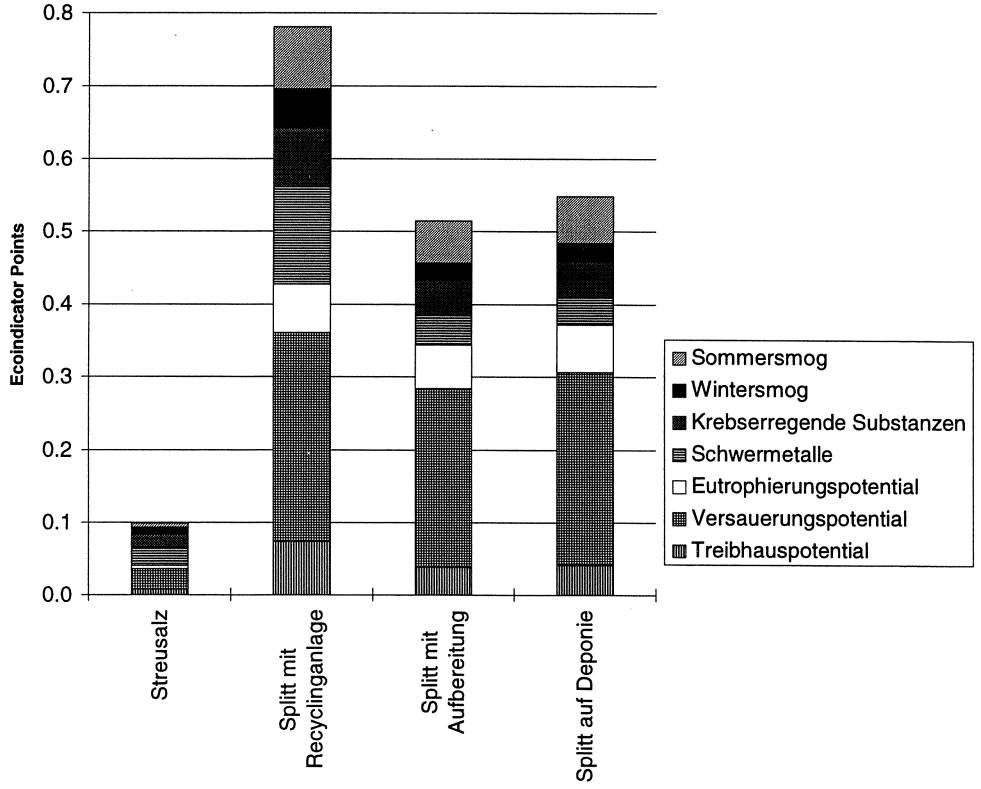
Figur 6.3.1: Wirkungsabschätzung mit Umweltbelastungspunkten (ohne UBP für Deponie)



Figur 6.3.2: Wirkungsabschätzung mit Umweltbelastungspunkten UBP nach Kompartimenten (ohne UBP für Deponie)



Figur 6.3.3: Wirkungsabschätzung nach Eco-indicator 95



Figur 6.3.4: Wirkungsabschätzung nach Eco-indicator 95
Aufteilung nach Wirkungskategorien

7 GESAMTBEWERTUNG UND SYNTHESE

Im vorliegenden Kapitel werden die Ergebnisse aus dem Studium der bisherigen Publikationen, aus dem Teststrecken-Versuch und weiterer Auswertungen bewertet und einander gegenübergestellt (Tabellen 7.4.1 und 7.4.2).

7.1 WIRTSCHAFTLICHKEIT

Umfangreiche Publikationen zeigen eindeutig, dass die Salzstreuung einen hohen **volkswirtschaftlichen Nutzen** aufweist. Nach Durchgang von wenigen Fahrzeugen auf der gestreuten Fahrbahn übersteigt der Nutzen (haupsächlich Einsparungen bei den Unfallkosten) die Kosten des Winterdienstes.

Der volkswirtschaftliche Nutzen der Splittstreuung ist hingegen aufgrund verschiedener Hinweise aus der Literatur eher gering. Der Nachweis innerorts ist extrem schwierig und auch aufwendig zu erbringen. Zur Zeit fehlen noch Untersuchungen dazu.

Die **Einsatzkosten** liegen beim Winterdienst mit Splitt um ein Mehrfaches höher als diejenigen mit der Salzstreuung. In der Literatur wurde geschätzt, dass die Kosten für die Streuung eines Kilometers Strasse in Deutschland etwa 10- bis 20fach höher bei der Splitt- als bei der Salzstreuung liegen (HANKE, 1996).

Der Versuch mit den Teststrecken in Zürich und Chur zeigte, dass die Kosten für die Streuung eines Kilometers Strasse in einem normalen Winter ca. 6fach höher bei der Splitt- als bei der Salzstreuung liegen. In einem strengen Winter liegt der Faktor sogar bei ca. 10. Dies bestätigt die obige Schätzung.

Die Salzstreuung verursacht Schäden an Betonkonstruktionen (vor allem ältere Brükken). Neuere Bauten sind gut isoliert und unterliegen nicht mehr diesem Angriff. Die Kosten wurden bisher in der Literatur nur grob geschätzt.

Korrossionsschäden an Fahrzeugen sind bei der Salzstreuung nur noch bei älteren Fahrzeugen von Bedeutung. Hingegen verursacht die Splittstreuung Lackschäden an den Fahrzeugen, die unter der Einwirkung von Salz zu Korrosionsschäden führen. Die Kosten sind schwer quantifizierbar.

Fazit

Insgesamt können der volkswirtschaftliche Nutzen der Salzsstreuung und die geringen Einsatzkosten gemäss der definierten Bewertungsskala als sehr gut bewertet werden.

Die Winterdienst-Einsatzkosten beim Splitt werden, unter Berücksichtigung auch der indirekten Kosten (Zusatzkosten Strassenreinigung, Entsorgung Schlammsammlergut, Zusatzkosten Kanal- und Sandfangereinigung), als extrem hoch eingestuft.

7.2 UMWELT

Untersuchungen in der Literatur deuten darauf hin, dass die **Belastung des Bodens mit Tausalz** in der Regel reversibel ist. In hochverdichteten Böden im innerstädtischen Bereich kann es zu einer Salzanreicherung kommen.

Die **Salzbelastung der Oberflächengewässer und des Grundwassers** kann aufgrund des beschränkten räumlichen Ausmasses generell als gering bewertet werden.

Sowohl die Salzbelastung der Böden als auch diejenige der Fliessgewässer und des Grundwassers werden aufgrund des örtlich und zeitlich beschränkten Auftretens als **gering** bewertet.

Die Beeinträchtigung der **Vegetation**, insbesondere der Bäume im innerstädtischen Bereich, darf nicht unterschätzt werden. Massnahmen zur Reduktion der Salzbelastung werden weiterhin empfohlen. Neuere Erkenntnisse zeigen, dass eine Gesamtmenge von 1 kg $NaCl/m^2$ und Jahr noch akzeptabel ist. Durch technische Massnahmen ist allerdings zu gewährleisten, dass nicht mehr als 10 % des auf der Fahrbahn ausgebrachten Auftausalzes in den Wurzelbereich der Bäume eindringt.

Aufgrund der Bedeutung der Vegetation im innerstädtischen Bereich und der Forderung nach Massnahmen wird die Salzbelastung als "**erheblich**" eingestuft.

Neuere Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass auch die Splittstreuung bezüglich Umweltauswirkungen nicht unbedenklich ist. Altsplitt ist in der Schweiz insbesonders aufgrund der Grobverunreinigung mit Strassenabfall, Kunststoffen, Laub etc. auf einer Reaktordeponie zu **entsorgen** oder muss aufbereitet und wiederverwertet werden. Das massive Ausbringen von Splitt und die damit verbundene Abfallproduktion steht im Widerspruch mit dem Vorsorge- und Vermeidungsprinzip nach Umweltschutzgesetz und TVA. Die Belastung der Umwelt mit dem Splittabfall wird als "**erheblich**" eingestuft.

Untersuchungen in Deutschland haben gezeigt, dass die Staubbelastung beim Wiedereinsammeln des Splitts gravierende Auswirkungen auf die Gesundheit des Strassenpersonals und in geringerem Masse der Passanten haben kann. Die Belastung wird ebenfalls als "**erheblich**" eingestuft.

Die Untersuchungen zur Ökobilanz von Salz- oder Splittstreuung zeigen, dass bezüglich ökobilanzrelevanten Belastungen, insbesondere solche im Zusammenhang mit dem Energieverbrauch und dem Transport, die Splittstreuung deutlich schlechter als die Salzstreuung abschneidet.

Fazit

Sowohl die Salz- (Schädigung der Vegetation) als auch die Splittstreuung (Entsorgung, Staubbelastung, Ökobilanz) sind insgesamt als "**erhebliche**" Belastung einzustufen. Massnahmen zur Reduktion der Streumengen **beider Stoffe** sind weiterhin notwendig.

7.3 SICHERHEIT

Der Winterdienst mit Salzstreuung führt zu einem schnellen und sehr starken Rückgang des Unfallrisikos. Untersuchungen zeigten, dass die Zahl der Unfälle nach der Streuung lediglich ein Viertel derer vor der Streuung beträgt. Die Zahl aller Unfallarten geht zurück, aber ganz besonders die der Unfälle mit schweren Personenschäden.

Die Salzstreuung gewährleistet die Verkehrssicherheit im Winter und kann bezüglich **Sicherheit** als **sehr gute Lösung** bezeichnet werden.

Hingegen hält die Wirkung von Splitt nur selten längere Zeit an. Zudem zeigten Kraftschlussmessungen (Haftung von Fahrzeugrad an Fahrbahn; massgebend für den Bremsweg und die Fahrstabilität), dass die Wirkung von Splitt nur gering ist. Die Verwendung von Splitt bei normaler Glätte auf den Hauptverkehrsstrassen bewirkt eine Erhöhung der Unfallrate gegenüber der trockenen bzw. nassen Fahrbahn, während bei der Verwendung von Salz die Unfallrate auf dem Niveau der nichtwinterlichen Fahrbahn verbleibt (HOFFMANN et al., 1985).

Die absolute Zunahme der Unfallrate der schweren Unfälle bei winterlichen Strassenverhältnissen liegt höher auf den Splitt- als auf den Tausalzstrecken (GEWU, 1992).

Splittstreuung suggeriert dem Autofahrer eine stärkere Erhöhung der Griffigkeit als sich tatsächlich einstellt, was zu hohe Geschwindigkeiten zur Folge hat. So ergibt sich bei der Splittstreuung eine höhere Überschreitung des Risikofaktors als bei der Salzstreuung (BARK et al.,1993).

Aufgrund dieser neuesten Erkenntnisse wird die Sicherheit mit der Splittstreuung "**nur teilweise gewährleistet**".

Bei der **Nullstreuung** (starkes Räumen, kein Streuen, nur in Spezialfällen wenig salzen) sind tendenziell eine geringere Unfalldichte und auch geringere mittlere Unfallkosten zu verzeichnen als bei der Splittstreuung (BARK et al., 1993). In diesem Fall wird die **"Sicherheit bei vorsichtigem Fahren gewährleistet"**. In den untergeordneten Strassen ohne Winterdienst wird also bewusster auf die winterlichen Gefahren reagiert. Die Nullstreuung kommt nur in Frage in ebenen Quartierstrassen, ohne spezielle Gefahrenstellen.

Fazit

Der Winterdienst mit Salzstreuung gewährleistet eine hohe Verkehrssicherheit. Die Wirkung von Splitt bezüglich Kraftschlusserhöhung ist hingegen gering. Das Risiko eines Unfalls wird tendenziell erhöht. Die Sicherheit wird nur teilweise gewährleistet.

7.4 SYNTHESE

Bewertung Salz-/Splittstreuung

Bei gleicher Gewichtung der drei Aspekte Wirtschaftlichkeit (W), Sicherheit (S) und Umwelt (U) (W:S:U = 1:1:1) in der Gesamtbewertung, schneidet die Variante Salzstreuung mit der Bewertung "gut" (Note 4) deutlich besser als die Splittstreuung mit der Bewertung "schlecht" (Note 2) ab (Tabelle 7.4.3).

Bei einer höheren Gewichtung des Aspektes Sicherheit (W:S:U = 1:2:1) bleiben dieselben Bewertungskategorien bestehen. Die Variante Salz wird tendenziell besser (Note 4.3 statt 4; Kategorie "gut") und die Variante Splitt schneidet auch etwas besser ab (Note 2.3 statt 2; Kategorie "schlecht").

Es sind vor allem die Aspekte Wirtschaftlichkeit und Sicherheit, die zu dieser unterschiedlichen Ausprägung der Bewertung führen. Die Salzstreuung ist sowohl bezüglich Wirtschaftlichkeit als auch Sicherheit der Variante Splittstreuung weit überlegen. Die Umweltaspekte können hingegen bei den beiden Winterdienst-Methoden mit der Bewertung "erhebliche Belastung, mit Massnahmen lösbar" charakterisiert werden. Bei beiden Varianten sind weitere Anstrengungen zur Senkung der Streumengen erforderlich.

Bewertung mechanische Räumung (Nullstreuung)

Die mechanische Räumung (Nullstreuung) stellt mit der Note 4.7 oder 4.5 eine gute Alternative zur Splittstreuung dar. Wie bereits erwähnt, ist diese Winterdienst-Methode nur auf Quartierstrassen ohne Gefahrenstellen (exponierte Brücken, steile Bereiche etc.) anzuwenden.

Die Nullstreuung schneidet in der Gesamtbewertung (Tabelle 7.4.3) bei beiden Gewichtungen der Aspekte Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Umwelt besser als die Salzstreuung ab. Dieser Vergleich ist aber nur bedingt möglich, da Salz prinzipiell auf allen Strassen gestreut werden kann, hingegen kommt die Nullstreuung nur auf ein definiertes Strassennetz in Frage.

Beim Vergleich Splitt/mechanische Räumung schneidet die Splittstreuung bezüglich Sicherheit schlechter als die mechanische Räumung ab. Dies ist, wie bereits erwähnt, auf die geringe Wirkung von Splitt bezüglich Kraftschlussverbesserung und auf das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer zurückzuführen. Die Variante mechanische Räumung (Nullstreuung) ist zudem gleichzeitig wirtschaftlich attraktiv und bezüglich Umwelt unbedenklich. Aufgrund dieser Bewertung kann die Nullstreuung auf den ebenen Quartierstrassen ohne spezielle Gefahrenstellen in Zukunft empfohlen werden.

Tabelle 7.4.1: Vor- und Nachteile der Salz-/Splittstreuung im innerstädtischen Bereich auf Fahrbahnen: Überblick

VOR- UND NACHTEILE DER SALZ-/SPLITTSTREUUNG IM ÜBERBLICK					
AUFTAUENDE STREUSTOFFE (SALZ)			ABSTUMPFENDE STREUMITTEL (SPLITT)		
ARGUMENTE	Bew.	Info.	ARGUMENTE	Bew.	Info.
Wirtschaftlichkeit			**Wirtschaftlichkeit**		
- hoher volkswirtschaftlicher Nutzen	++	◗	- volkswirtschaftlicher Nutzen vermutlich gering	--	○
- geringe Winterdienst-Einsatzkosten	++	◗	- sehr hohe Winterdienst-Einsatzkosten (ca. 6x höher als Salzstreuung)	--	◗
- Schäden an älteren Bauwerken		○	- Lack- und Korrosionsschäden an Fahrzeugen		○
- Korrosionsschäden an Fahrzeugen		○			
Umwelt			**Umwelt**		
- Schäden an Vegetation (v.a. Bäume)	-	●	- Gefährdung der Gesundheit durch Staubbelastung (v.a. Kehrpersonal)	-	◗
- geringe Bodenbelastung	0	●	- Abfallproduktion, Entsorgungsproblem	-	◗
- geringe Belastung von Oberflächengewässer, Grundwasser	0	●	- mechanische Schädigung angrenzender Vegetation, evtl. auch Schadstoffbelastung (Langzeiteffekt)		○
- Ökobilanz	0	◗	- Ökobilanz	-	◗
Sicherheit			**Sicherheit**		
- hohe Verkehrssicherheit ist gewährleistet	++	●	- erhöhtes Unfallrisiko wegen geringer Wirkung von Splitt und nicht angepassten Geschwindigkeiten	0	◗
Leistungsfähigkeit			**Leistungsfähigkeit**		
- gute Leistungsfähigkeit der Strassen	++	●	- Leistungsfähigkeit der Strassen reduziert	0	◗
Soziale Aspekte			**Soziale Aspekte**		
- höhere Effizienz der Notdienste (Notarzt, Notunfallrettungswagen, Feuerwehr etc.)		○	- Notdienste sind weniger rasch an der Zielstelle		○
- hoher Fahrkomfort dank schneefreier Fahrbahn		○	- Fahrkomfort durch Anstrengung, Nervenanspannung reduziert		○
- positive Aspekte von weniger Unfallverletzten und -toten		○	- soziale Konsequenzen von mehr Unfallverletzten und -toten, ältere Personen bleiben zuhause		○

++, +, 0, -, -- siehe Bewertungskala in nachfolgender Tabelle 7.4.2
● hoher Informationsgehalt, Thema gut untersucht
◗ Informationsgehalt mittelmässig, weitere Untersuchungen sind erwünscht
○ geringer Informationsgehalt, weitere Untersuchungen sind notwendig

Tabelle 7.4.2: Definition der Bewertungsklassen für die Aspekte Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Umwelt

	Definition der Bewertungsklassen				
Zeichen	++	+	0	-	--
Zahlen	5	4	3	2	1
Bedeutung allgemein	sehr gut	gut	mittelmässig	schlecht	sehr schlecht, nicht akzeptabel
Bedeutung für Wirtschaftlichkeit	geringe Einsatzkosten	mittlere Einsatzkosten	hohe Einsatzkosten	sehr hohe Einsatzkosten	extreme Kosten
Bedeutung für Sicherheit	Sicherheit gewährleistet	Sicherheit bei vorsichtigem Fahren gewährleistet	Sicherheit nur teilweise gewährleistet	Sicherheit herabgesetzt, gefährlich	Sicherheit stark herabgesetzt, nicht akzeptabel
Bedeutung für die Umwelt	keine negativen Auswirkungen	äusserst geringe Belastung	geringe Belastung	erhebliche Belastung, mit Massnahmen lösbar	absoluter Konflikt, Gesetze verletzt

Tabelle 7.4.3: Bewertungsmatrix Wirtschaftlichkeit, Sicherheit, Umwelt

	Hauptstrassen/ steile Quartierstrassen			Quartierstrassen			nur Quartierstrassen ohne Gefahrenstellen		
	SALZ			**SPLITT**			**MECHANISCHE RÄUMUNG***		
	WIRTSCH.	SICHERHEIT	UMWELT	WIRTSCH.	SICHERHEIT	UMWELT	WIRTSCH.	SICHERHEIT	UMWELT
Bewert.	++	++	-	--	0	-	++	+	++
Gewichtung W:S:U 1:1:1	4 (gut)			2 (schlecht)			4.7 (sehr gut)		
Gewichtung W:S:U 1:2:1	4.3 (gut)			2.3 (schlecht)			4.5 (gut)		

* Auftaumittel in Spezialfällen (Nullösung)

Bewertungsskala

Zeichen	++	+	0	-	--
Zahlen	5	4	3	2	1
Bedeutung	sehr gut	gut	mittelmässig	schlecht	sehr schlecht - nicht akzeptabel

8 EMPFEHLUNGEN UND AUSBLICK

8.1 EMPFEHLUNGEN

Basierend auf den Ergebnissen dieser Studie und den Empfehlungen der VKS-Informationsschrift (1997) können für die zukünftige Durchführung des Winterdienstes in den schweizerischen Städten folgende Empfehlungen formuliert werden.

Im Vordergrund steht die zeitliche und geografische Differenzierung des Winterdienstes in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen und der Verkehrsbedeutung der Strassen sowie der Einsatz der neuesten technischen Entwicklungen zur Minimierung der Salzstreuung. Die Splittstreuung wird nur noch auf den Trottoirs und den Radwegen empfohlen.

Innerortsstrassen

Generell

- Der Winterdienst hängt von so vielen Faktoren ab, dass sich ein allgemein gültiges, starres System kaum definieren lässt. Wichtig ist die Berücksichtigung der speziellen Verhältnisse in den jeweiligen Städten. So bekommen beispielsweise in Skigebieten wie Davos oder Arosa Kriterien wie "Ästhetik des weissen Schnees" ein ganz anderes Gewicht als in anderen Städten. In solchen Städten kann die Splittstreuung in Zukunft weiterhin von Bedeutung sein.

- Auch in Städten wie beispielsweise Chur mit regelmässigem hohem Schneefall und speziellen Witterungsverhältnissen (oft Föhn am Tag und Frostverhältnisse in der Nacht) können sich Winterdienst-Massnahmen aufdrängen, die in anderen Städten nur ausnahmsweise erforderlich sind (z.B. Schneeabfuhr, präventive Salzstreuung).

- Durch eine regelmässige und systematische Ausbildung des Winterdienst-Betriebspersonals kann ein sparsamerer Umgang mit der Salzstreuung erzielt werden. Bei der Durchführung solcher Kurse könnten sich verschiedene Städte gemeinsam organisieren und beteiligen. Erfahrungen und Kursmaterial aus dem Ausland könnten dabei hilfreich sein.

- Die Bevölkerung sollte systematisch und regelmässig über den Winterdienst und die neuesten Entwicklungen in diesem Bereich sowie über die Zusammenhänge bezüglich Sicherheit, Umwelt und Wirtschaftlichkeit informiert werden. Wichtig ist, dass die Kommunikation auf oberster kommunaler Hierarchiestufe erfolgt.

- Die neuesten technischen und wissenschaftlichen Entwicklungen im Winterdienst sollten fortlaufend erfasst und für die Schweiz ausgewertet werden. Dies sollte organisiert und institutionalisiert werden (z. B. alle 4 Jahre).

- Die Wirkung der neu eingeführten Massnahmen sollte im Sinne einer Erfolgskontrolle erfasst und bewertet werden.

Salzstreuung

- Die präventive Salzstreuung sollte nur bei kritischer Wetterlage zur Anwendung kommen.

- Die systematische Einführung der Feuchtsalz-Streuung und eine verstärkte mechanische Räumung sollten in allen Städten im Vordergrund stehen. Der Einsatz der neuesten technischen Enwicklung wie beispielweise die Thermostreuer ist zu fördern. Die Verbesserung der Qualität, der Übertragung und der korrekten Interpretation (Ausbildung) der Meteodaten ist anzustreben.

- Zum Schutz der Baumalleen in den Städten sind weiterhin Massnahmen basierend auf den neuesten Erkenntnissen und Erfahrungsberichten zu realisieren (siehe dazu BROD, 1993).

- Gemäss einer Empfehlung von HANKE (mündliche Mitteilung, Vortrag VKS, 1997) soll zumindest ein Teil der erzielten Einsparungen durch die Umstellung von der Splittstreuung auf die Nullstreuung für einen effektiveren und sparsameren Einsatz von Salz genutzt werden (Feuchtsalz, verstärkte mechanische Räumung, Thermostreuer, Organisation, Ausbildung etc.).

Quartierstrassen ohne Gefahrenstellen (heutiges Weissräumgebiet)

- Auf den Quartierstrassen ohne Gefahrenstellen soll die Nullstreuung stufenweise die Splittstreuung ersetzen. Dies kann in einer ersten Phase auf einem Teil des Quartiernetzes erfolgen und später auf das ganze geeignete Quartiernetz einer Stadt ausgedehnt werden.

- Die betroffene Bevölkerung ist vorgängig gezielt zu informieren (z.B. lokale Zeitschrift, Informationstafeln in den Quartieren, Übergänge Salzstreuung/Nullstreuung gut markieren).

Trottoirs/Radwege

- Der Einsatz von Splitt im Nahbereich der Bäume wird auf den Trottoirs und den Radwegen weiterhin empfohlen.

- Bei der Planung neuer Trottoirs, aber auch bei bestehender, ist darauf zu achten, dass minimale Durchfahrtsbreiten für maschinelle Einsätze gewährleistet werden. Die Handarbeit bei der Räumung und Streuung von Splitt bzw. Salz sollte vermieden werden. Die dadurch entstehenden Kosten sind extrem hoch.

- Beim Einsatz von Splitt ist auf möglichst kurze und effizient ausgenützte Transporte zu achten. Dadurch können nicht nur Kosten, sondern auch die ökobilanzrelevante Umweltbelastungen reduziert werden.

- Bei der Entsorgung von Splitt sind Lösungen zu suchen, die einen hohen Rückführungsgrad des ausgestreuten Materials in den Wertstoffkreislauf ermöglichen und den Anteil reduzieren, der in KVA/Deponien entsorgt werden muss.

8.2 FORSCHUNGSBEDARF

In der Tabelle 7.4.1 wurde der Informationsgehalt der verschiedenen erfassten Argumente bzw. Themen bewertet. Folgende Themen sollten in Zukunft näher untersucht werden:

- Die erstellte Ökobilanz Salz/Splitt liefert wertvolle Informationen zum umweltrelevanten Lebenszyklus der beiden Streumittel. Im Hinblick auf genauere Aussagen sollten gewisse Bereiche der Ökobilanz weiter vertieft werden. Einige Annahmen und Parameter wie beipielsweise die Staubemissionen beim Splitt bei den verschiedenen Winterdienst-Aktivitäten sollten verifiziert bzw. genauer erfasst werden.

- Die Entsorgungsmöglichkeiten von Splitt sind zu analysieren. Dabei ist die Schadstoffbelastung des Altsplitts auf Radwegen bzw. Trottoir zu erfassen und entsprechend den Resultaten die besten Entsorgungswege zu evaluieren.

- Die möglichen Langzeit-Auswirkungen einer mechanischen Schädigung der angrenzenden Vegetation durch den gestreuten Splitt sowie die Auswirkungen des verunreinigten Splitts auf den Boden und die Vegetation wurden bisher nur ansatzweise untersucht.

- Die Sicherheitsaspekte für Fussgänger auf Trottoirs bzw. Velofahrer auf Radwegen im Winterdienst wurden bisher nur ungenügend erfasst.

- Die sozialen Aspekte des Winterdienstes werden in der Literatur nur am Rande erwähnt. Genauere Aussagen zu diesem Thema wären für eine Gesamtbewertung des Nutzens des Winterdienstes von Bedeutung.

8.3 AUSBLICK

Mit der differenzierten Anwendung der Salzstreuung und der Nullstreuung in den Städten lässt sich der Winterdienst in Zukunft nicht nur umweltfreundlicher und kostengünstiger gestalten. Auch der Verkehrsfluss und die Verkehrssicherheit können dadurch deutlich verbessert werden.

Im Winterdienst sind aber nicht nur die Leistungen der Administration wie Öffentlichkeitsarbeit, Verstärkung des öffentlichen Verkehrsangebots, verkehrslenkende Massnahmen und kommunaler Winterdienst von Bedeutung. Ebenso wichtig sind auch die Leistungen der Bevölkerung. Im Vordergrund steht dabei die Informationsnachfrage, der Umfang der Verkehrsteilnahme, der Ort und die Zeit der Verkehrsteilnahme, das gewählte Verkehrsmittel, die Ausrüstung des Verkehrsmittels und das Geh-/Fahrverhalten.

Die OECD unterstreicht die Wichtigkeit dieser Faktoren in folgender Stellungnahme:

"Die Sicherheit der Strassennutzer im Winter hat aus sozialen und wirtschaftlichen Gründen erste Priorität, hängt aber nicht nur vom Leistungsumfang und der Qualität der Leistungen ab, sondern auch zu einem grossen Teil vom Verhalten der Fahrer und der Leistung der Fahrzeuge. Es wird empfohlen, dass systematische Massnahmen (Informationskampagnen, Ausbildung etc.) verfolgt werden, die dem Autofahrer seine Eigenverantwortung bewusst machen..." (OECD, 1990).

Baden, 31.01.1998

RUS AG

Dr. Beatrice Ruess
Martin Kast (Sachbearbeiter einzelner Themen)

LITERATUR

BÄCKMAN, L. (1994): Environmental Effects of Chemical De-icing. IXTH PIARC. International Winter Road Congress, Seefeld, S. 486

BACH V. et al. (1995): Winterdienst auf Radwegen. Forschungsauftrag FE 77329/90 des Bundesministers für Verkehr. Technische Hochschule Darmstadt und Universität Karlsruhe (TH)

BARK, A.; BÖHM, P.M.; LEVIN, CH.; MATTHESS, V. (1993): Winterdienst und Verkehrssicherheit - FP 8938. Schlussbericht Technische Hochschule, Darmstadt, 11/93

BAUDIREKTION DES KANTONS ZÜRICH, TIEFBAUAMT (1979): Versuch Winterdienst ohne Taumittel, Zürich

BELOSOVIC, S. (1994): Recycling vom inerten Winterstreusplitt. IXTH PIARC International Winter Road Congress, Seefeld, S. 527

BLASER, P.; LINK, P.; LÜDIN, P.; RYF, W. (1997): Einfluss der Ausbringung von Streusalz auf das benachbarte und entferntere Grundwasser. Forschungsauftrag 18/92 EVED-BAS/VSS

BLASY, BUSSE (1992): Gutachten - Kehrgutuntersuchungen. In Landeshauptstadt München, Wiederaufbereitung von Streusplitt, Okt. 1993

BREITENSTEIN, J. (1995): Entwicklung einer Kenngrösse der Winterlichkeit zur Bewertung des Tausalzverbrauchs. Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Verkehrstechnik Heft V 18

BROD, H.G. (1993): Langzeitwirkung von Streusalz auf die Umwelt. Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen. Verkehrstechnik Heft V 2

BROD, H.G. (1994): Auswirkungen des Winterdienstes auf die Umwelt. IXTH PIARC International Winter Road Congress, Seefeld, S. 532

BROD, H.G. (1995): Risiko-Abschätzung für den Einsatz von Tausalzen. Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen. Verkehrstechnik Heft V 21

DIRNBÖCK, G. (1993): Umwelt- und Rechtsaspekte beim Streudienst. Symposium Umweltgerechter Strassenbetrieb 3, Mitteilungen, Institut für Strassenbau und Strassenerhaltung, TU Wien, S. 5

DURTH, W.; HANKE, H.; LEVIN, Ch. (1989): Wirksamkeit des Strassenwinterdienstes auf die Verkehrssicherheit und die Wirtschaftlichkeit des Verkehrsablaufes. Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 550, Bad Godesberg

DURTH, W; HANKE, H.; LEVIN, Ch. (1989): Vergleichsuntersuchungen zum Weissen Netz mit eingeschränktem Winterdienst. Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 550, Bad Godesberg

DURTH, W. (1989): Stand und Entwicklung des Winterdienstes in Städten und Gemeinden. Strasse und Autobahn, Heft 1, S.11-16

DURTH, W., HANKE, H. (1989): Optimierung der Einsatzplanung für den Strassenwinterdienst in Städten und Gemeinden. Schlussbericht des Forschungsauf- trages des BMV, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 548

DURTH, W., LEVIN, Ch. (1993): 3. Internationales Symposium über Winterdienst Technologie. Ergebnisse einer Tagung in den USA. Strasse + Autobahn 5, S. 281

DURTH, W. (1994): Untersuchungen der Wirksamkeit des Winterdienstes. IXTH PIARC International Winter Road Congress, Seefeld, S. 421

GARD, G. & LUNDBORG, G. (1994): Pedestrians Transportation Capacity on Different Slippery Surfaces During Winter. IXTH PIARC International Winter Road Congress, Seefeld, S. 321

GEWU Consult-Gesellschaft für Energie, Wirtschaft und Umwelt (1992): Modellversuch "Optimierter Strassenwinterdienst in Dortmund und Berlin". Forschungsvorhaben 0339269A des Bundesministers für Forschung und Technologie, Berlin

GIESA, A., GUMPRECHT, G. (1990): Einfluss des Streusalzes auf die Lebensbedingungen der Gehölze an Ausserortsstrassen. Strasse und Autobahn, 41 (5), S.204-120

HANBALI, R. M. (1994): The Economic Impact of Winter Road Maintenance on Road Users. IXTH PIARC International Winter Road Congress, Seefeld, S. 429

HANKE, H. (1987): Stand und Entwicklung des kommunalen Winterdienstes. Der Städtetag 7. Stuttgart

HANKE, H. (1993): Winterdienst und Unfallgeschehen. Symposium Umweltgerechter Strassenbetrieb 3, Mitteilungen, Institut für Strassenbau und Strassenerhaltung, TU Wien, S. 37

HANKE, H. (1993): Abstumpfende Stoffe - ein Allheilmittel? - Wirkung, Wiederaufnahme und Entsorgung von Streusplitt - Polizei, Verkehr und Technik 12, S.377-378

HANKE, H. (1993a): Splitt im Strassenwinterdienst: Wiederaufnahme und Entsorgung. Der Städtetag 9, S. 631

HANKE, H. (1993b): Wiederaufnahme und Entsorgung von Streusplitt, Strassenbetriebsdienst, FGSV-Kolloquium in Darmstadt, FGSV

HANKE, H. (1994): Feuchtsalz-Streuung im Strassenwinterdienst - Einsparungsmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit. IXTH PIARC International Winter Road Congress, Seefeld, S. 447

HANKE, H: (1996): Neue Erkenntnisse und Empfehlungen zum differenzierten Winterdienst. Der Städtetag 1, S. 53

HOFFMANN, G.; DAMES, J.; BERGMANN, J. (1985a): Einfluss eines streusalzlosen Strassenwinterdienstes in Städten auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf, Teil I: Zum Kraftschlussangebot auf winterlichen Fahrbahnen bei Verwendung mineralischer Streustoffe. Strasse und Autobahnen 4/1985, S. 140-46

HOFFMANN, G.; GAST, J. (1985b): 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. (1985c): Einfluss eines streusalzlosen Strassenwinterdienstes in Städten auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf, Teil III: Erfahrungen aus dem Berliner Versuch in den Wintern 1980/81 und 1981/82. Strasse und Autobahn 6/1986, S. 242-251

HOFFMANN, G. (1986): Abstumpfende Streustoffe und Verkehrssicherheit. Strassenwinterdienst. Kolloquium in Darmstadt 1985. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Köln

KEMPE, K.H. (1985): Salzarmer Winterdienst in der Stadt Erlangen. Erfahrungsbericht und Vergleich mit anderen Städten. Stadt Erlangen, Vortrag 20.09.1985

KURZMANN, P. (1993): Fortschritte beim Korrosionsschutz, Rostschutz durch Autolacke, polizei verkehr technik, 12

LANDESHAUPTSTADT MÜNCHEN (1993): Wiederaufbereitung von Streusplitt. Baureferat - Tiefbau, Abt. Strassenbau T 2/GV

LANDESHAUPTSTADT MÜNCHEN (1996): Erfahrungsbericht über die Wiederaufbereitung von Streusplitt. Baureferat Tiefbau, Abt. Strassenunterhalt und -betrieb

LASKUS, L., BAKE, D., MÖLLER, M., KURA, J. (1991): Staubbelastung durch abstumpfende Streumittel (Quarzkiessplitt) an Strassen. Umweltbundesamt und Berliner Stadtreinigungsbetriebe

LEUCH, P. (1973): Die Winterkorrosion an Motorfahrzeugen. Schwärzräumung und Spikesreifen. 17. Vortragstagung ACS, Ed. Fragnière SA, Fribourg

MENZIES, T. (1992): National Cost of Damage to Infrastructure from highway deicing, Corrosion Forms and Control for Infrastructure, ASTM STP 1137, Victor Chaker, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia

Merkblatt FGSV (1985): Merkblatt für den Unterhaltungs- und Betriebsdienst an Strassen, Teil: Kommunaler Winterdienst. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Köln

MORITZ, K. (1984): Schwermetalle in abstumpfenden Streustoffen. Der Städtetag 1, S. 63-68

MORITZ, K. (1996): Aktuelle Fragen der Streustoffanwendung. Vortrag VKS-Aufbauseminar Kommunaler Winterdienst, Essen 3/96

MORITZ,K. (1998): Umweltauswirkungen abstumpfender Streustoffe im Winterdienst, Teil 1: Literaturanalyse. Bundesanstalt für Strassenwesen, Bergisch Gladbach

MÜLLER, H.-J. & KNOBLOCH, W. (1989): Kommunaler Winterdienst. Fortschrittliche Kommunalverwaltung, Deutscher Gemeindeverlag, Verlag W. Kohlhammer

OECD (1990): Reduzierter Einsatz von Auftaumitteln im Winterdienst. Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 583, Bundesministerium für Verkehr, Abt. Strassenbau, Bonn-Bad Godesberg

OECD (1988): Road Transport research. Durability of concrete road bridges. OECD, Paris

ÖBERG, G. AND GUSTAFSON, K. (1991): More effective de-icing with less salt. Final report of the MINSALT-Project, Summary, VTI rapport, Swedisch Road and Traffic Research Institute

PICHLER, W. (1987): Gedanken zu einer gesamtwirtschaftlichen Beurteilung des Winter dienstes. Strassen- und Tiefbau 41, 12, S. 5-8

REINEFARTH, P. (1996): Winterdienst auf Radwegen. Kommunaler Winterdienst Aufbauseminar, VKS, Dresden

REINEFARTH, P. (1996): Winterdienst auf Fussgängerquerungsbereichen. Kommunaler Winterdienst Aufbauseminar, VKS, Dresden

RUGE, U. (1972): Ursache des Strassenbaumsterbens und mögliche Gegenmassnahmen. Garten und Landschaft 82 (10), 456-458

SAGASSER, P. (1982): Nutzen- Kosten-Analyse einer Salzstreuung im Winter. Strassen- und Tiefbau, Hefte 11 und 12

SJÖGREN, H. & BJÖRNSTIG, U. (1989): Unintentional injuries among elderly people: Incidence, causes, severity and costs. Accid. Anal. & Prev. 21, S. 233-242

SJÖGREN, H. & BJÖRNSTIG, U. (1991): Injuries to the elderly in the traffic environment. Accid. Anal. & Prev. 23, S.77-86

STEINBAUER, W. (1994): Erfahrungen mit Streusplittrecycling in Wien. Symposium Umweltgerechter Strassenbetrieb 3, Mitteilungen, Institut für Strassenbau und Strassenerhaltung, TU Wien, S. 83

STOFFVERORDNUNG (1986): Verordnung über umweltgefährdende Stoffe vom 9. Juni 1986. Stand 1. Juli 1992. EDMZ, Bern

SCHNEEWOLF, R. (1991): Qualifizierung von Einflüssen und Einflussmöglichkeiten auf die Verkehrssicherheit bei Winterwitterung in Städten. Zeitschrift für Verkehrssicherheit 37 (1), S.2

SCHWEIZER NORM 640 727: Entsorgung im Strassenbetrieb, VSS Zürich, 1993

STATUSBERICHT STRASSENINSPEKTORAT (1994): Winterdienst, Zürich

TVA (1990): Technische Verordnung über Abfälle vom 10. Dezember 1990. EDMZ, Bern

VKS (1987): Differenzierter Winterdienst im kommunalen Bereich. Informationsschrift des Verbandes Kommunaler Städtereinigungsbetriebe (VKS), Heft 9, Köln

VKS (1997): Differenzierter Winterdienst im kommunalen Bereich. Informationsschrift des Verbandes Kommunale Abfallwirtschaft und Stadtreinigung (VKS), Köln

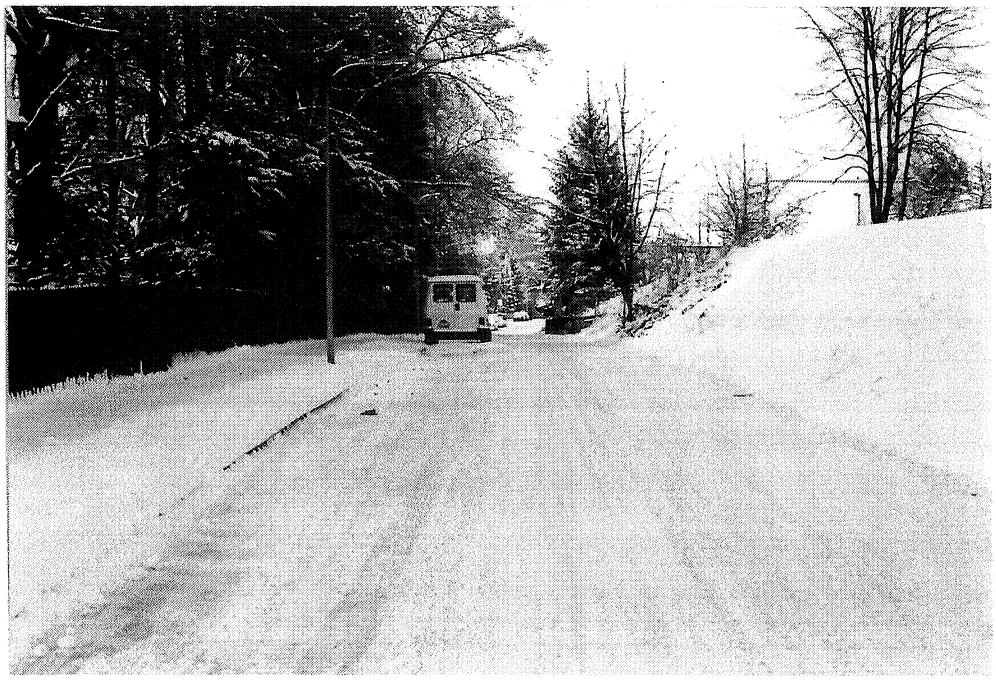
WAGNER, F.-J. (1989): Güteanforderungen an Streustoffe zur Glättebekämpfung im Strassenwinterdienst. Kolloquium Strassenwinterdienst der TH Darmstadt - November 1988, FGSV, Köln

WEHNER, B. (1960): Griffigkeitsmessungen auf winterglatten Fahrbahnoberflächen. Forschungsarbeiten aus dem Strassenwesen, Neue Folge, Heft 40, Bad Godesberg

WINTER, D.: Needs and problems of older drivers and pedestrians: An exploratory study with teaching/learning implications. Educat. Geront. 10, S. 135-146

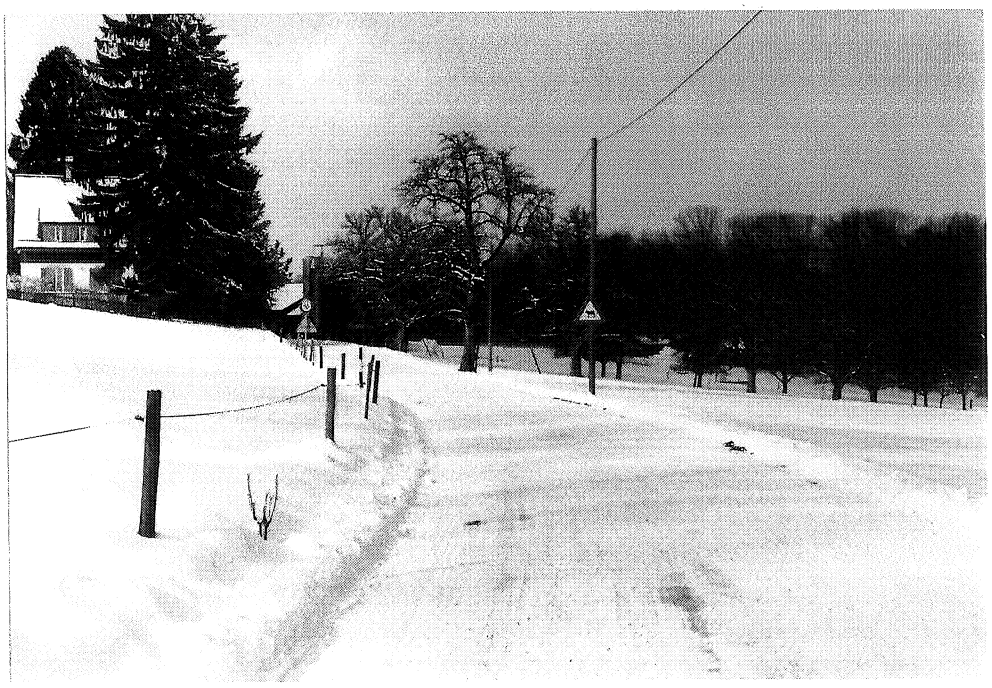
Stadt	Salz/ Splitt	Test-paar	Strasse	Länge m	Fläche m^2	Höhe m.ü.M	Durchschn. täglicher Verkehr (DTV)	Anzahl Schächte	Dring-lich-keits-stufe (DS)
Zürich	Salz Splitt	1	Restelbergstrasse Forsterstr., Billeterstr.	900 767	4 900 3 650	550 570	1 300 900	- 45	2 2
	Salz Splitt	2	Dreiwiesenstrasse Adlisbergstrasse	1 532 1 181	8 426 6731	620 650	3 700 900	- 42	1 2
	Salz Splitt	3	Dübendorfstrasse Altwiesenstrasse	1 912 1 359	14 722.4 7 474.5	435 429	6 300 1 700	- 81	1 2
	Salz Splitt	4	Baslerstrasse Eugen Huber-Strasse	1 625 1 209	14 425 10 076	410 413	8 300 2 400	- 84	1 2
Baden	Salz Splitt	1	Allmendstrasse Hägelerstrasse	970 875	5 617 4 550	481 493	2 400 700	- 30	1 2
	Salz Splitt	2	Im Roggebode Römerstrasse	835 671	4 008 3 829	350 382	560 4 000	- 36	2 2
Chur	Salz Splitt	1	Rheinstrasse Untere Plessurstrasse	1 050 1 180	7 875 6 195	572 572	2 935 1 360	- 38	- -
	Salz Splitt	2	Scalettastrasse Rossbodenstr. , Raschärenstr.	1 250 1 520	9 375 10 095	572 570	3 380 2 600	- 52	- -
	Salz Splitt	3	Dreibündenstr., Albulastr.	860	5 160	571	1 000	- 35	-
	Salz Splitt	4	Heroldstr., Segantinistr.	920	5 520	578	1 060	- 37	-

Restelbergstrasse



Forsterstrasse, Billeterstrasse
Strasse war frisch gesplittet

Dreiwiesenstrasse



Adlisbergstrasse
Strasse war frisch gesplittet

Dübendorfstrasse
nass, Trottoir matschig

Altwiesenstrasse
Neuschnee, noch nicht gesplittet, auf dem Trottoir befragte ältere Personen sind mit der Situation zufrieden.

Allmendstrasse

Hägelerstrasse
Strasse war nicht gesplittet

Quartierstrasse (Salzstreuung)

Quartierstrasse (Splittstreuung)

Formblatt

Salz- oder Splittstreuung im Winterdienst, VSS, Bundesamt für Strassenbau

DATENERHEBUNGEN ZUM WINTERDIENST 1996/97

Stadt: Strasse:

				Fahrzeug				Strassenzustand									Zeitaufwand (Min/Sek)					Menge				
Datum	Zeit	Schneehöhe (cm)	Anzahl Personen	Lastwagen	Traktor	Allzweck-Fz	Sonstige	Schnee	Pulverschnee	Nassschnee	Eisglätte	Reifglätte	Schneeglätte	Eisregen	Fahrbahn nass	Fahrbahn trocken	Schneeräumung	Splittstreuung	Salzstreuung	Splitt einsammeln Wischmaschine	Abtransport Splitt	gestreuter Splitt (g/m^2)	gestreutes Salz (g/m^2)	eingesamm.Splitt (m^3)	abtransp. Schnee Anzahl Lastwagen	Fahrweise (km/h)*
7.1.	10°°	15	2		X			X									2'/10''						10	1	1	30

* Fahrweise der Autofahrer: 50 km/h, 30 km/h, 10 km/h (ACHTUNG: 1 Std. nach dem Einsatz ausfüllen!)

RUS AG, Baden

Für die Kostenermittlung berücksichtigte Aktivitäten und Annahmen (Teststrassen)

Aktivitäten

Materialeinkauf (Salz, Neusplitt, Altsplitt)
Personal- und Fahrzeugkosten (inkl. Begleitpersonal) für:
- Schneeräumen
- Salzstreuen
- Splittstreuen
- Splitt einsammeln
- Splitt abtransportieren
- Schlammsammler(Schächte) leeren

bei Trottoir: nur Schneeräumen, Salzstreuen, Splittstreuen (das Einsammeln des Splitts erfolgt zusammen mit den angrenzenden Strassen)

Fahrzeuge/Aktivitäten	**Ansätze [Fr./Std]**
Lastwagen (Räumen;Streuen)	200.--/Std ; 159.--/Std
Traktor (Räumen;Streuen)	143.--/Std ; 114.--/Std
Allzweckfahrzeug (Räumen;Streuen)	130.--/Std ; 103.--/Std
Begleitpersonal	56.60/Std
Wischmaschine	130.--/Std
Lastwagen mit Greifer (Kiestransport) inkl. Begleitpersonal (in der Regel pro 3.5 m^3 Splitt: 1 h Aufladen und 1 h Abtransport)	135 + 21 + 56.60 = 212.60/h
Saugwagen (Schlammsammler) (Beobachtung: Schlamm enthält 20% Kies, Zeitaufwand pro Schacht 5', Entsorgungskosten nicht berücksichtigt)	260.--/Std
Abtransport (Zürich)	135 + 21 + 56.60 = 212.60/h
Abtransport Mulde (Chur)	30.50/m^3 (21.8/t)
Entsorgung Splitt (Chur)	130.00/t

Material	**Ansätze [Fr./t]**
Salz (inkl. verladen in Silo)	261.40/t
Neusplitt (inkl. verladen in Silo)	84.20/t
Recyclingsplitt (inkl. Gebühr KVA; Zürich)	182.50/t
Neu-/Recyclingsplitt 1:1 (Zürich)	133.35/t

zum Vergleich im Kanton Zürich:
- Inerstoffdeponie: Fr. 23.--/m^3 (16.5/t)
- Kehrrichtverbrennung: Fr. 216.--/m^3 (154.--/t)
- Reaktordeponie: Fr. 135.--/m^3 (96.5/t)

Weiteres

Strassenbreite 7 m Trottoirbreite 2.5 m

Salz- oder Splittstreuung im Winterdienst, VSS, Bundesamt für Strassenbau

Formblatt

DATENERHEBUNGEN ZUM WINTERDIENST 1996/97

Stadt: **Trottoir (Strasse):**

				Fahrzeug				Trottoirzustand									Zeitaufwand (Min/Sek)					Menge				
Datum	Zeit	Schneehöhe (cm)	Anzahl Personen	Kleintraktor	Pony	Einachstraktoren	Handarbeit	Schnee	Pulverschnee	Nassschnee	Eisglätte	Reifglätte	Schneeglätte	Eisregen	Fahrbahn nass	Fahrbahn trocken	Schneeräumung	Splittstreuung	Salzstreuung	Splitt einsammeln Wischmaschine	Abtransport Splitt	gestreuter Splitt (g/m^2)	gestreutes Salz (g/m^2)	eingesamm.Splitt (m^3)	abtransp. Schnee Anzahl Lastwagen	Verhalten*
7.1.	10°°	15	2		X			X									2'/10''						10	1	1	V

* Fortbewegung der Fussgänger: N = normal, V = vorsichtig (ACHTUNG: 1 Std. nach dem Einsatz ausfüllen!)

RUS AG, Baden

Stadt	Salz/ Splitt	Test-paar	Trottoir bei	Länge m	Fläche m^2	Höhe m.ü.M	Anzahl Ein-sätze	Bemerkungen
Zürich	Salz Splitt	1	Restelbergstrasse Forsterstr., Billeterstr.	900 994	1 530 1 816	550 570	16 19	Handarbeit 130 m
	Salz Splitt	2	Witikonerstrasse	1 020	2 346	590	15	
	Salz Splitt	3	Dübendorfstrasse Altwiesenstrasse	3 708 2 588	10 374 5 167	435 429	19 21	geringe Breite: von Hand geräumt und gesplittet
	Salz Splitt	4	Baslerstrasse Eugen Huber-Strasse	2 987 2 412	9 706 7 478	410 413	5 8	
Baden	Salz Splitt	1	Allmendstrasse Hägelerstrasse	970 875	2 425 2 187	481 493	7 4	
	Salz Splitt	2	Im Roggebode Römerstrasse	835 671	2 087 1 677	350 382	1 1	
Chur	Salz Splitt	1	Rheinstrasse Untere Plessurstrasse	1 287 764	3 217 2 292	573 573	7 7	
	Salz Splitt	2	Scalettastrasse Rossbodenstr. , Raschärenstr.	1 229 1 301	2 704 3 513	573 571	7 7	
	Salz Splitt	3	Dreibündenstr., Albulastr.	803	2 007	571	7	
	Salz Splitt	4	Heroldstr., Segantinistr.	673	1 682	579	7	

Zürich, Forster-Billeterstr., Teststr. 1, Splitt

Forster-Billeterstr. (Länge 765 m, Fläche 3650 m2, Schächte 45)																			Kosten			
Datum, Uhrzeit	Schneehöhe [cm]	Fahrzeug	Schnee-räumen [Min.]	Splitt-streuen [Min.]	Salz-streuen [Min.]	gestr. Splitt [g/m2]	gestr. Salz [g/m2]	Fahrweise	Sicherheit	Splitt [Kg]	Splitt/km [kg] (bei 7 m Breite)	Salz [Kg]	Salz/km [kg] (bei 7 m Breite)	Einsam-meln [Min.]	eing.Splitt [m3]	Räumung [Fr.]	Streuung [Fr.]	Begleit-person [Fr.]	Material [Fr.]	Einsamm eln [Fr.]	Total [Fr.]	Kosten/km [Fr.] (bei 7 m Breite)
										3650												
21.11.96 19:45	Eisglätte	A	2.50				5	V	2	0.00	0.00	18.25	35.00			5.42	0.00		4.77	0.00	10.19	19.54
23.11.96 21:00	5	A	5.00					V	2	0.00	0.00	0.00	0.00			10.83	0.00		0.00	0.00	10.83	20.78
24.11.96 07:00	5	A	5.00					V	2	0.00	0.00	0.00	0.00			10.83	0.00		0.00	0.00	10.83	20.78
25.11.96 08:00	Eisglätte	A	2.50				5	V	2	0.00	0.00	18.25	35.00			5.42	0.00		4.77	0.00	10.19	19.54
28.11.96 07:00	10	L	6.00			80		V	2	292.00	560.00	0.00	0.00			20.00	0.00		38.94	0.00	58.94	113.03
29.11.96 20:00	10	L	6.00					V	2	0.00	0.00	0.00	0.00			20.00	0.00		0.00	0.00	20.00	38.36
30.11.96 08:00	Nassschnee	A	5.00					V	2	0.00	0.00	0.00	0.00			10.83	0.00		0.00	0.00	10.83	20.78
30.12.96 10:00	7	A	2.50	2.50		80		Z	1	292.00	560.00	0.00	0.00			5.42	0.00		38.94	0.00	44.35	85.06
31.12.96 08:00	4	A	6.00					Z	1	0.00	0.00	0.00	0.00			13.00	0.00		0.00	0.00	13.00	24.93
31.12.96 11:00	1	A (2Pers.)		3.00		80		V	2	292.00	560.00	0.00	0.00			0.00	5.15	2.83	38.94	0.00	52.07	99.86
03.01.97 10:00	Schneeglätte	A (2Pers.)		3.00		80		V	2	292.00	560.00	0.00	0.00			0.00	5.15	2.83	38.94	0.00	52.07	99.86
04.01.97 10:00	2	A		3.00		80		V	2	292.00	560.00	0.00	0.00			0.00	5.15		38.94	0.00	49.24	94.43
10.01.97 08:00	0.5	A (2Pers.)		3.00		80		V	2	292.00	560.00	0.00	0.00			0.00	5.15	2.83	38.94	0.00	52.07	99.86
11.01.97 10:00	Eisglätte	A		3.00		50		V	2	182.50	350.00	0.00	0.00			0.00	5.15		24.34	0.00	34.64	66.43
20.01.97 08:00	Eisglätte	A		3.00		50		V	2	182.50	350.00	0.00	0.00			0.00	5.15		24.34	0.00	34.64	66.43
25.01.97 08:30	Eisglätte	A		3.00		50		V	2	182.50	350.00	0.00	0.00			0.00	5.15		24.34	0.00	34.64	66.43
17.02.97 10:00		2Pers.							0	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	0.75		0.00	18.87	0.00	43.33	62.20	119.29
17.02.97 10:00		2Pers.							0	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00			0.00	14.15	0.00	32.50	46.65	89.47
20.02.97 10:00		2Pers.							0	0.00	0.00	0.00	0.00	45.00	0.75		0.00	42.45	0.00	97.50	139.95	268.40
Schächte																				195.00	195.00	373.97
Abtransport Kies																				212.60	212.60	407.73
Total			40.50	23.50	0.00	630.00	10.00		1.88	2'299.50	4'410.00	36.50	70.00	80.00	1.50	101.75	36.05	83.96	316.18	580.93	1'154.92	2'214.91
Anzahl Schneet	9																					
Anzahl Eis, Sch	7																					

Zürich, Forster-Billeterstr., Teststr. 1, Splitt

Forster-Billeterstr. (Länge 994 m, Fläche 1816 m2)												Kosten						
Datum, Uhrzeit	Schneehöhe [cm]	Fahrzeug	Schnee-räumen [Min.]	Splitt-streuen [Min.]	gestr. Splitt [g/m2]	Verhalten	Sicherheit	Splitt [Kg]	Splitt/km [kg] (bei 2.5 m Breite)	Einsam-meln [Min.]	eing.Splitt [m3]	Räumung [Fr.]	Streuung [Fr.]	Begleit-person [Fr.]	Material [Fr.]	Einsamm eln [Fr.]	Total [Fr.]	Kosten/km [Fr.] (bei 2.5 m Breite)
								1816										
23.11.96 20:00	5	P	14.00			N	2	0.00	0.00			20.30	0.00		0.00	0.00	20.30	27.95
24.11.96 07:30	5	P	14.00	14.00	80	V	1	145.28	200.00			20.30	0.00		19.37	0.00	39.67	54.62
24.11.96 08:00	5	H	180.00	30.00	80	N	2	145.28	200.00			169.80	0.00		19.37	0.00	189.17	260.43
25.11.96 07:30	Eisglätte	P		10.00	60	N	2	108.96	150.00			0.00	14.50		14.53	0.00	29.03	39.96
28.11.96 07:30	10	H	210.00	30.00	60	V	1	108.96	150.00			198.10	0.00		14.53	0.00	212.63	292.72
28.11.96 10:00	10	P	15.00	15.00	80	V	1	145.28	200.00			21.75	0.00		19.37	0.00	41.12	56.61
29.11.96 20:00	10	P	15.00	15.00	80	N	2	145.28	200.00			21.75	0.00		19.37	0.00	41.12	56.61
30.11.96 07:30		H	90.00			N	2	0.00	0.00			84.90	0.00		0.00	0.00	84.90	116.88
30.11.96 08:00		P	14.00			N	2	0.00	0.00			20.30	0.00		0.00	0.00	20.30	27.95
30.12.96 11:00	7	P	14.00	14.00	80	V	1	145.28	200.00			20.30	0.00		19.37	0.00	39.67	54.62
30.12.96 14:00		H (2 Pers.)	90.00			V	1	0.00	0.00			84.90	0.00	84.90	0.00	0.00	169.80	233.76
31.12.96 08:00	4	H (2 Pers.)	180.00	30.00	80	V	1	145.28	200.00			169.80	0.00	169.80	19.37	0.00	358.97	494.18
31.12.96 08:00	4	P	14.00	14.00	80	V	1	145.28	200.00			20.30	0.00		19.37	0.00	39.67	54.62
03.01.97 10:00	Schneeglätte	P		14.00	80	V	1	145.28	200.00			0.00	20.30		19.37	0.00	39.67	54.62
10.01.97 08:00	1	P		14.00	80	V	1	145.28	200.00			0.00	20.30		19.37	0.00	39.67	54.62
10.01.97 08:00	1			30.00	80	V	1	145.28	200.00						19.37	0.00	19.37	26.67
17.02.97 00:00		P					0	0.00	0.00	15.00	0.50	0.00	0.00		0.00	32.50	32.50	44.74
17.02.97 00:00		H (2 Pers.)					0	0.00	0.00	15.00		0.00	0.00	14.15	0.00	32.50	46.65	64.22
20.02.97 00:00		H (2 Pers.)					0	0.00	0.00	30.00	0.13	0.00	0.00	28.30	0.00	65.00	93.30	128.44
Total			850.00	230.00	920.00		1.38	1'670.72	2'300.00	60.00	0.63	852.50	55.10	297.15	222.79	130.00	1'557.54	2'144.19
Anzahl Schneet	11																	
Anzahl Eis, Sch	2																	

Vorschriften der Stoffverordnung

Die Stoffverordnung (9. Juni 1986) schreibt die allgemeine Sorgfaltspflicht im Umgang mit Stoffen, die die Umwelt oder den Menschen gefährden können (Art. 9). Dabei "dürfen Stoffe nur soweit in die Umwelt ausgebracht werden, als dies für den angestrebten Zweck erforderlich ist" (Art. 10).

Im Anhang 4.6 der Stoffverordnung gelten bezüglich Verwendung von Auftaumittel im öffentlichen Winterdienst folgende Restriktionen (Abs.32):

"Auftaumittel dürfen im öffentlichen Winterdienst:
a. nur verwendet werden, wenn sich abstumpfende Mittel wie Splitt und Sand zur Bekämpfung von Glatteis und Schneeglätte nicht eignen;
b. nur verwendet werden, wenn der Schnee vorher mechanisch geräumt wird;
c. nur auf Gehwegen, Treppen, Verkehrsinseln oder anderen schlecht zugänglichen Orten von Hand gestreut werden;
d. nur bei kritischen Wetterlagen vorbeugend verwendet werden."

Zudem müssen die Kantone dafür sorgen, dass *"Routenverzeichnisse erstellt werden, in denen festgehalten wird, wo Auftaumittel verwendet dürfen und wie sie auszubringen sind"* (Stoffverordnung, Anhang 4.6, Abs. 32).

Definition der Dringlichkeitsstufen in Zürich

Sowohl für die Schneeräumung, einschliesslich der Schneeabfuhr, wie auch für die Bekämpfung der Winterglätte sind die Strassen in Dringlichkeitsstufen eingeteilt. Dabei gilt:

Dringlichkeitsstufe 1

- Hauptverkehrs- und Hauptstrassen
- Strassen mit öffentlichen Verkehrsmitteln
- Steilstrecken
- öffentliche Strassen zu Bahnhöfen, Spitälern, Sanitätsposten, Polizei- und Feuerwehrgebäuden sowie zu Industrieanlagen mit starkem Verkehr
- wichtige Haltestellen von öffentlichen Verkehrsmitteln
- wichtige Fussgängerverbindungen, Treppenanlagen und Radwege

Dringlichkeitsstufe 2

- Quartierstrassen, Rad-/Fussgängerverdingungen und Treppenanlagen zu Schulhäusern, Industrie- und Gewerbeanlagen, wichtige öffentliche Parkplätze

Dringlichkeitsstufe 3

Alle übrigen öffentlichen Strassen und Verkehrsflächen, die im Winter unterhalten werden müssen, sowie Privatstrassen, bei denen der betriebliche Unterhalt vertraglich geregelt ist.

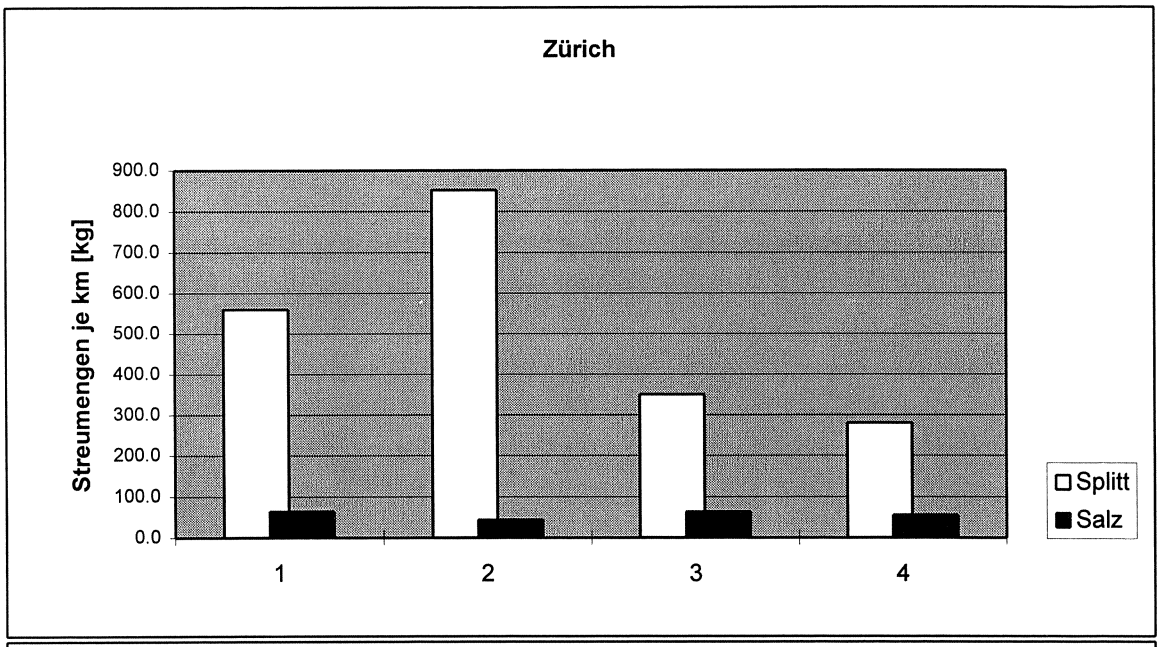
(Auszug aus Winterdienstanweisung, Tiefbauamt der Stadt Zürich, Strasseninspektorat, Ausgabe 1995)

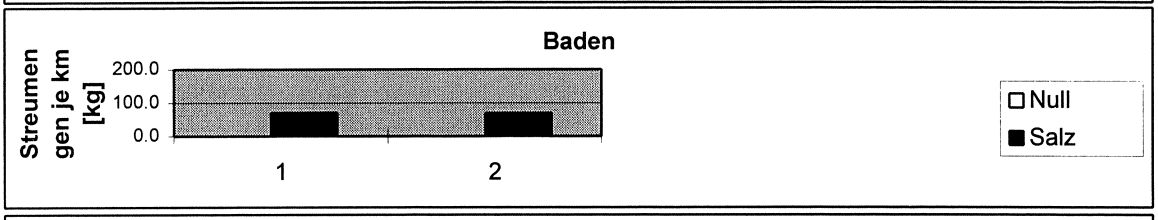
Informationen zu den betrachteten Strassen
1996

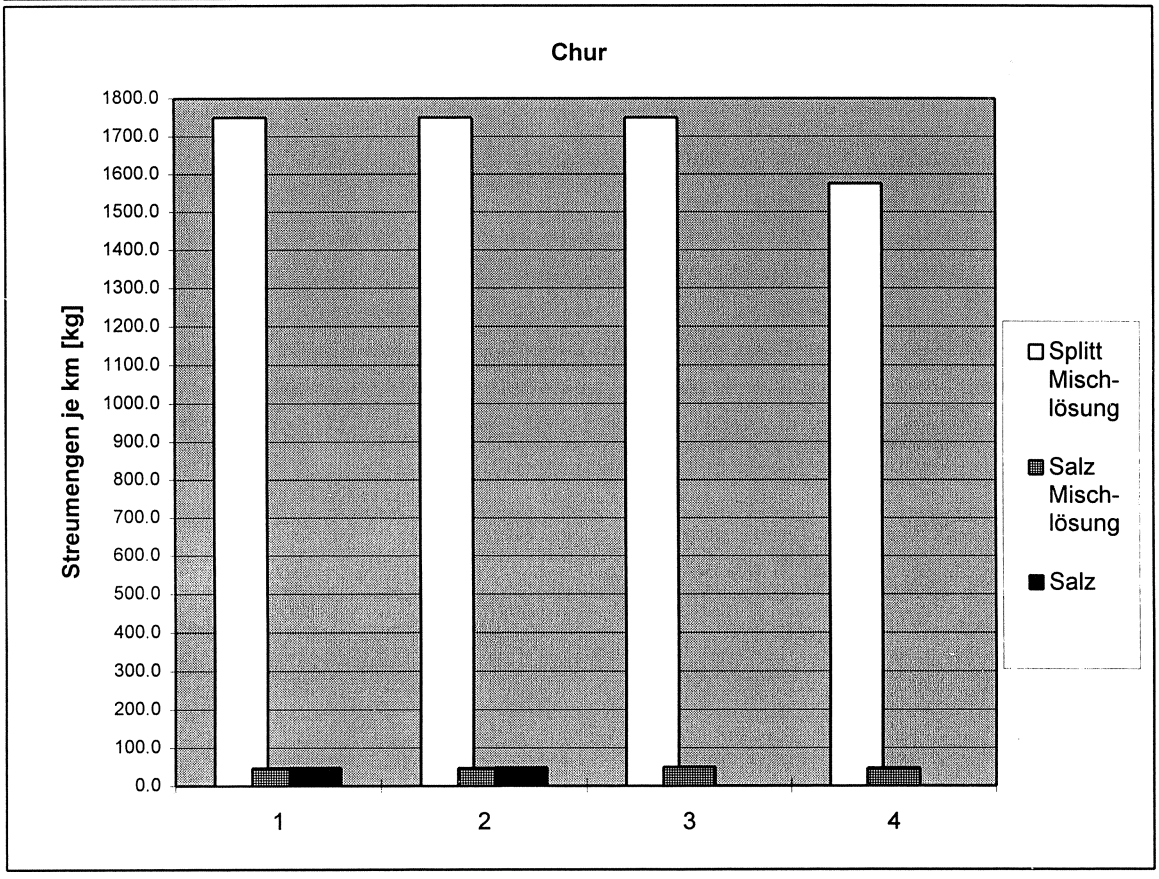
	Teststrasse 1		*Teststrasse 2*		*Teststrasse 3*		*Teststrasse 4*	
Zürich	Restelberg	Forster-Billeter	Dreiwiesen	Adlisberg	Dübendorf	Altwiesen	Basler	Eugen Huber
Anzahl Einsätze	21	25	48	25	17	11	10	6
Höhenlage	550	570	620	650	435	429	410	413
Baden	Allmend	Hägeler	Roggebode	Römer				
Anzahl Einsätze	19	4	10	7				
Höhenlage	481	493	350	382				
Chur	Rhein	Untere Plessur	Scaletta	Rossb.-Raschären	Dreibünden-Albula		Herold-Segantini	
Anzahl Einsätze	25	23	24	25	22		24	
Höhenlage	573	573	573	571	571		579	

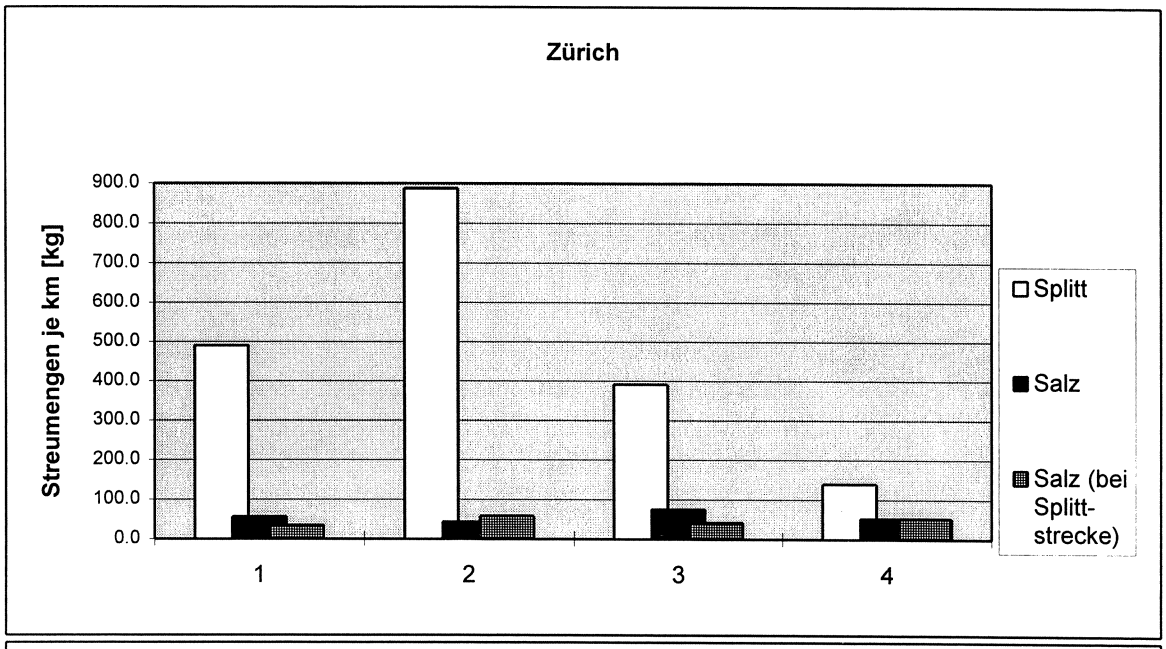
Informationen zu den betrachteten Strassen
1996/97

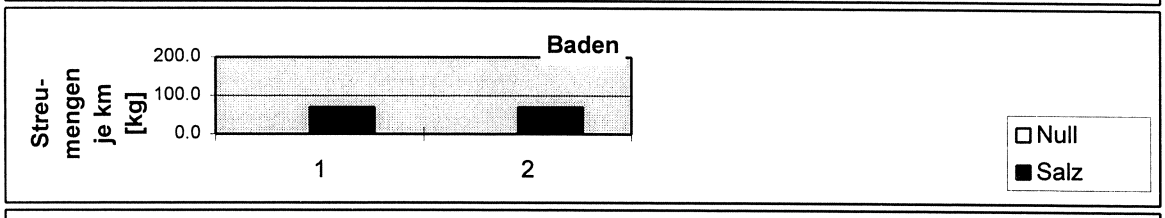
	Teststrasse 1		*Teststrasse 2*		*Teststrasse 3*		*Teststrasse 4*	
Zürich	Restelberg	Forster-Billeter	Dreiwiesen	Adlisberg	Dübendorf	Altwiesen	Basler	Eugen Huber
Anzahl Einsätze	21	19	40	24	21	13	8	9
Höhenlage	550	570	620	650	435	429	410	413
Baden	Allmend	Hägeler	Roggebode	Römer				
Anzahl Einsätze	17	4	7	3				
Höhenlage	481	493	350	382				
Chur	Rhein	Untere Plessur	Scaletta	Rossb.-Raschären	Dreibünden-Albula		Herold-Segantini	
Anzahl Einsätze	30	21	36	30	19		30	
Höhenlage	573	573	573	571	571		579	

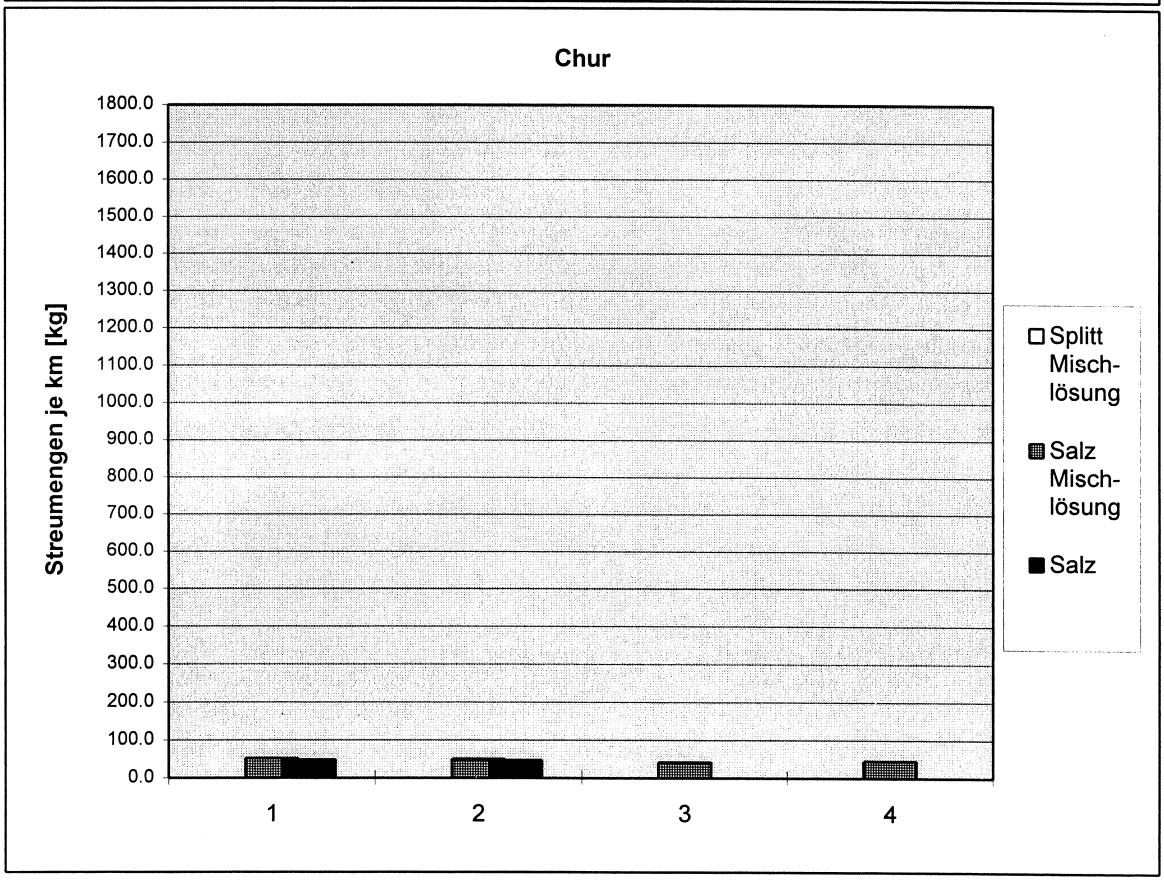

Zürich
Streumengen je km [kg]
900.0
800.0
700.0
600.0
500.0
400.0
300.0
200.0
100.0
0.0
1
2
3
4
Splitt
Salz


Baden
Streumen gen je km [kg]
200.0
100.0
0.0
1
2
Null
Salz


Chur
Streumengen je km [kg]
1800.0
1700.0
1600.0
1500.0
1400.0
1300.0
1200.0
1100.0
1000.0
900.0
800.0
700.0
600.0
500.0
400.0
300.0
200.0
100.0
0.0
1
2
3
4
Splitt Misch-lösung
Salz Misch-lösung
Salz



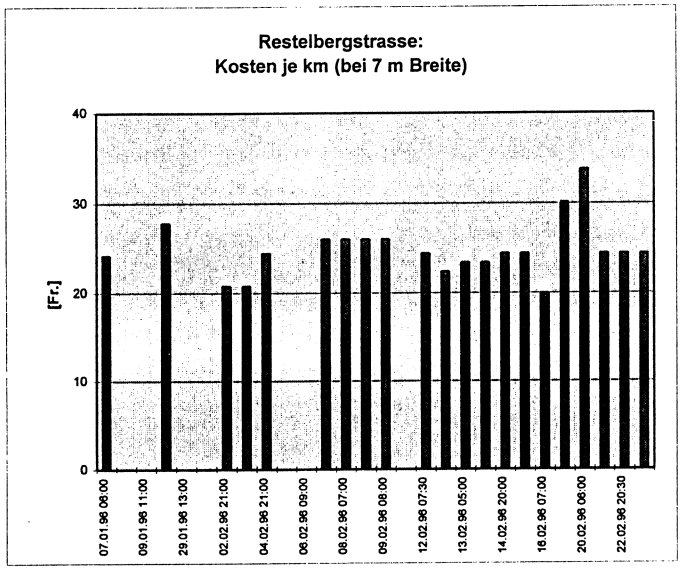


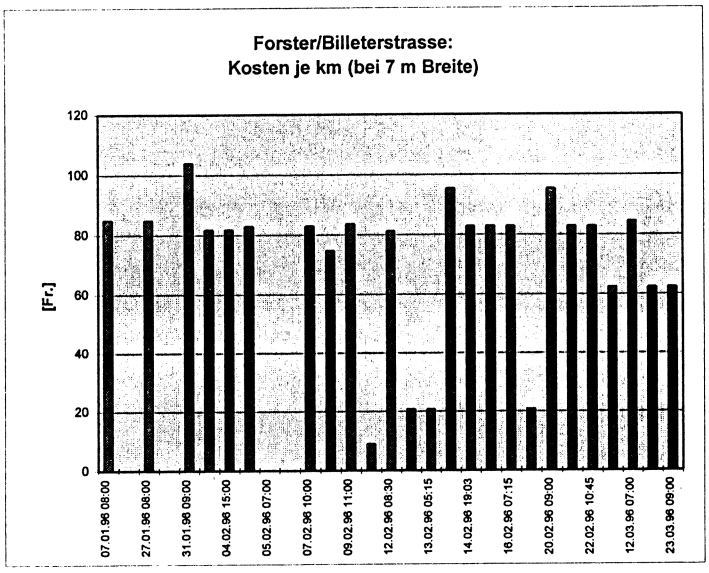


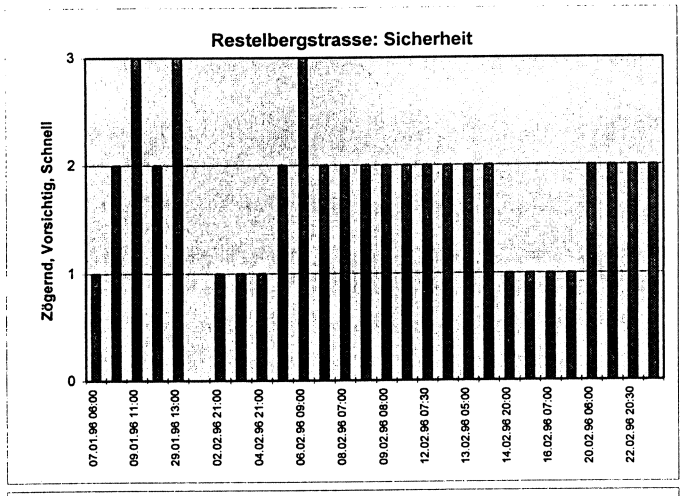
DAT. 01.09.97	VIS.	STREUMENGEN JE EINSATZ/WINTER 96/97	RUS AG, BADEN

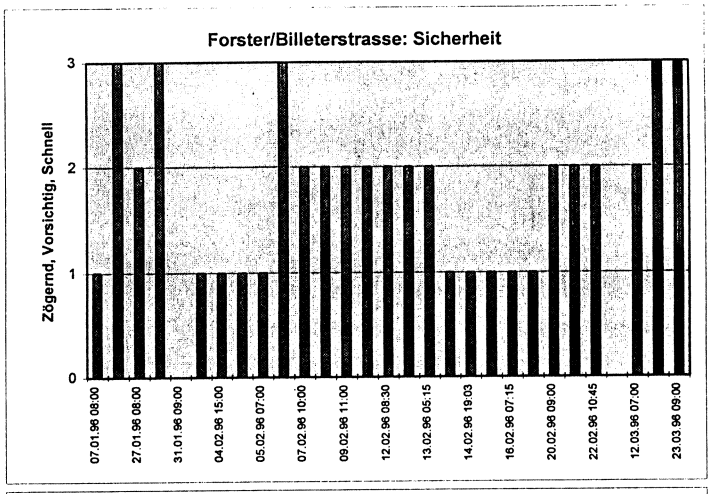
Zürich, Teststr. 1 (Restelbergstr. - Forster-Billeterstr.)

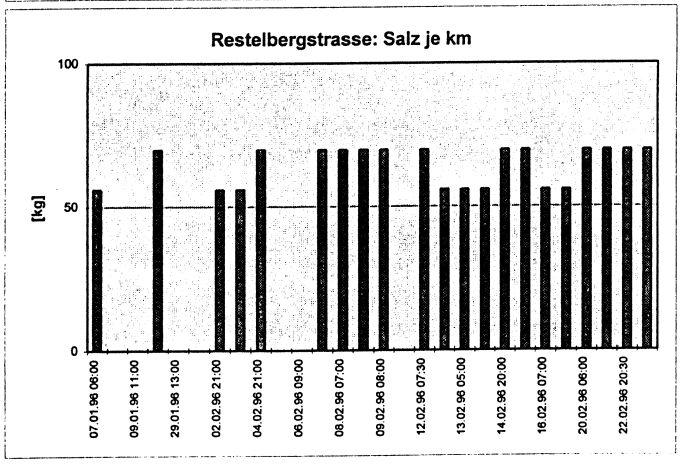
Salz | **Splitt**

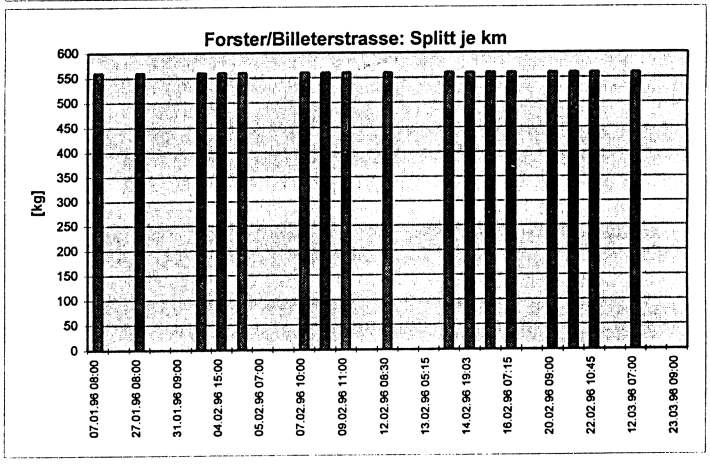




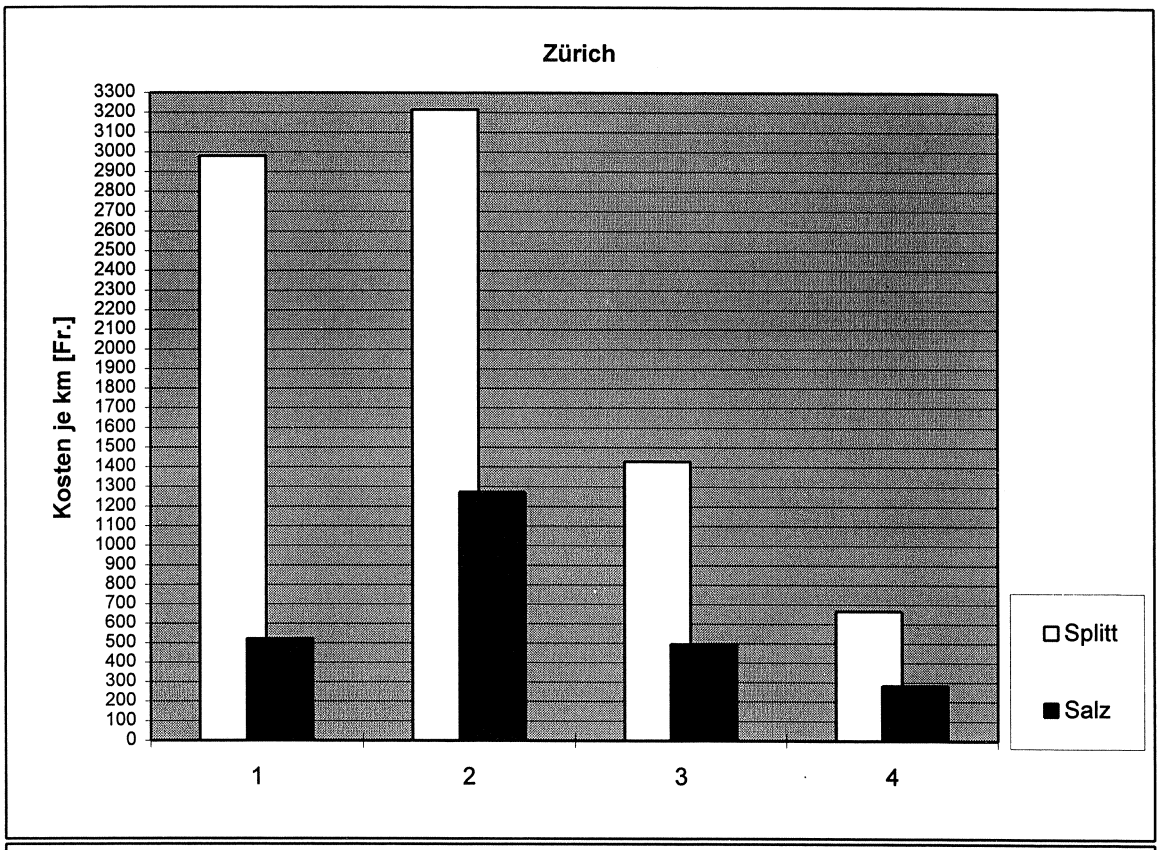


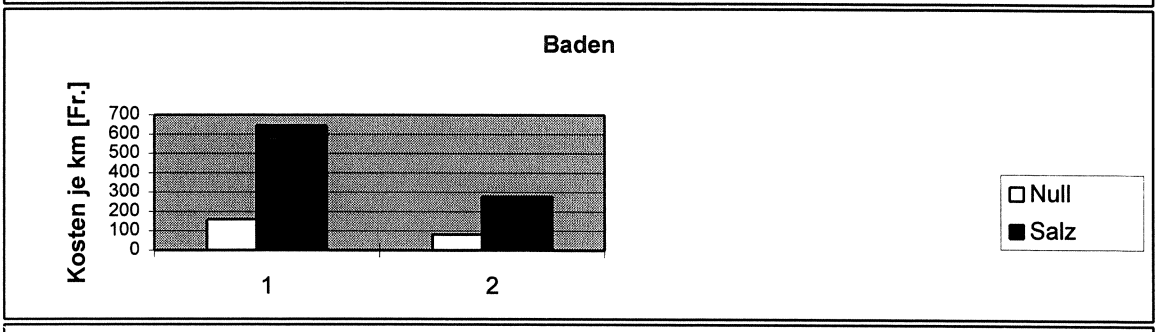


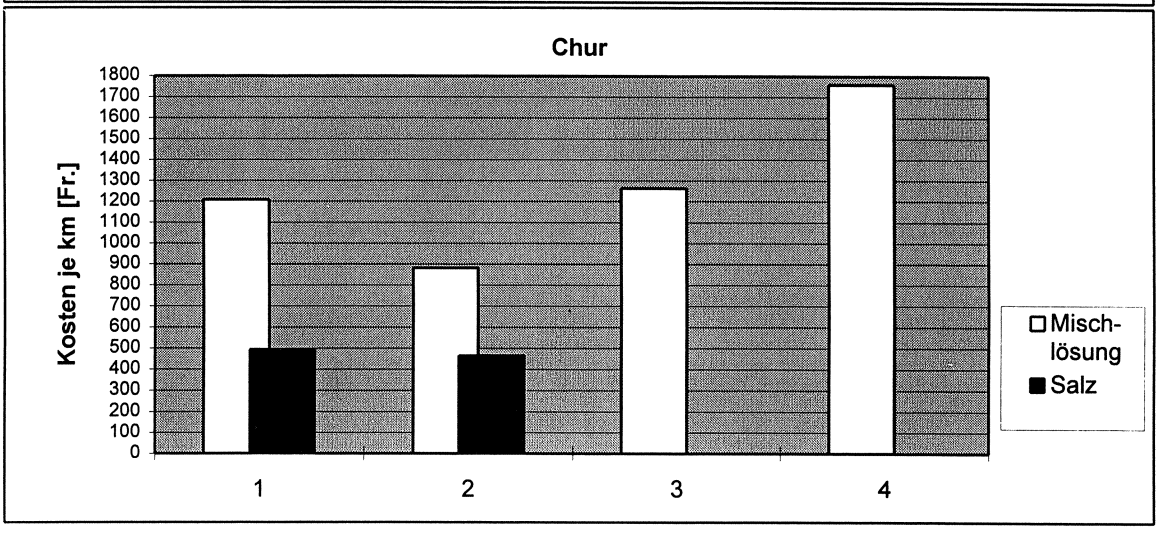


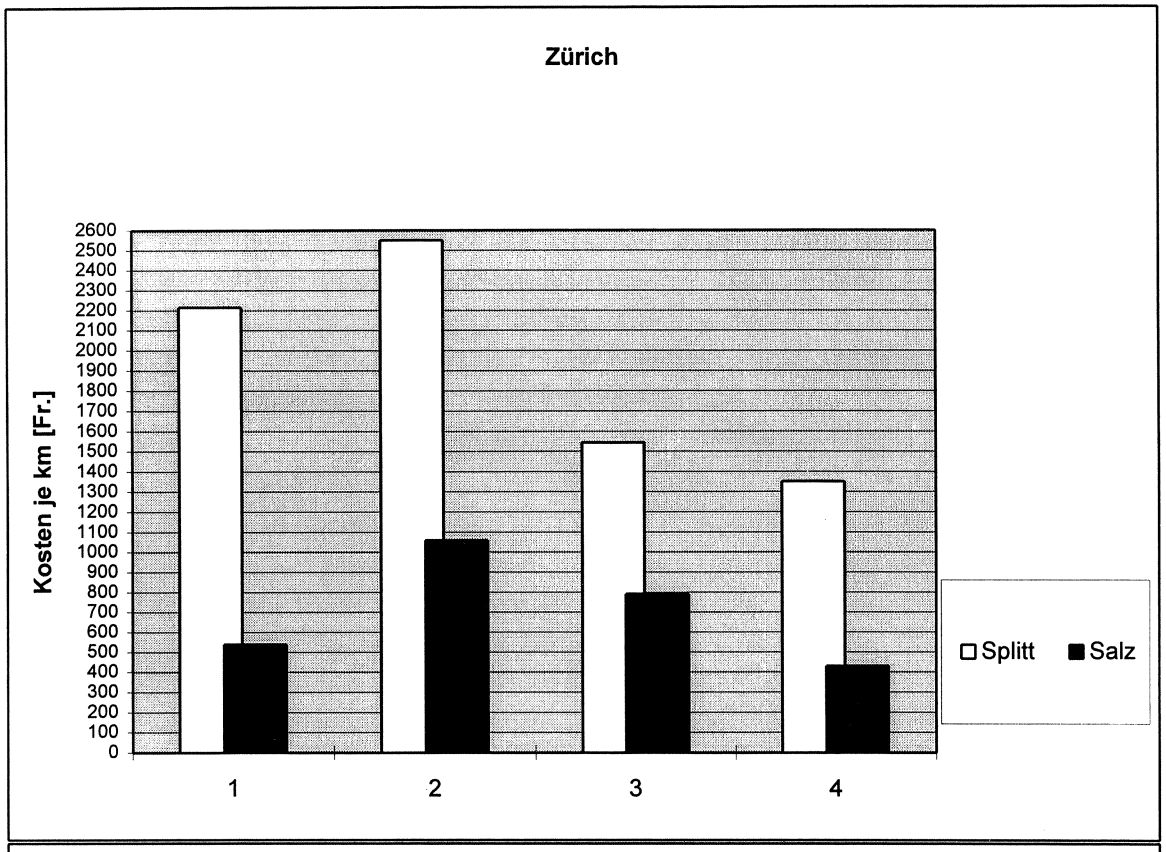


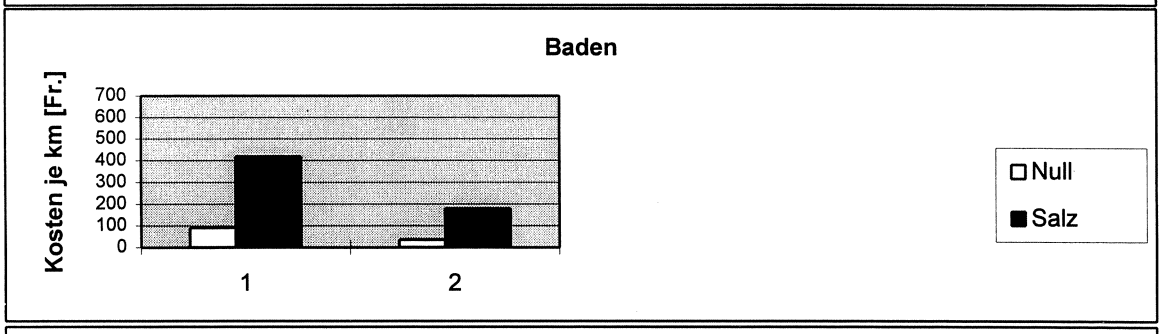
DAT. 01.09.97	VIS.	BEISPIEL EINER AUSWERTUNG DER GESCHÄTZEN FAHRGESCHWINDIGKEITEN (WINTER 1996)	RUS AG, BADEN

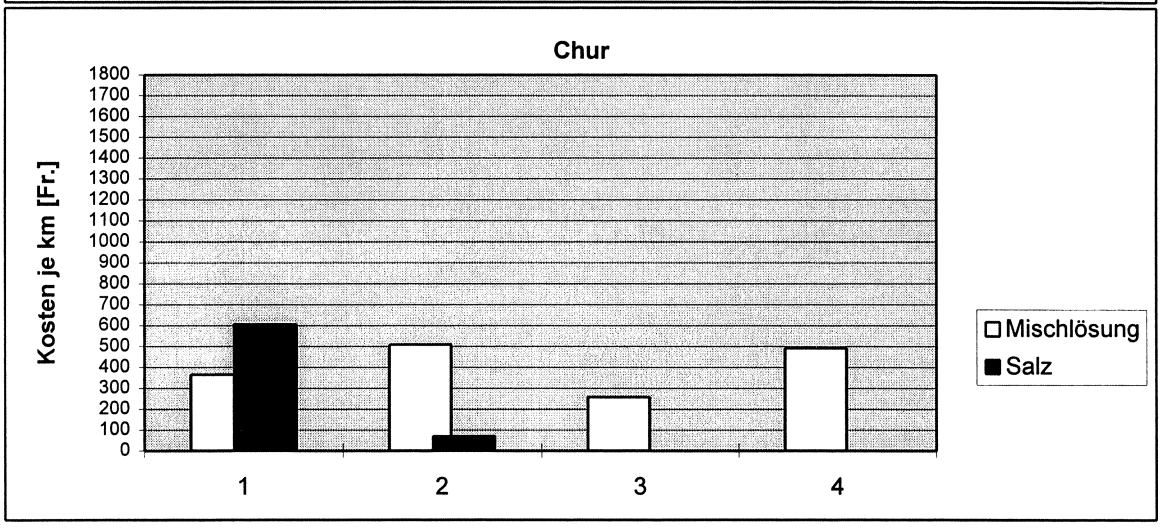

Zürich
Kosten je km [Fr.]
3300
3200
3100
3000
2900
2800
2700
2600
2500
2400
2300
2200
2100
2000
1900
1800
1700
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
1
2
3
4
Splitt
Salz


Baden
Kosten je km [Fr.]
700
600
500
400
300
200
100
0
1
2
Null
Salz


Chur
Kosten je km [Fr.]
1800
1700
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
1
2
3
4
Misch-
lösung
Salz

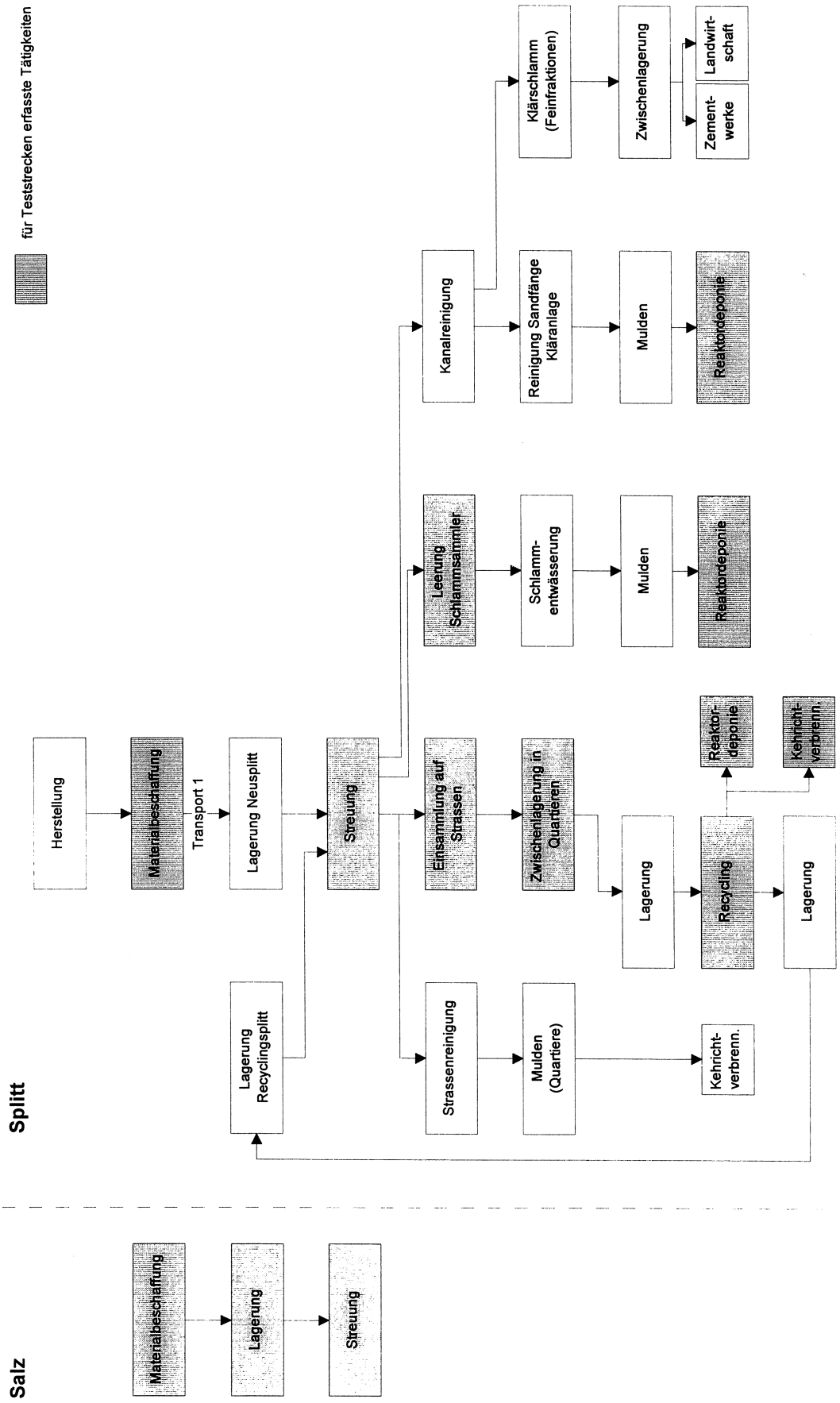

Zürich
Kosten je km [Fr.]
2600
2500
2400
2300
2200
2100
2000
1900
1800
1700
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
1
2
3
4
Splitt
Salz


Baden
Kosten je km [Fr.]
700
600
500
400
300
200
100
0
1
2
Null
Salz


Chur
Kosten je km [Fr.]
1800
1700
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
1
2
3
4
Mischlösung
Salz

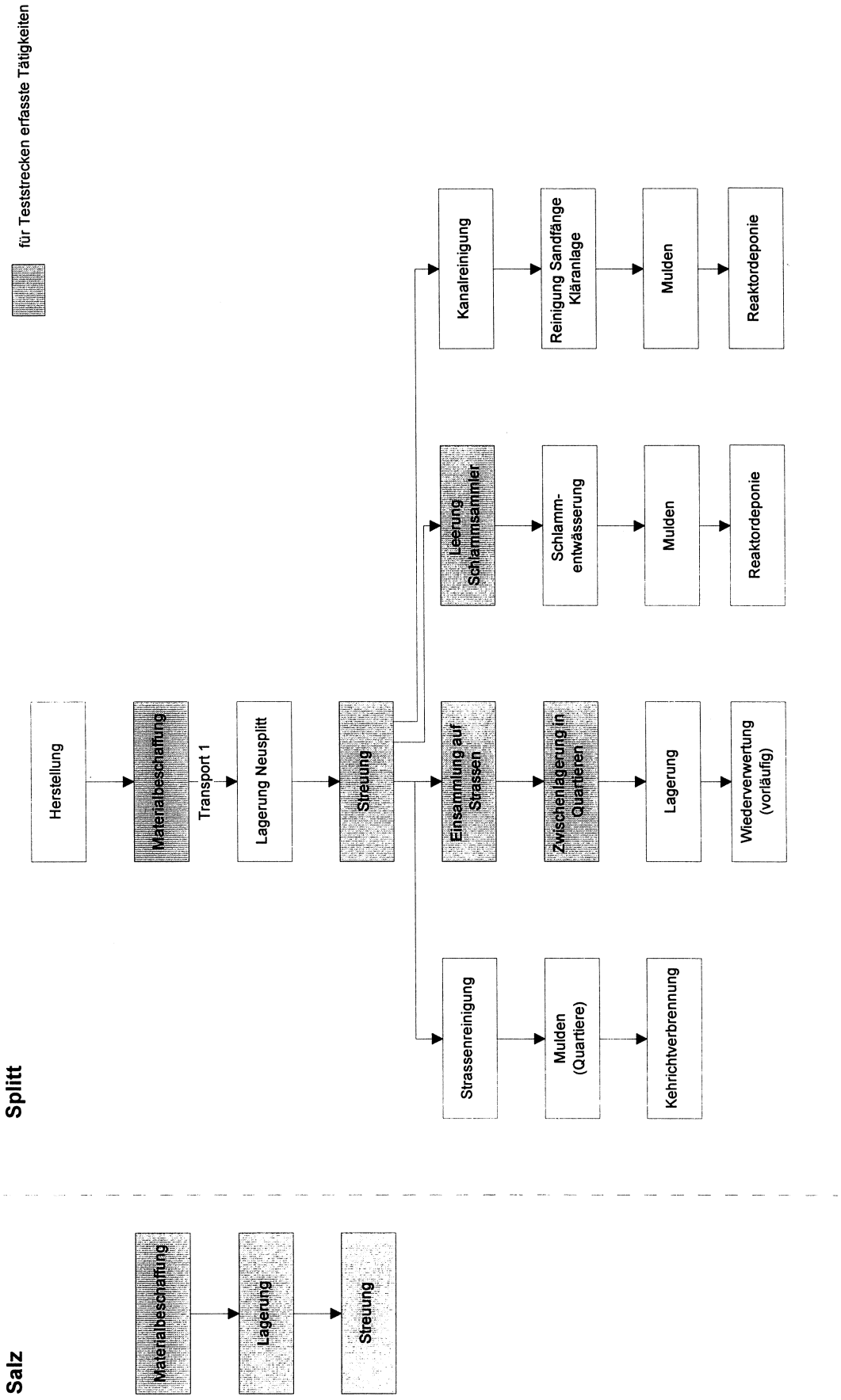
Zürich - Ablaufschema Winterunterhalt

Grundlage für Kostenermittlung



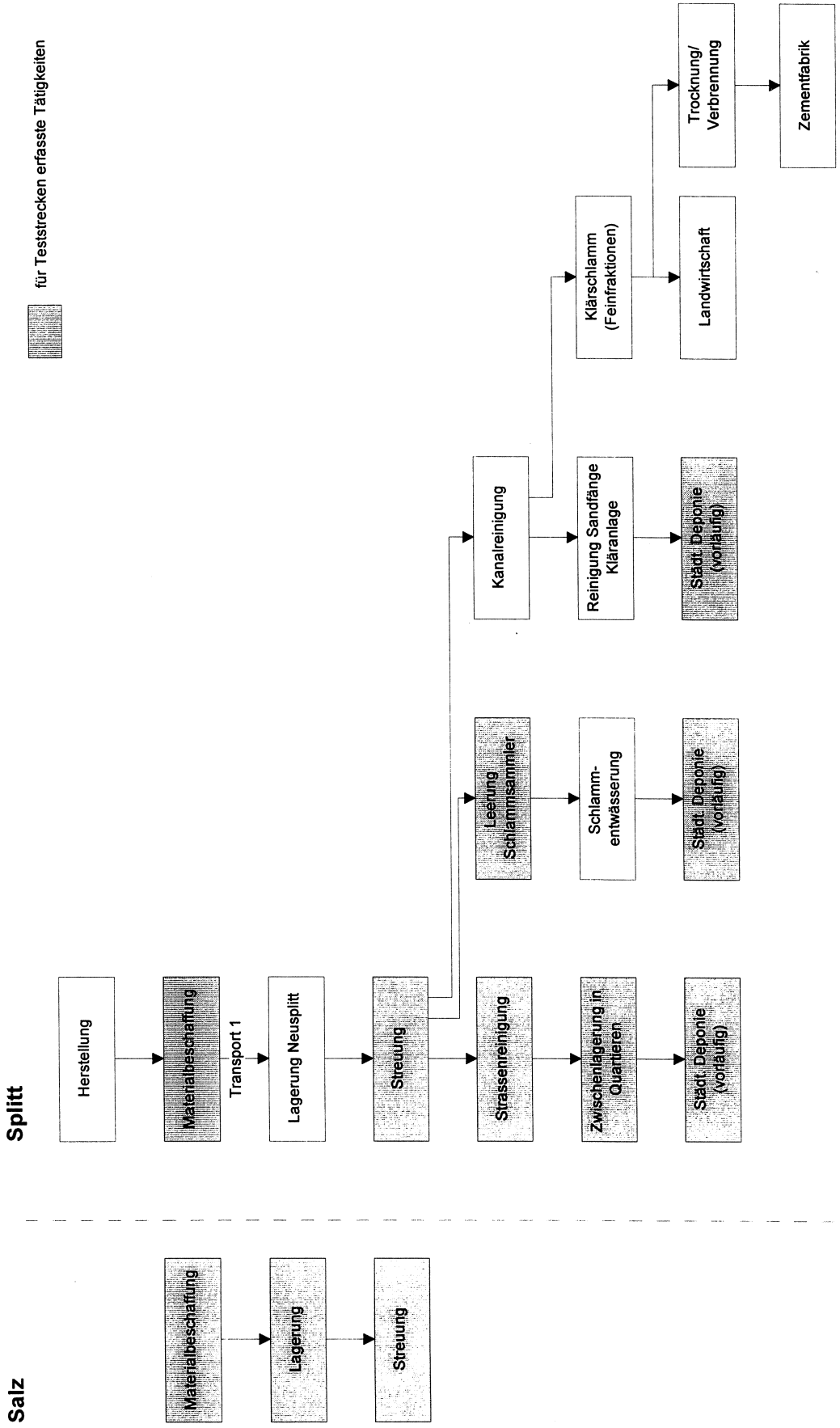
Baden - Ablaufschema Winterunterhalt

Grundlage für Kostenermittlung



Chur - Ablaufschema Winterunterhalt

Grundlage für Kostenermittlung



Anhang 1: Vereinfachte Ökobilanz Salz-/Splittstreuung

Bearbeitung: Laurent Reusser, EMPA St. Gallen

1 EINLEITUNG

Als Ergänzung zur vorliegenden Studie erstellte die EMPA St. Gallen in Zusammenarbeit mit der RUS AG eine Ökobilanz, die die Umweltauswirkungen von Salz- und Splittstreuung inklusive der damit zusammenhängenden Herstellungs- und Entsorgungsprozesse umfasst. Als Grundlage dienten die Erhebungen, die im Rahmen dieser Studie an der Restelbergstrasse (Salzstreuung) und der Forster-Billeter-Strasse (Splittstreuung) in Zürich im Winter 1996 (Januar - April) vorgenommen wurden. Die Angaben für Produktion, Transporte, Streuung, Einsammlung und Entsorgung wurden mit Hilfe der betroffenen Betriebe zusammengestellt. Die vorhandene Datenlage ermöglichte die Erstellung einer Ökobilanz, die eine Grobabschätzung der wichtigsten Umweltauswirkungen von Salz und Splitt im Winterstrassendienst umfasst.

2 ZIELSETZUNG UND UNTERSUCHUNGSRAHMEN

2.1 Ziel

Mit der Ökobilanz sollen die wesentlichen Umweltauswirkungen in der Herstellungs-, Anwendungs- und Entsorgungskette von Streumitteln im Winterdienst erfasst werden.

2.2 Funktionelle Einheit

Die Ökobilanzen werden für den Strassendienst eines Kilometers Strasse und eines Winters (Januar - April 1996) erstellt.

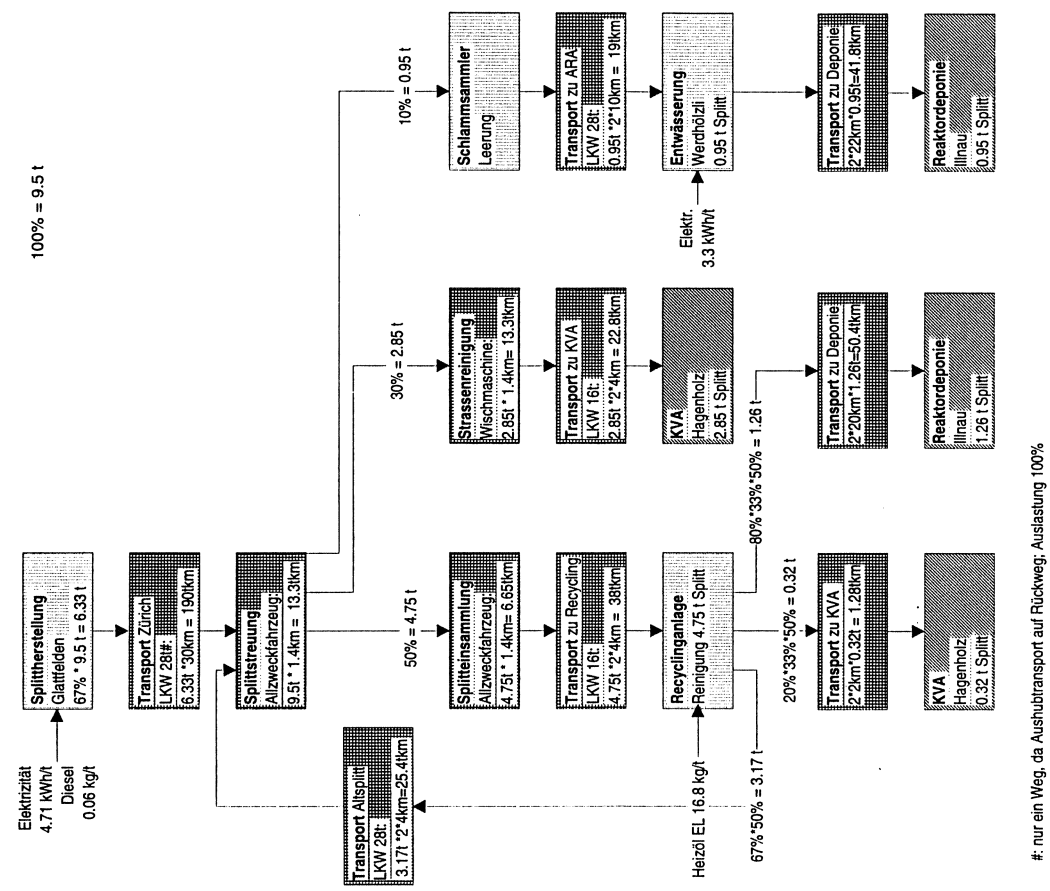
2.3 Systeme und Systemgrenzen

Folgende Systeme werden bilanziert, wobei beim Splitt für das wieder eingesammelte Gut drei Szenarien betrachtet wurden:

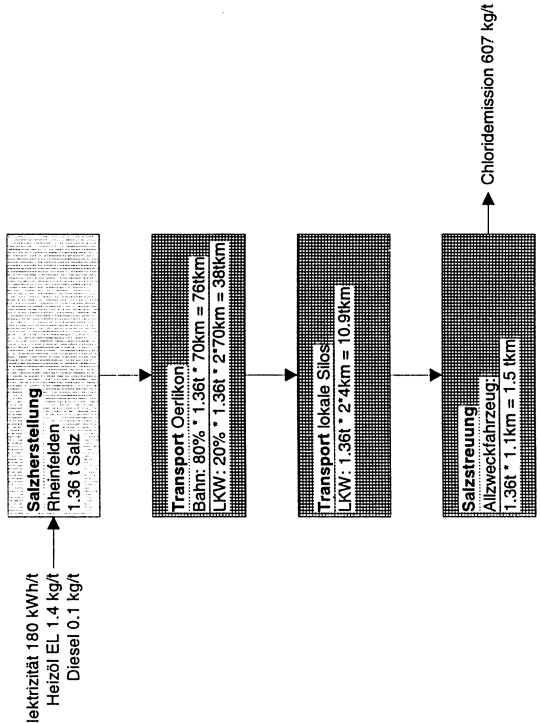
Streumittel	Szenario für eingesammelten Splitt
Salz	
Splitt	- Wiederaufbereitung mit mobiler Recyclinganlage - Aufbereitung zu Kies/Sand (Waschanlage) - Entsorgung in Reaktordeponie

Aus den Figuren 1 - 4 sind die erfassten Prozesse und Transporte ersichtlich. Grundsätzlich sind folgende Prozesse in der Bilanzierung eingeschlossen:

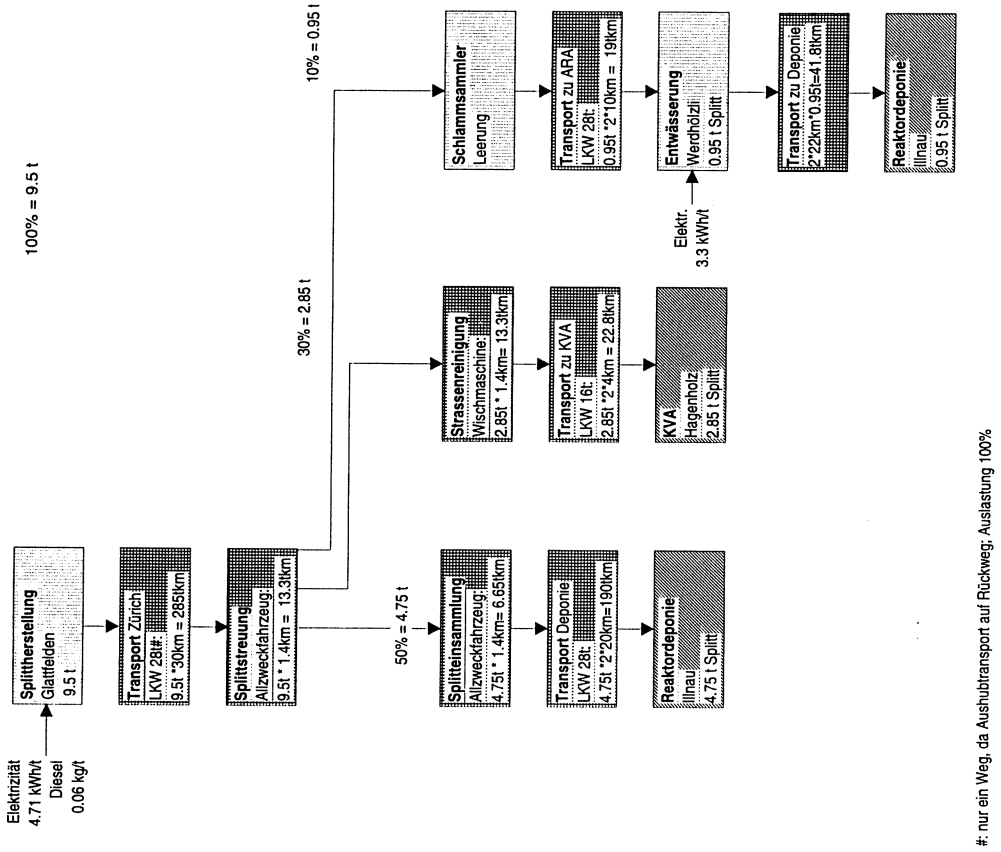
- Abbau und Herstellung der Streumittel
- Aufwendungen für die Streuung/Einsammlung
- Aufwendungen für das Recycling/Aufbereitung
- Aufwendungen für die Entsorgung
- alle Transporte
- Aufwendungen für die Energiebereitstellung



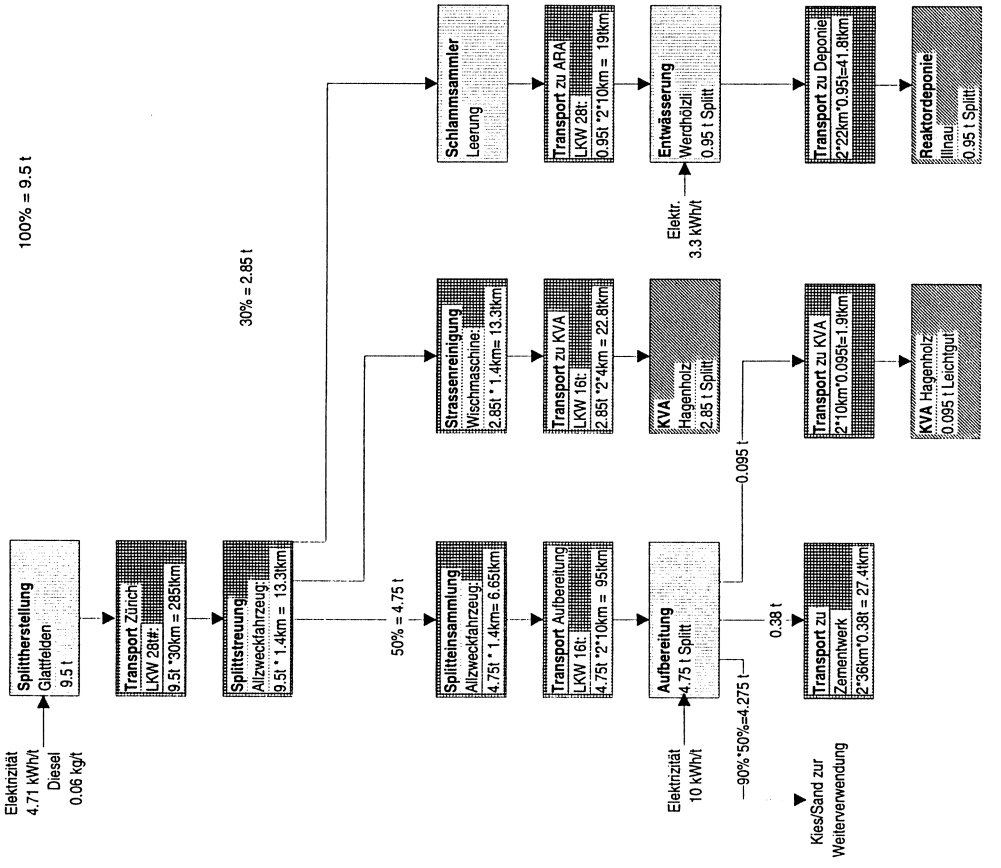
Figur 2: Systemgrenzen Splittstreuung
Szenario Mobile Recyclinganlage



Figur 1: Systemgrenzen Salzstreuung



Figur 4: Systemgrenzen Splittstreuung Szenario Reaktordeponie



Figur 3: Systemgrenzen Splittstreuung Szenario Aufbereitung zu Kies/Sand

2.4 Datenherkunft

Die verwendeten Daten stammen aus folgenden Quellen:

- Salzproduktion: Vereinigte Schweizerische Rheinsalinen AG, Schweizerhalle/Pratteln
- Splittherstellung: Toggenburger AG, Kieswerke und Transporte, Wil (ZH)/Winterthur
- Verkehrsmittel und Distanzen im Winterdienst: Tiefbauamt der Stadt Zürich
- Splitt-Recyclinganlage: Tiefbauamt der Stadt Zürich
- Waschanlage, Aufbereitung zu Kies/Sand: Eberhard Recycling AG, Rümlang
- Schlammentwässerung: Stadtentwässerung der Stadt Zürich
- Energiebereitstellung und Verbrennung von Energieträgern: BUWAL (1996)/ETH-ESU (1994); Elektrizitätsmix: Schweiz (unter Berücksichtigung der Importe/Exporte, BUWAL 1996)
- Energieverbrauch und Emissionen Transporte: BUWAL (1996)/ETH-ESU (1994); durchschnittliche Auslastung der LKW im allgemeinen 50% (Ausnahme: Anlieferung von Splitt, Auslastung gem. Herstellerangabe 100%)
- Entsorgung: Für Splitt, der auf eine Deponie oder in einer KVA entsorgt wird, wurden die Daten BUWAL (1996) entnommen. Mangels präziserer Daten wurden die Zahlen verwendet, die für Glasabfälle bilanziert wurden, da diese ebenfalls für ein inertes, nichtmetallisches Material erstellt wurden. Die in BUWAL (1996) für die Entsorgung enthaltenen Transporte (Kehrichteinsammlung etc.) wurden hier durch die effektiv erfassten Transportmengen und -distanzen ersetzt.

2.5 Annahmen und Einschränkungen

Angesichts des Umfangs und der zeitlichen Einschränkungen der Studie konnten keine Emissionsmessungen vorgenommen werden. So konnten beispielsweise die Staubemissionen, die bei der Herstellung, dem Transport oder Umschlag, sowie bei der Entsorgung oder Aufbereitung entstehen können, nicht erfasst werden.

Keine genügend belastbaren Angaben wurden gefunden, welche die Mengen an Schadstoffen, die wegen der Streumittel in die Umwelt gelangen (z.B. Pneuabrieb), quantifizieren würden.

Schwierigkeiten bereitet die Abschätzung, welchen Weg die ausgestreuten Materialien einschlagen. Für Salz wurde vereinfachend angenommen, dass das Chlorid (61 Massenprozent des NaCl) vollständig ins Wasser gelangt. Beim Splitt wurde aufgrund von Beobachtungen und Angaben der Stadt Zürich folgende Aufteilung der gestreuten Menge angenommen:

- 50% werden mit der Splitträumung (i.a. im Frühling) eingesammelt;
- 30% werden mit der gewöhnlichen Strassenreinigung, zusammen mit gemischten Abfällen, erfasst;
- 10% gelangen in die Schlammsammler und werden in der Kläranlage entwässert;
- 10% verbleiben in der nahen Umgebung (Böschungen, Beete); diese sind in dieser Ökobilanz nicht erfasst.

3 SACHBILANZ

3.1 Angaben zu den einzelnen Prozessen

3.1.1 Salz

Herstellung
Das in der Schweiz eingesetzte Salz stammt aus den Salinen in Rheinfelden. Wasser wird in Bohrlöcher gepumpt und löst das in einigen hundert Metern Tiefe gelagerte Steinsalz. Mit dem Überdruck wird die Sole an die Oberfläche gepresst und in Pipelines in die Saline befördert. Dort wird die Sole enthärtet und gereinigt, wonach das Wasser mit Thermokompressoren verdampft wird. Im Strassendienst wird teilgetrocknetes Salz mit einem Restwassergehalt <1.5% eingesetzt. Betrieben werden die Anlagen hauptsächlich mit Elektrizität ab Netz.

Transport
Das Salz für den Strassendienst wird in der Regel mit der Bahn in Silowagen nach Zürich befördert. Werden bei Wintereinbrüchen in kurzer Zeit grosse Mengen benötigt, kann der Transport auch per LKW erfolgen. Für die Ökobilanzierung wurden 80% Bahn- und 20% Strassentransporte angenommen, wobei letztere voll hin- und leer zurückfahren, was eine durchschnittliche Auslastung von 50% ergibt. Die Strecke Rheinfelden - Zürich beträgt rund 70 km.

Streuung
Die im betrachteten Winter eingesetzte Menge beträgt 1360 kg/km, wobei ausschliesslich die Trockensalztechnik (ohne Wasserzugabe bei der Streuung) verwendet wurde. Die Streuung erfolgte mit Allzweckfahrzeugen und einer durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeit von ca. 20 km/h. Die effektiv gefahrene Distanz, um einen Kilometer Strasse zu bewirtschaften, beträgt rund 1.1 km.

3.1.2 Splitt

Herstellung
Der in Zürich eingesetzte Splitt wird in Glattfelden abgebaut. Aus den feineren Wandkiesfraktionen werden Brechsand (0 - 3 mm) und der im Strassendienst eingesetzte Splitt (3 - 6 mm) gebrochen.

Transport
Der Transport nach Zürich erfolgt unter Ausnützung des zur Verfügung stehenden Gewichts per LKW über 30 km. Da in der Gegenrichtung in der Regel Aushubmaterial transportiert wird, wird nur der einfache Weg berücksichtigt.

Streuung
Die Splittstreuung erfolgt ebenfalls mit Allzweckfahrzeugen und einer durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeit von rund 20 km/h. Als Folge der grösseren eingesetzten Mengen sind mehr Leerfahrten zu Depots nötig als beim Salz; damit beträgt die effektiv gefahrene Distanz rund 1.4 km/km Strassenlänge. Im betrachteten Winter wurden 9500 kg/km Splitt eingesetzt.

Einsammlung
Die Einsammlung des Splitts erfolgt in der Regel ein- bis zweimal im Frühling mit Kehrmaschinen. Aufgrund von Beobachtungen wird geschätzt, dass rund die Hälfte des Splitts eingesammelt wird. Das eingesammelte Material erfüllt die Forderungen

einer Inertstoffdeponie nicht. Für die Weiterbehandlung stehen drei Szenarien zur Diskussion:

Mobile Recyclinganlage
Das vor allem zur Verringerung des beanspruchten Deponievolumens vor rund 10 Jahren entwickelte Recyclingverfahren ermöglicht es, rund 2/3 des eingesammelten Splitts der Wiederverwendung zuzuführen. Die Reinigung im Trockenverfahren wird mit Heizöl betrieben. Zu Staub- und weiteren Emissionen liegen Angaben aus einer Abnahmemessung im Jahre 1988 vor. Das restliche Drittel mit Verunreinigungen wird per LKW zu 80% der Reaktordeponie Illnau, zu 20% der KVA Hagenholz zugeführt.

Aufbereitung zu Kies/Sand
Die Bodenwaschanlage in Rümlang beruht auf einem physikalisch-chemischen Nassverfahren, wobei das Wasser in einem geschlossenen Kreislauf verwendet wird. Aus einer Tonne Splitt entstehen ca. 900 kg Kies/Sand, die im Bauwesen weiterverwendet werden können. Als Abfälle entstehen 80 kg Filterkuchen, die als Rohmehlersatz in das Zementwerk Siggenthal gelangen, und 20 kg Leichtgut, die in der Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) Hagenholz entsorgt werden.

Reaktordeponie
Für das Szenario Reaktordeponie werden LKW-Transporte über 20 km in die Deponie Illnau berücksichtigt. Mangels Angaben werden die Daten für Glas aus BUWAL SRU 250 übernommen. Die Entsorgung auf einer Reaktordeponie kann nur als Übergangslösung in Frage kommen, da diese Entsorgungsart ab dem Jahre 2000 untersagt sein wird.

Strassenreinigung
Es wurde geschätzt, dass rund 30% des gestreuten Splitts über die gewöhnliche Strassenreinigung zusammen mit gemischten Abfällen eingesammelt wurden. Das von der Wischmaschine eingesammelte Gut gelangt per LKW in die KVA Hagenholz.

Schlammsammler
Aufgrund von Beobachtungen wird angenommen, dass ca. 10% des Splitts in die Schlammsammler der Strassenentwässerung gelangen. Der Schlamm wird in der Kläranlage Werdhölzli entwässert, die Rückstände werden in der Reaktordeponie Illnau entsorgt.

3.2 Darstellung der Resultate

Die Ergebnisse sind auf die folgenden einzelnen Prozesse aufgeteilt:

	Salz	Splitt		
		Mobile Recy-clinganlage	Aufbereitung Kies/Sand	Reaktor-deponie
Herstellung	x	x	x	x
Transport nach ZH	x	x	x	x
Streuung/Einsammlung	x/-	x/x	x/x	x/x
Transport für Recycling/ Aufbereitung/Entsorgung	-	x	x	x
Recyclinganlage	-	x	-	-
Aufbereitung/Entsorgung	-	x	x	x
Strassenreinigung: Transporte/Entsorgung	-	x	x	x
Schlammbehandlung: Transporte/Entwässerung/ Deponie	-	x	x	x

Die Sachbilanzen sind in den Tabellen 1 - 4 auf den folgenden Seiten dargestellt. Aufgeführt sind Energie- und Wasserbedarf, Luft- und Wasseremissionen, sowie Abfallmengen.

Tabelle 1: Sachbilanz Streusalz

Streusalz		Herstellung	Transporte	Streuung	Total
Primärenergiebedarf		**2.50E+03**	**1.32E+02**	**3.62E+01**	**2.67E+03**
Endenergiebedarf					
Elektrizität	kWh	2.45E+02	4.42E+00		2.49E+02
Benzin	kg			1.67E-01	1.67E-01
Diesel	kg	1.36E-01	1.70E+00	5.01E-01	2.33E+00
Heizöl EL	kg	1.90E+00			1.90E+00
Ressourcenbezogener Energiebedarf [MJ]					
Holz	MJ	1.46E+00	2.93E-02	1.50E-03	1.49E+00
Pot. Energie Wasser	MJ	4.64E+02	8.46E+00	4.39E-02	4.73E+02
Rohbraunkohle	MJ	4.98E+01	1.08E+00	9.52E-02	5.10E+01
Rohgas (Erdgas)	MJ	4.43E+01	4.35E+00	1.60E+00	5.02E+01
Rohsteinkohle	MJ	1.40E+02	2.81E+00	1.43E-01	1.43E+02
Rohöl ab Bohrloch (Feedstock)	MJ	1.84E+02	8.60E+01	3.40E+01	3.04E+02
Uran ab Erz	MJ	1.62E+03	2.97E+01	3.07E-01	1.65E+03
Total	MJ	2.50E+03	1.32E+02	3.62E+01	2.67E+03
Wasserverbrauch [m3]					
Kühlwasser	m3	2.86E+00			2.86E+00
Prozesswasser	m3	4.08E+00			4.08E+00
Luftemissionen					
Ammoniak (NH3)	g	9.26E-02	1.83E-03	8.35E-05	9.46E-02
Aromatische KW	g	3.40E-01	4.10E-02	4.99E-02	4.31E-01
Benzol (C6H6)	g	7.24E-02	2.24E-02	3.65E-02	1.31E-01
Blei (Pb)	g	5.74E-03	4.26E-04	7.86E-04	6.95E-03
Cadmium (Cd)	g	5.55E-04	6.82E-05	3.67E-05	6.60E-04
Flussäure (HF)	g	4.69E-01	9.73E-03	6.93E-04	4.79E-01
Halogenierte KW	g	9.36E-05	1.72E-06	1.78E-08	9.53E-05
Kohlendioxid fossil (CO2)	g	3.14E+04	6.52E+03	2.46E+03	4.04E+04
Kohlenmonoxid (CO)	g	9.56E+00	3.34E+01	2.43E+01	6.73E+01
Lachgas (N2O)	g	3.26E-01	1.51E-01	9.48E-02	5.72E-01
Mangan (Mn)	g	2.41E-03	4.85E-05	2.54E-06	2.46E-03
Metalle	g	1.39E+00	4.28E-02	9.47E-03	1.44E+00
Methan (CH4)	g	7.22E+01	8.57E+00	3.06E+00	8.38E+01
NMVOC Nicht-Methan KW	g	3.61E+01	3.82E+01	1.60E+01	9.04E+01
Nickel (Ni)	g	3.68E-02	3.55E-03	1.45E-03	4.18E-02
PAH Polyzykl. arom. KW	g	7.45E-04	5.79E-05	2.09E-05	8.24E-04
Quecksilber (Hg)	g	7.41E-04	1.86E-05	3.68E-06	7.64E-04
Rad. Substanzen	kBq	3.12E+05	5.73E+03	5.93E+01	3.17E+05
Salzsäure (HCl)	g	4.35E+00	9.06E-02	6.64E-03	4.45E+00
Schwefeloxide (SOx) als SO2	g	1.41E+02	1.15E+01	3.79E+00	1.56E+02
Staub/Partikel	g	3.23E+01	3.07E+00	8.50E-01	3.63E+01
Stickoxide (NOx) als NO2	g	7.29E+01	1.11E+02	3.88E+01	2.22E+02
Zink (Zn)	g	6.71E-02	2.11E-03	7.60E-04	7.00E-02
Übrige Emissionen	g	1.20E+00	2.50E-02	1.82E-03	1.22E+00
Wasseremissionen					
AOX als Cl-	g	6.40E-04	3.70E-04	1.45E-04	1.15E-03
Aluminium (Al)	g	1.29E+01	2.57E-01	1.24E-02	1.32E+01
Ammonium (NH4+)	g	8.10E-01	2.15E-01	8.12E-02	1.11E+00
Anorg. Salze und Säuren	g	1.44E+02	3.77E+01	1.44E+01	1.96E+02
Aromatische KW	g	1.74E-01	8.04E-02	3.18E-02	2.86E-01
Arsen (As)	g	2.47E-02	5.65E-04	5.38E-05	2.53E-02
BOD	g	1.58E-02	8.49E-03	3.33E-03	2.76E-02
Barium (Ba)	g	1.45E+00	2.55E-01	9.44E-02	1.80E+00
Blei (Pb)	g	1.20E-01	2.42E-03	1.16E-04	1.23E-01
COD	g	3.81E-01	2.75E-01	1.09E-01	7.64E-01
Cadmium (Cd)	g	1.10E-03	1.21E-04	4.13E-05	1.26E-03
Chlorid (Cl-)	g	1.95E+02	5.19E+01	8.26E+05	8.26E+05
Chlorierte KW	g	1.91E-04	8.29E-05	3.27E-05	3.07E-04
Chrom (Cr)	g	1.23E-01	3.22E-03	4.37E-04	1.26E-01
Cyanid (CN-)	g	9.32E-04	3.77E-04	1.46E-04	1.46E-03
DOC	g	1.29E-02	2.76E-04	6.95E-05	1.32E-02
Eisen (Fe)	g	1.25E+01	2.76E-01	2.51E-02	1.28E+01
Fette/Öle	g	5.39E+00	2.51E+00	9.92E-01	8.90E+00
Kupfer (Cu)	g	5.99E-02	1.36E-03	1.28E-04	6.14E-02
Metalle	g	2.72E+00	6.07E-01	2.29E-01	3.56E+00
Nickel (Ni)	g	6.14E-02	1.48E-03	1.65E-04	6.31E-02
Nitrat (NO3-)	g	4.51E-01	6.81E-02	2.44E-02	5.43E-01
PAH Polyzykl. arom. KW	g	2.64E-03	1.23E-03	4.87E-04	4.36E-03
Phenole	g	2.75E-02	1.25E-02	4.93E-03	4.50E-02
Phosphat (PO4 3-)	g	7.08E-01	1.51E-02	1.12E-03	7.24E-01
Quecksilber (Hg)	g	2.15E-05	1.29E-06	3.81E-07	2.32E-05
Rad. Substanzen	kBq	2.87E+03	5.28E+01	5.62E-01	2.92E+03
Stickstoff gesamt	g	2.74E-01	2.01E-01	7.94E-02	5.54E-01
Stickstoff org. gebunden	g	4.08E-02	3.47E-02	1.38E-02	8.93E-02
Sulfat (SO4 2-)	g	3.25E+02	7.57E+00	7.47E-01	3.34E+02
Sulfid (S 2-)	g	5.77E-03	2.98E-03	1.17E-03	9.92E-03
Suspendierte Stoffe	g	2.20E+01	5.57E+00	2.13E+00	2.97E+01
TOC	g	2.71E+00	8.84E-01	3.46E-01	3.94E+00
Toluol (C7H8)	g	2.41E-02	1.12E-02	4.42E-03	3.97E-02
Zink (Zn)	g	1.26E-01	3.34E-03	4.59E-04	1.30E-01
Abfälle					
Abfälle in Inertstoffdeponie	kg				
Abfälle in KVA	kg				
Abfälle in Reaktordeponie	kg				

Tabell 2: Sachbilanz Splitt, Szenario mobile Recyclinganlage

Splitt - mobile ec clinganlage		Herstellung	Transporte nach Zürich	Streuung/ Einsammlung	Transporte für ec cling	obile ec cling-anlage	Entsorgung	Strassen-reinigung	Schlamm-entwäs-serung	Total
Primärenergiebedarf		**3.11E+02**	**2.33E+02**	**1.58E+02**	**1.84E+02**	**2.85E+03**	**4.66E+02**	**2.51E+03**	**2.31E+02**	**6.94E+03**
Endenergiebedarf										
Elektrizität	kWh	2.98E+01					1.22E+01	1.02E+02	4.16E+00	**1.48E+02**
Benzin	kg			2.21E+00				4.44E-01		**2.66E+00**
Diesel	kg	3.80E-01	4.43E+00	5.25E-01	3.49E+00		4.49E+00	1.05E+01	3.55E+00	**2.73E+01**
Erdgas	m3						3.21E-01	2.84E+00	1.61E-03	**3.16E+00**
Heizöl EL	kg					5.33E+01	1.80E+00	1.52E+01	6.90E-02	**7.03E+01**
Ressourcenbezogener Energiebedarf [MJ]										
Holz	MJ	1.78E-01	7.68E-03	9.31E-03	6.05E-03	8.20E-02	8.45E-02	6.63E-01	3.10E-02	**1.06E+00**
Pot. Energie Wasser	MJ	5.65E+01	2.25E-01	2.72E-01	1.77E-01	5.86E+00	2.35E+01	1.96E+02	8.06E+00	**2.91E+02**
Rohbraunkohle	MJ	6.08E+00	4.88E-01	5.91E-01	3.84E-01	5.20E+00	3.22E+00	2.42E+01	1.24E+00	**4.14E+01**
Rohgas (Erdgas)	MJ	5.68E+00	9.49E+00	8.12E+00	7.47E+00	1.13E+02	2.93E+01	1.96E+02	8.50E+00	**3.77E+02**
Rohsteinkohle	MJ	1.71E+01	7.34E-01	8.89E-01	5.78E-01	7.82E+00	8.10E+00	6.36E+01	2.97E+00	**1.02E+02**
Rohöl ab Bohrloch (Feedstock)	MJ	2.91E+01	2.21E+02	1.46E+02	1.74E+02	2.62E+03	3.16E+02	1.33E+03	1.82E+02	**5.02E+03**
Uran ab Erz	MJ	1.96E+02	1.57E+00	1.91E+00	1.24E+00	8.89E+01	8.51E+01	7.04E+02	2.87E+01	**1.11E+03**
Total	MJ	3.11E+02	2.33E+02	1.58E+02	1.84E+02	2.85E+03	4.66E+02	2.51E+03	2.31E+02	**6.94E+03**
Wasserverbrauch [m3]										
Kühlwasser	m3									
Prozesswasser	m3									
Luftemissionen										
Ammoniak (NH3)	g	1.13E-02	4.32E-04	5.12E-04	3.40E-04	5.40E-03	2.19E+00	1.95E+01	1.92E-03	**2.17E+01**
Aromatische KW	g	3.86E-02	9.53E-02	5.32E-01	7.51E-02	2.46E+00	4.57E-01	3.49E+00	8.39E-02	**7.23E+00**
Benzol (C6H6)	g	8.72E-03	5.70E-02	4.06E-01	4.49E-02	1.10E+00	2.31E-01	1.74E+00	4.77E-02	**3.63E+00**
Blei (Pb)	g	7.48E-04	8.52E-04	9.28E-03	6.71E-04	3.54E-01	1.31E-03	7.59E-03	7.83E-04	**3.75E-01**
Cadmium (Cd)	g	7.47E-05	1.54E-04	2.74E-04	1.21E-04	1.17E-02	2.24E-04	9.90E-04	1.34E-04	**1.37E-02**
Flussäure (HF)	g	5.71E-02	3.40E-03	4.52E-03	2.67E-03	5.68E-02	2.91E-02	2.24E-01	1.07E-02	**3.88E-01**
Halogenierte KW	g	1.14E-05	9.13E-08	1.10E-07	7.19E-08	6.13E-06	4.96E-06	4.10E-05	1.67E-06	**6.54E-05**
Kohlendioxid fossil (CO2)	g	4.31E+03	1.59E+04	1.07E+04	1.25E+04	1.89E+05	2.44E+04	1.10E+05	1.34E+04	**3.80E+05**
Kohlenmonoxid (CO)	g	8.04E+00	8.71E+01	2.02E+02	6.86E+01	6.07E+01	1.46E+02	7.54E+02	7.00E+01	**1.40E+03**
Kohlenwasserstoffe (KW)	g					1.46E+01				**1.46E+01**
Lachgas (N2O)	g	6.29E-02	3.84E-01	7.30E-01	3.02E-01	1.92E+00	4.73E-01	1.76E+00	3.14E-01	**5.95E+00**
Mangan (Mn)	g	2.94E-04	1.30E-05	1.57E-05	1.03E-05	1.39E-04	1.40E-04	1.10E-03	5.15E-05	**1.76E-03**
Metalle	g	1.64E-01	4.99E-02	5.68E-02	3.93E-02	2.12E+00	1.89E-01	1.29E+00	6.50E-02	**3.98E+00**
Methan (CH4)	g	9.41E+00	1.94E+01	1.39E+01	1.52E+01	2.24E+02	3.44E+01	1.74E+02	1.69E+01	**5.07E+02**
NMVOC Nicht-Methan KW	g	1.05E+01	9.91E+01	7.60E+01	7.80E+01	4.75E+02	1.28E+02	4.82E+02	8.03E+01	**1.43E+03**
Nickel (Ni)	g	4.74E-03	7.68E-03	8.59E-03	6.05E-03	8.33E-02	1.23E-02	5.77E-02	6.83E-03	**1.87E-01**
PAH Polyzykl. arom. KW	g	9.03E-05	1.20E-04	1.11E-04	9.46E-05	2.38E-03	3.57E-04	2.33E-03	1.11E-04	**5.60E-03**
Quecksilber (Hg)	g	8.59E-05	1.59E-05	2.70E-05	1.25E-05	1.32E-03	1.18E-04	9.12E-04	2.63E-05	**2.51E-03**
Rad. Substanzen	kBq	3.79E+04	3.04E+02	3.68E+02	2.39E+02	1.74E+04	1.64E+04	1.36E+05	5.54E+03	**2.14E+05**
Salzsäure (HCl)	g	5.30E-01	3.25E-02	4.34E-02	2.56E-02	5.58E-01	2.72E-01	2.09E+00	1.00E-01	**3.65E+00**
Schwefeloxide (SOx) als SO2	g	1.79E+01	2.39E+01	1.73E+01	1.88E+01	2.84E+02	4.07E+01	1.98E+02	2.18E+01	**6.23E+02**
Staub/Partikel	g	4.42E+00	6.54E+00	2.25E+00	5.15E+00	3.28E+02	8.70E+00	3.32E+01	5.80E+00	**3.94E+02**
Stickoxide (NOx) als NO2	g	3.12E+01	2.86E+02	1.19E+02	2.25E+02	3.19E+02	4.39E+02	2.02E+03	2.31E+02	**3.67E+03**
TCDD-Äquivalente	ng						3.71E+03	3.31E+04		**3.68E+04**
Zink (Zn)	g	1.49E-03	5.10E-03	3.05E-03	4.01E-03	1.63E+00	6.06E-02	4.81E-01	6.35E-03	**2.19E+00**
Übrige Emissionen	g	1.46E-01	9.12E-03	1.15E-02	7.18E-03	9.80E-02	7.92E-02	6.14E-01	2.77E-02	**9.92E-01**
Wasseremissionen										
AOX als Cl-	g	1.20E-04	9.51E-04	6.17E-04	7.49E-04	8.16E-03	1.25E-03	4.82E-03	7.78E-04	**1.75E-02**
Aluminium (Al)	g	1.57E+00	6.39E-02	7.67E-02	5.03E-02	7.31E-01	7.41E-01	5.83E+00	2.71E-01	**9.34E+00**
Ammonium (NH4+)	g	1.22E-01	5.31E-01	3.44E-01	4.18E-01	4.73E+00	7.29E-01	2.93E+00	4.42E-01	**1.02E+01**
Anorg. Salze und Säuren	g	2.05E+01	9.35E+01	6.21E+01	7.36E+01	1.09E+03	2.11E+02	1.25E+03	7.81E+01	**2.87E+03**
Aromatische KW	g	2.74E-02	2.06E-01	1.37E-01	1.62E-01	2.45E+00	2.96E-01	1.25E+00	1.70E-01	**4.70E+00**
Arsen (As)	g	3.02E-03	3.17E-04	2.76E-04	2.50E-04	3.02E-03	1.67E-03	1.21E-02	6.75E-04	**2.13E-02**
BOD	g	2.88E-03	2.18E-02	1.41E-02	1.72E-02	1.90E-01	2.89E-02	1.12E-01	1.79E-02	**4.05E-01**
Barium (Ba)	g	1.95E-01	6.12E-01	4.08E-01	4.82E-01	7.26E+00	9.24E-01	4.09E+00	5.20E-01	**1.45E+01**
Blei (Pb)	g	1.47E-02	6.57E-04	6.34E-04	5.17E-04	9.12E-03	7.30E-03	5.75E-02	2.58E-03	**9.30E-02**
COD	g	7.78E-02	7.12E-01	4.61E-01	5.60E-01	6.20E+00	9.37E-01	3.59E+00	5.81E-01	**1.31E+01**
Cadmium (Cd)	g	1.45E-04	2.69E-04	1.77E-04	2.12E-04	2.56E-03	4.09E-04	1.82E-03	2.36E-04	**5.83E-03**
Chlorid (Cl-)	g	2.78E+01	1.29E+02	8.58E+01	1.02E+02	1.51E+03	2.49E+02	1.35E+03	1.08E+02	**3.56E+03**
Chlorierte KW	g	2.97E-05	2.12E-04	1.41E-04	1.67E-04	2.52E-03	3.10E-04	1.33E-03	1.75E-04	**4.89E-03**
Chrom (Cr)	g	1.50E-02	2.67E-03	2.11E-03	2.11E-03	3.06E-02	9.93E-03	6.73E-02	4.25E-03	**1.34E-01**
Cyanid (CN-)	g	1.56E-04	9.55E-04	6.21E-04	7.52E-04	8.21E-03	1.28E-03	4.97E-03	7.86E-04	**1.77E-02**
DOC	g	1.57E-03	1.15E-04	7.66E-04	9.03E-05	1.32E-03	6.07E-03	5.28E-02	3.38E-04	**6.30E-02**
Eisen (Fe)	g	1.52E+00	1.36E-01	1.45E-01	1.07E-01	1.48E+00	8.25E-01	6.12E+00	3.22E-01	**1.07E+01**
Fette/Öle	g	8.53E-01	6.44E+00	4.27E+00	5.07E+00	7.64E+01	9.24E+00	3.89E+01	5.31E+00	**1.47E+02**
Kupfer (Cu)	g	7.32E-03	7.48E-04	6.63E-04	5.89E-04	7.92E-03	4.16E-03	3.05E-02	1.62E-03	**5.35E-02**
Metalle	g	3.77E-01	1.49E+00	9.90E-01	1.17E+00	1.77E+01	2.21E+00	9.59E+00	1.25E+00	**3.47E+01**
Nickel (Ni)	g	7.52E-03	9.92E-04	8.26E-04	7.81E-04	1.08E-02	4.46E-03	3.15E-02	1.85E-03	**5.88E-02**
Nitrat (NO3-)	g	6.18E-02	1.59E-01	1.04E-01	1.25E-01	1.43E+00	2.29E-01	9.69E-01	1.36E-01	**3.21E+00**
PAH Polyzykl. arom. KW	g	4.17E-04	3.16E-03	2.09E-03	2.49E-03	3.76E-02	4.53E-03	1.91E-02	2.60E-03	**7.19E-02**
Phenole	g	4.38E-03	3.20E-02	2.12E-02	2.52E-02	3.69E-01	4.56E-02	1.91E-01	2.64E-02	**7.14E-01**
Phosphat (PO4 3-)	g	8.65E-02	6.29E-03	6.16E-03	4.95E-03	6.38E-02	4.43E-02	3.34E-01	1.71E-02	**5.63E-01**
Quecksilber (Hg)	g	2.73E-06	2.39E-06	1.75E-06	1.88E-06	2.07E-05	5.33E-06	3.09E-05	2.30E-06	**6.79E-05**
Rad. Substanzen	kBq	3.49E+02	2.90E+00	3.46E+00	2.29E+00	1.57E+02	1.51E+02	1.25E+03	5.11E+01	**1.97E+03**
Stickstoff gesamt	g	5.60E-02	5.19E-01	3.36E-01	4.09E-01	4.59E+00	6.86E-01	2.63E+00	4.24E-01	**9.66E+00**
Stickstoff org. gebunden	g	8.91E-03	9.01E-02	5.83E-02	7.09E-02	7.94E-01	1.19E-01	4.53E-01	7.34E-02	**1.67E+00**
Sulfat (SO4 2-)	g	3.98E+01	4.54E+00	3.65E+00	3.57E+00	5.19E+01	2.13E+02	1.85E+03	9.19E+00	**2.18E+03**
Sulfid (S 2-)	g	1.04E-03	7.62E-03	4.94E-03	6.00E-03	6.54E-02	1.01E-02	3.89E-02	6.25E-03	**1.40E-01**
Suspendierte Stoffe	g	3.09E+00	1.38E+01	9.21E+00	1.09E+01	1.65E+02	2.07E+01	9.09E+01	7.24E+02	**1.04E+03**
TOC	g	4.07E-01	2.22E+00	1.53E+00	1.75E+00	2.44E+01	3.52E+00	1.64E+01	1.85E+00	**5.20E+01**
Toluol (C7H8)	g	3.80E-03	2.87E-02	1.90E-02	2.26E-02	3.42E-01	4.12E-02	1.74E-01	2.37E-02	**6.54E-01**
Zink (Zn)	g	1.54E-02	2.83E-03	2.18E-03	2.23E-03	2.62E-02	1.02E-02	6.83E-02	4.42E-03	**1.32E-01**
Abfälle										
Abfälle in Inertstoffdeponie	kg									
Abfälle in KVA	kg						3.20E+02	2.85E+03		**3.17E+03**
Abfälle in Reaktordeponie	kg						1.26E+03		9.50E+02	**2.21E+03**

Tabell 3: Sachbilanz Splitt, Szenario Aufbereitung Sand/Kies

Splitt - Aufbereitung Sand/Kies		Herstellung	Transporte nach Zürich	Streuung/ Einsammlung	Transporte	Aufbereitung/Entsorgung	Strassenreinigung	Schlammentwässerung	Total
Primärenergiebedarf		**4.67E+02**	**3.50E+02**	**1.58E+02**	**3.18E+02**	**6.02E+02**	**2.51E+03**	**2.31E+02**	**4.64E+03**
Endenergiebedarf									
Elektrizität	kWh	4.47E+01				5.17E+01	1.02E+02	4.16E+00	**2.03E+02**
Benzin	kg			2.21E+00			4.44E-01		**2.66E+00**
Diesel	kg	5.70E-01	6.64E+00	5.25E-01	6.03E+00	1.25E+00	1.05E+01	3.55E+00	**2.91E+01**
Erdgas	m3					9.45E-02	2.84E+00	1.61E-03	**2.93E+00**
Heizöl EL	kg					5.06E-01	1.52E+01	6.90E-02	**1.58E+01**
Ressourcenbezogener Energiebedarf [MJ]									
Holz	MJ	2.68E-01	1.15E-02	9.31E-03	1.05E-02	3.12E-01	6.63E-01	3.10E-02	**1.30E+00**
Pot. Energie Wasser	MJ	8.48E+01	3.37E-01	2.72E-01	3.06E-01	9.81E+01	1.96E+02	8.06E+00	**3.88E+02**
Rohbraunkohle	MJ	9.13E+00	7.32E-01	5.91E-01	6.65E-01	1.07E+01	2.42E+01	1.24E+00	**4.72E+01**
Rohgas (Erdgas)	MJ	8.53E+00	1.42E+01	8.12E+00	1.29E+01	1.63E+01	1.96E+02	8.50E+00	**2.65E+02**
Rohsteinkohle	MJ	2.57E+01	1.10E+00	8.89E-01	1.00E+00	2.99E+01	6.36E+01	2.97E+00	**1.25E+02**
Rohöl ab Bohrloch (Feedstock)	MJ	4.37E+01	3.31E+02	1.46E+02	3.01E+02	1.05E+02	1.33E+03	1.82E+02	**2.44E+03**
Uran ab Erz	MJ	2.95E+02	2.36E+00	1.91E+00	2.14E+00	3.42E+02	7.04E+02	2.87E+01	**1.38E+03**
Total	MJ	4.67E+02	3.50E+02	1.58E+02	3.18E+02	6.02E+02	2.51E+03	2.31E+02	**4.64E+03**
Wasserverbrauch [m3]									
Kühlwasser	m3								
Prozesswasser	m3					1.40E-01			**1.40E-01**
Luftemissionen									
Ammoniak (NH3)	g	1.69E-02	6.48E-04	5.12E-04	5.89E-04	6.68E-01	1.95E+01	1.92E-03	**2.02E+01**
Aromatische KW	g	5.79E-02	1.43E-01	5.32E-01	1.30E-01	1.82E-01	3.49E+00	8.39E-02	**4.62E+00**
Benzol (C6H6)	g	1.31E-02	8.55E-02	4.06E-01	7.77E-02	7.32E-02	1.74E+00	4.77E-02	**2.44E+00**
Blei (Pb)	g	1.12E-03	1.28E-03	9.28E-03	1.16E-03	1.46E-03	7.59E-03	7.83E-04	**2.27E-02**
Cadmium (Cd)	g	1.12E-04	2.31E-04	2.74E-04	2.10E-04	1.62E-04	9.90E-04	1.34E-04	**2.11E-03**
Flussäure (HF)	g	8.58E-02	5.10E-03	4.52E-03	4.63E-03	1.00E-01	2.24E-01	1.07E-02	**4.35E-01**
Halogenierte KW	g	1.71E-05	1.37E-07	1.10E-07	1.24E-07	1.98E-05	4.10E-05	1.67E-06	**7.99E-05**
Kohlendioxid fossil (CO2)	g	6.46E+03	2.38E+04	1.07E+04	2.16E+04	1.16E+04	1.10E+05	1.34E+04	**1.97E+05**
Kohlenmonoxid (CO)	g	1.21E+01	1.31E+02	2.02E+02	1.19E+02	4.25E+01	7.54E+02	7.00E+01	**1.33E+03**
Lachgas (N2O)	g	9.43E-02	5.75E-01	7.30E-01	5.23E-01	1.81E-01	1.76E+00	3.14E-01	**4.18E+00**
Mangan (Mn)	g	4.42E-04	1.95E-05	1.57E-05	1.77E-05	5.14E-04	1.10E-03	5.15E-05	**2.16E-03**
Metalle	g	2.46E-01	7.48E-02	5.68E-02	6.79E-02	3.12E-01	1.29E+00	6.50E-02	**2.12E+00**
Methan (CH4)	g	1.41E+01	2.91E+01	1.39E+01	2.64E+01	2.22E+01	1.74E+02	1.69E+01	**2.97E+02**
NMVOC Nicht-Methan KW	g	1.57E+01	1.49E+02	7.60E+01	1.35E+02	3.90E+01	4.82E+02	8.03E+01	**9.77E+02**
Nickel (Ni)	g	7.12E-03	1.15E-02	8.59E-03	1.05E-02	1.01E-02	5.77E-02	6.83E-03	**1.12E-01**
PAH Polyzykl. arom. KW	g	1.35E-04	1.80E-04	1.11E-04	1.64E-04	2.31E-04	2.33E-03	1.11E-04	**3.27E-03**
Quecksilber (Hg)	g	1.29E-04	2.38E-05	2.70E-05	2.17E-05	1.70E-04	9.12E-04	2.63E-05	**1.31E-03**
Rad. Substanzen	kBq	5.69E+04	4.55E+02	3.68E+02	4.14E+02	6.59E+04	1.36E+05	5.54E+03	**2.65E+05**
Salzsäure (HCl)	g	7.96E-01	4.87E-02	4.34E-02	4.42E-02	9.31E-01	2.09E+00	1.00E-01	**4.05E+00**
Schwefeloxide (SOx) als SO2	g	2.68E+01	3.59E+01	1.73E+01	3.26E+01	3.70E+01	1.98E+02	2.18E+01	**3.70E+02**
Staub/Partikel	g	6.63E+00	9.80E+00	2.25E+00	8.91E+00	8.68E+00	3.32E+01	5.80E+00	**7.53E+01**
Stickoxide (NOx) als NO2	g	4.68E+01	4.29E+02	1.19E+02	3.90E+02	1.36E+02	2.02E+03	2.31E+02	**3.37E+03**
TCDD-Äquivalente	ng					1.10E+03	3.31E+04		**3.42E+04**
Zink (Zn)	g	2.24E-03	7.65E-03	3.05E-03	6.95E-03	1.88E-02	4.81E-01	6.35E-03	**5.26E-01**
Übrige Emissionen	g	2.19E-01	1.37E-02	1.15E-02	1.24E-02	2.57E-01	6.14E-01	2.77E-02	**1.16E+00**
Wasseremissionen									
AOX als Cl-	g	1.81E-04	1.43E-03	6.17E-04	1.30E-03	4.14E-04	4.82E-03	7.78E-04	**9.53E-03**
Aluminium (Al)	g	2.36E+00	9.58E-02	7.67E-02	8.70E-02	2.75E+00	5.83E+00	2.71E-01	**1.15E+01**
Ammonium (NH4+)	g	1.82E-01	7.96E-01	3.44E-01	7.23E-01	3.27E-01	2.93E+00	4.42E-01	**5.74E+00**
Anorg. Salze und Säuren	g	3.08E+01	1.40E+02	6.21E+01	1.27E+02	8.06E+01	1.25E+03	7.81E+01	**1.77E+03**
Aromatische KW	g	4.11E-02	3.09E-01	1.37E-01	2.81E-01	9.87E-02	1.25E+00	1.70E-01	**2.29E+00**
Arsen (As)	g	4.53E-03	4.75E-04	2.76E-04	4.32E-04	5.31E-03	1.21E-02	6.75E-04	**2.38E-02**
BOD	g	4.33E-03	3.27E-02	1.41E-02	2.97E-02	9.74E-03	1.12E-01	1.79E-02	**2.20E-01**
Barium (Ba)	g	2.93E-01	9.18E-01	4.08E-01	8.34E-01	4.90E-01	4.09E+00	5.20E-01	**7.55E+00**
Blei (Pb)	g	2.20E-02	9.86E-04	6.34E-04	8.96E-04	2.57E-02	5.75E-02	2.58E-03	**1.10E-01**
COD	g	1.17E-01	1.07E+00	4.61E-01	9.70E-01	2.89E-01	3.59E+00	5.81E-01	**7.07E+00**
Cadmium (Cd)	g	2.17E-04	4.03E-04	1.77E-04	3.66E-04	3.11E-04	1.82E-03	2.36E-04	**3.53E-03**
Chlorid (Cl-)	g	4.16E+01	1.94E+02	8.58E+01	1.76E+02	9.78E+01	1.35E+03	1.08E+02	**2.05E+03**
Chlorierte KW	g	4.46E-05	3.18E-04	1.41E-04	2.89E-04	1.06E-04	1.33E-03	1.75E-04	**2.41E-03**
Chrom (Cr)	g	2.25E-02	4.01E-03	2.11E-03	3.64E-03	2.67E-02	6.73E-02	4.25E-03	**1.31E-01**
Cyanid (CN-)	g	2.34E-04	1.43E-03	6.21E-04	1.30E-03	4.77E-04	4.97E-03	7.86E-04	**9.82E-03**
DOC	g	2.36E-03	1.72E-04	7.66E-04	1.56E-04	4.31E-03	5.28E-02	3.38E-04	**6.09E-02**
Eisen (Fe)	g	2.29E+00	2.04E-01	1.45E-01	1.85E-01	2.68E+00	6.12E+00	3.22E-01	**1.19E+01**
Fette/Öle	g	1.28E+00	9.66E+00	4.27E+00	8.78E+00	3.07E+00	3.89E+01	5.31E+00	**7.13E+01**
Kupfer (Cu)	g	1.10E-02	1.12E-03	6.63E-04	1.02E-03	1.29E-02	3.05E-02	1.62E-03	**5.88E-02**
Metalle	g	5.66E-01	2.23E+00	9.90E-01	2.03E+00	1.02E+00	9.59E+00	1.25E+00	**1.77E+01**
Nickel (Ni)	g	1.13E-02	1.49E-03	8.26E-04	1.35E-03	1.33E-02	3.15E-02	1.85E-03	**6.16E-02**
Nitrat (NO3-)	g	9.27E-02	2.39E-01	1.04E-01	2.17E-01	1.42E-01	9.69E-01	1.36E-01	**1.90E+00**
PAH Polyzykl. arom. KW	g	6.26E-04	4.74E-03	2.09E-03	4.31E-03	1.50E-03	1.91E-02	2.60E-03	**3.49E-02**
Phenole	g	6.57E-03	4.81E-02	2.12E-02	4.37E-02	1.54E-02	1.91E-01	2.64E-02	**3.52E-01**
Phosphat (PO4 3-)	g	1.30E-01	9.44E-03	6.16E-03	8.57E-03	1.52E-01	3.34E-01	1.71E-02	**6.57E-01**
Quecksilber (Hg)	g	4.09E-06	3.59E-06	1.75E-06	3.26E-06	5.59E-06	3.09E-05	2.30E-06	**5.15E-05**
Rad. Substanzen	kBq	5.24E+02	4.35E+00	3.46E+00	3.95E+00	6.07E+02	1.25E+03	5.11E+01	**2.44E+03**
Stickstoff gesamt	g	8.40E-02	7.79E-01	3.36E-01	7.08E-01	2.10E-01	2.63E+00	4.24E-01	**5.18E+00**
Stickstoff org. gebunden	g	1.34E-02	1.35E-01	5.83E-02	1.23E-01	3.51E-02	4.53E-01	7.34E-02	**8.91E-01**
Sulfat (SO4 2-)	g	5.97E+01	6.81E+00	3.65E+00	6.19E+00	1.27E+02	1.85E+03	9.19E+00	**2.07E+03**
Sulfid (S 2-)	g	1.57E-03	1.14E-02	4.94E-03	1.04E-02	3.45E-03	3.89E-02	6.25E-03	**7.69E-02**
Suspendierte Stoffe	g	4.64E+00	2.07E+01	9.21E+00	1.88E+01	8.89E+00	9.09E+01	7.24E+02	**8.77E+02**
TOC	g	6.11E-01	3.34E+00	1.53E+00	3.03E+00	1.34E+00	1.64E+01	1.85E+00	**2.81E+01**
Toluol (C7H8)	g	5.71E-03	4.31E-02	1.90E-02	3.91E-02	1.37E-02	1.74E-01	2.37E-02	**3.18E-01**
Zink (Zn)	g	2.32E-02	4.25E-03	2.18E-03	3.86E-03	2.75E-02	6.83E-02	4.42E-03	**1.34E-01**
Abfälle									
Abfälle in Inertstoffdeponie	kg								
Abfälle in KVA	kg					9.50E+01	2.85E+03		**2.95E+03**
Abfälle in Reaktordeponie	kg							9.50E+02	**9.50E+02**

Tabelle 4: Sachbilanz Splitt, Szenario Reaktordeponie

Splitt Reaktordeponie		Herstellung	Transporte nach Zürich	Streuung/ Einsammlung	Transporte	Deponie	Strassen-reinigung	Schlamm-entwäs-serung	Total
Primärenergiebedarf		**4.67E+02**	**3.50E+02**	**1.58E+02**	**4.23E+02**	**3.03E+02**	**2.51E+03**	**2.31E+02**	**4.45E+03**
Endenergiebedarf									
Elektrizität	kWh	4.47E+01				2.73E+00	1.02E+02	4.16E+00	**1.54E+02**
Benzin	kg			2.21E+00			4.44E-01		**2.66E+00**
Diesel	kg	5.70E-01	6.64E+00	5.25E-01	8.04E+00	4.89E+00	1.05E+01	3.55E+00	**3.47E+01**
Erdgas	m3					8.05E-03	2.84E+00	1.61E-03	**2.85E+00**
Heizöl EL	kg					3.45E-01	1.52E+01	6.90E-02	**1.56E+01**
Ressourcenbezogener Energiebedarf [MJ]									
Holz	MJ	2.68E-01	1.15E-02	9.31E-03	1.39E-02	2.53E-02	6.63E-01	3.10E-02	**1.02E+00**
Pot. Energie Wasser	MJ	8.48E+01	3.37E-01	2.72E-01	4.08E-01	5.45E+00	1.96E+02	8.06E+00	**2.95E+02**
Rohbraunkohle	MJ	9.13E+00	7.32E-01	5.91E-01	8.86E-01	1.13E+00	2.42E+01	1.24E+00	**3.79E+01**
Rohgas (Erdgas)	MJ	8.53E+00	1.42E+01	8.12E+00	1.72E+01	1.20E+01	1.96E+02	8.50E+00	**2.65E+02**
Rohsteinkohle	MJ	2.57E+01	1.10E+00	8.89E-01	1.33E+00	2.42E+00	6.36E+01	2.97E+00	**9.80E+01**
Rohöl ab Bohrloch (Feedstock)	MJ	4.37E+01	3.31E+02	1.46E+02	4.01E+02	2.61E+02	1.33E+03	1.82E+02	**2.70E+03**
Uran ab Erz	MJ	2.95E+02	2.36E+00	1.91E+00	2.86E+00	2.03E+01	7.04E+02	2.87E+01	**1.05E+03**
Total	MJ	4.67E+02	3.50E+02	1.58E+02	4.23E+02	3.03E+02	2.51E+03	2.31E+02	**4.45E+03**
Wasserverbrauch [m3]									
Kühlwasser	m3								
Prozesswasser	m3								
Luftemissionen									
Ammoniak (NH3)	g	1.69E-02	6.48E-04	5.12E-04	7.85E-04	1.54E-03	1.95E+01	1.92E-03	**1.95E+01**
Aromatische KW	g	5.79E-02	1.43E-01	5.32E-01	1.73E-01	1.24E-01	3.49E+00	8.39E-02	**4.61E+00**
Benzol (C6H6)	g	1.31E-02	8.55E-02	4.06E-01	1.03E-01	7.05E-02	1.74E+00	4.77E-02	**2.47E+00**
Blei (Pb)	g	1.12E-03	1.28E-03	9.28E-03	1.55E-03	1.03E-03	7.59E-03	7.83E-04	**2.26E-02**
Cadmium (Cd)	g	1.12E-04	2.31E-04	2.74E-04	2.80E-04	1.84E-04	9.90E-04	1.34E-04	**2.21E-03**
Flussäure (HF)	g	8.58E-02	5.10E-03	4.52E-03	6.17E-03	9.33E-03	2.24E-01	1.07E-02	**3.45E-01**
Halogenierte KW	g	1.71E-05	1.37E-07	1.10E-07	1.66E-07	1.18E-06	4.10E-05	1.67E-06	**6.14E-05**
Kohlendioxid fossil (CO2)	g	6.46E+03	2.38E+04	1.07E+04	2.88E+04	1.90E+04	1.10E+05	1.34E+04	**2.12E+05**
Kohlenmonoxid (CO)	g	1.21E+01	1.31E+02	2.02E+02	1.58E+02	9.65E+01	7.54E+02	7.00E+01	**1.42E+03**
Lachgas (N2O)	g	9.43E-02	5.75E-01	7.30E-01	6.96E-01	4.39E-01	1.76E+00	3.14E-01	**4.61E+00**
Mangan (Mn)	g	4.42E-04	1.95E-05	1.57E-05	2.36E-05	4.21E-05	1.10E-03	5.15E-05	**1.69E-03**
Metalle	g	2.46E-01	7.48E-02	5.68E-02	9.05E-02	8.34E-02	1.29E+00	6.50E-02	**1.91E+00**
Methan (CH4)	g	1.41E+01	2.91E+01	1.39E+01	3.52E+01	2.36E+01	1.74E+02	1.69E+01	**3.07E+02**
NMVOC Nicht-Methan KW	g	1.57E+01	1.49E+02	7.60E+01	1.80E+02	1.13E+02	4.82E+02	8.03E+01	**1.10E+03**
Nickel (Ni)	g	7.12E-03	1.15E-02	8.59E-03	1.39E-02	9.39E-03	5.77E-02	6.83E-03	**1.15E-01**
PAH Polyzykl. arom. KW	g	1.35E-04	1.80E-04	1.11E-04	2.18E-04	1.58E-04	2.33E-03	1.11E-04	**3.25E-03**
Quecksilber (Hg)	g	1.29E-04	2.38E-05	2.70E-05	2.89E-05	3.44E-05	9.12E-04	2.63E-05	**1.18E-03**
Rad. Substanzen	kBq	5.69E+04	4.55E+02	3.68E+02	5.51E+02	3.91E+03	1.36E+05	5.54E+03	**2.03E+05**
Salzsäure (HCl)	g	7.96E-01	4.87E-02	4.34E-02	5.90E-02	8.78E-02	2.09E+00	1.00E-01	**3.22E+00**
Schwefeloxide (SOx) als SO2	g	2.68E+01	3.59E+01	1.73E+01	4.34E+01	2.97E+01	1.98E+02	2.18E+01	**3.73E+02**
Staub/Partikel	g	6.63E+00	9.80E+00	2.25E+00	1.19E+01	7.66E+00	3.32E+01	5.80E+00	**7.72E+01**
Stickoxide (NOx) als NO2	g	4.68E+01	4.29E+02	1.19E+02	5.20E+02	3.18E+02	2.02E+03	2.31E+02	**3.68E+03**
TCDD-Äquivalente	ng						3.31E+04		**3.31E+04**
Zink (Zn)	g	2.24E-03	7.65E-03	3.05E-03	9.26E-03	1.63E-02	4.81E-01	6.35E-03	**5.26E-01**
Übrige Emissionen	g	2.19E-01	1.37E-02	1.15E-02	1.66E-02	2.42E-02	6.14E-01	2.77E-02	**9.26E-01**
Wasseremissionen									
AOX als Cl-	g	1.81E-04	1.43E-03	6.17E-04	1.73E-03	1.11E-03	4.82E-03	7.78E-04	**1.07E-02**
Aluminium (Al)	g	2.36E+00	9.58E-02	7.67E-02	1.16E-01	2.19E-01	5.83E+00	2.71E-01	**8.97E+00**
Ammonium (NH4+)	g	1.82E-01	7.96E-01	3.44E-01	9.64E-01	6.24E-01	2.93E+00	4.42E-01	**6.28E+00**
Anorg. Salze und Säuren	g	3.08E+01	1.40E+02	6.21E+01	1.70E+02	1.11E+02	1.25E+03	7.81E+01	**1.84E+03**
Aromatische KW	g	4.11E-02	3.09E-01	1.37E-01	3.74E-01	2.44E-01	1.25E+00	1.70E-01	**2.53E+00**
Arsen (As)	g	4.53E-03	4.75E-04	2.76E-04	5.75E-04	6.43E-04	1.21E-02	6.75E-04	**1.93E-02**
BOD	g	4.33E-03	3.27E-02	1.41E-02	3.95E-02	2.54E-02	1.12E-01	1.79E-02	**2.46E-01**
Barium (Ba)	g	2.93E-01	9.18E-01	4.08E-01	1.11E+00	7.35E-01	4.09E+00	5.20E-01	**8.07E+00**
Blei (Pb)	g	2.20E-02	9.86E-04	6.34E-04	1.19E-03	2.12E-03	5.75E-02	2.58E-03	**8.70E-02**
COD	g	1.17E-01	1.07E+00	4.61E-01	1.29E+00	8.27E-01	3.59E+00	5.81E-01	**7.93E+00**
Cadmium (Cd)	g	2.17E-04	4.03E-04	1.77E-04	4.88E-04	3.24E-04	1.82E-03	2.36E-04	**3.66E-03**
Chlorid (Cl-)	g	4.16E+01	1.94E+02	8.58E+01	2.34E+02	1.54E+02	1.35E+03	1.08E+02	**2.16E+03**
Chlorierte KW	g	4.46E-05	3.18E-04	1.41E-04	3.85E-04	2.52E-04	1.33E-03	1.75E-04	**2.65E-03**
Chrom (Cr)	g	2.25E-02	4.01E-03	2.11E-03	4.86E-03	4.51E-03	6.73E-02	4.25E-03	**1.10E-01**
Cyanid (CN-)	g	2.34E-04	1.43E-03	6.21E-04	1.73E-03	1.11E-03	4.97E-03	7.86E-04	**1.09E-02**
DOC	g	2.36E-03	1.72E-04	7.66E-04	2.08E-04	4.10E-04	5.28E-02	3.38E-04	**5.70E-02**
Eisen (Fe)	g	2.29E+00	2.04E-01	1.45E-01	2.47E-01	2.98E-01	6.12E+00	3.22E-01	**9.62E+00**
Fette/Öle	g	1.28E+00	9.66E+00	4.27E+00	1.17E+01	7.63E+00	3.89E+01	5.31E+00	**7.88E+01**
Kupfer (Cu)	g	1.10E-02	1.12E-03	6.63E-04	1.36E-03	1.54E-03	3.05E-02	1.62E-03	**4.78E-02**
Metalle	g	5.66E-01	2.23E+00	9.90E-01	2.70E+00	1.78E+00	9.59E+00	1.25E+00	**1.91E+01**
Nickel (Ni)	g	1.13E-02	1.49E-03	8.26E-04	1.80E-03	1.85E-03	3.15E-02	1.85E-03	**5.06E-02**
Nitrat (NO3-)	g	9.27E-02	2.39E-01	1.04E-01	2.89E-01	1.89E-01	9.69E-01	1.36E-01	**2.02E+00**
PAH Polyzykl. arom. KW	g	6.26E-04	4.74E-03	2.09E-03	5.74E-03	3.74E-03	1.91E-02	2.60E-03	**3.86E-02**
Phenole	g	6.57E-03	4.81E-02	2.12E-02	5.82E-02	3.79E-02	1.91E-01	2.64E-02	**3.89E-01**
Phosphat (PO4 3-)	g	1.30E-01	9.44E-03	6.16E-03	1.14E-02	1.52E-02	3.34E-01	1.71E-02	**5.23E-01**
Quecksilber (Hg)	g	4.09E-06	3.59E-06	1.75E-06	4.34E-06	3.03E-06	3.09E-05	2.30E-06	**5.00E-05**
Rad. Substanzen	kBq	5.24E+02	4.35E+00	3.46E+00	5.27E+00	3.61E+01	1.25E+03	5.11E+01	**1.87E+03**
Stickstoff gesamt	g	8.40E-02	7.79E-01	3.36E-01	9.43E-01	6.04E-01	2.63E+00	4.24E-01	**5.80E+00**
Stickstoff org. gebunden	g	1.34E-02	1.35E-01	5.83E-02	1.64E-01	1.05E-01	4.53E-01	7.34E-02	**1.00E+00**
Sulfat (SO4 2-)	g	5.97E+01	6.81E+00	3.65E+00	8.24E+00	8.95E+00	1.85E+03	9.19E+00	**1.95E+03**
Sulfid (S 2-)	g	1.57E-03	1.14E-02	4.94E-03	1.38E-02	8.87E-03	3.89E-02	6.25E-03	**8.58E-02**
Suspendierte Stoffe	g	4.64E+00	2.07E+01	9.21E+00	2.51E+01	1.65E+01	9.09E+01	7.24E+02	**8.91E+02**
TOC	g	6.11E-01	3.34E+00	1.53E+00	4.04E+00	2.64E+00	1.64E+01	1.85E+00	**3.04E+01**
Toluol (C7H8)	g	5.71E-03	4.31E-02	1.90E-02	5.21E-02	3.40E-02	1.74E-01	2.37E-02	**3.51E-01**
Zink (Zn)	g	2.32E-02	4.25E-03	2.18E-03	5.14E-03	4.68E-03	6.83E-02	4.42E-03	**1.12E-01**
Abfälle									
Abfälle in Inertstoffdeponie	kg								
Abfälle in KVA	kg						2.85E+03		**2.85E+03**
Abfälle in Reaktordeponie	kg					4.75E+03		9.50E+02	**5.70E+03**

4 WIRKUNGSABSCHÄTZUNG

4.1 Methode der Umweltbelastungspunkte (UBP)

Die Methode der Umweltbelastungspunkte (BUWAL, 1990) basiert auf dem Ansatz der sogenannten ökologischen Knappheit, die die aktuellen Flüsse mit „kritischen" Flüssen in Relation setzt. Die Methode erlaubt eine direkte Beurteilung des Energieverbrauchs und von chemischen und physikalischen Beeinflussungen der Umwelt.

Die Berechnung der sogenannten Ökofaktoren, mit denen die Flüsse (Emissionen, Energieverbrauch, Abfälle) multipliziert werden, ist bedeutsam in dieser Methode; sie basieren auf dem Zusammenhang zwischen aktuellem Fluss und dem als kritisch angesehenen Fluss einer Umwelteinwirkung. Die aktuellen Flüsse werden anhand nationaler Statistiken berechnet. Die kritischen Flüsse sind die entscheidende Grösse dieser Bewertungsmethode, weil für deren Bestimmung sowohl naturwissenschaftliches Wissen als auch gesetzliche Grundlagen verwendet werden. Werden die Daten einer Sachbilanz mit den Ökofaktoren multipliziert, ergeben sich daraus die entsprechenden Umweltbelastungspunkte. Mit Hilfe der Formel zur Berechnung der Ökofaktoren wird zuerst eine Normalisierung anhand des kritischen Flusses und nachher eine Bewertung mit der linearen Beziehung zwischen aktuellem und kritischem Fluss durchgeführt.

Ökofaktor (in UBP * Jahr/Einheit der Umwelteinwirkung) = $(1\ UBP/F_k) * (F/F_k) * c$

UBP: Umweltbelastungspunkt (dimensionslos)
F_k: kritischer Fluss pro Jahr (innerhalb eines definierten geographischen Raumes)
F: aktueller Fluss pro Jahr (innerhalb desselben geographischen Raumes)
c: dimensionsloser Faktor (10^{12})

Zum Ressourcenverbrauch fehlen Parameter (ausser zum Gesamtenergieverbrauch, wo 1 MJ = 1 UBP gesetzt wird). Die Autoren begründen dies in BUWAL (1990) damit, dass Mineralien eigentlich nicht knapp sind, sondern dass deren Abbau je nach Verfügbarkeit mit mehr oder weniger grossen Umweltbelastungen - die in der Ökobilanz berücksichtigt werden - verbunden ist.

Abfälle werden in BUWAL (1990) als Deponievolumen erfasst und beurteilt, wobei der aktuelle Fluss dem kritischen Fluss gleichgesetzt wird. In BRAUNSCHWEIG (1993) werden zudem Ökofaktoren für Lärm und Flächenverbrauch vorgeschlagen; beide Kategorien wurden in dieser Arbeit nicht erfasst.

4.2 Methode Eco-indicator 95

Die Methode „Eco-indicator 95" (GOEDKOOP, 1995) ist das Ergebnis eines niederländischen Projekts, das im Rahmen eines Forschungsprogramms durchgeführt wurde. Ziel des Projekts war, speziell für Produktdesigner ein einfach zu handhabendes Instrument auf der Basis von Ökobilanzen zum Einbezug ökologischer Aspekte während des Produktentwicklungsprozesses zur Verfügung zu stellen. Eco-indicator 95 baut auf der CML-Methode (CML, 1992) auf. Die in der Sachbilanz erfassten Umwelteinwirkungen werden nach Wirkungskategorien klassifiziert. Innerhalb einer Kategorie werden den einzelnen Emissionen Faktoren zugeteilt, welche die entsprechenden Auswirkungen auf die Umwelt, gemessen an der Auswirkung eines Refe-

renzschadstoffes (z.B. CO_2 für das Treibhauspotential), widerspiegeln. Die einzelnen, gegenüber CML (1992) modifizierten Wirkungskategorien werden gewichtet und zu einer Einzelzahl, den "Eco-indicator points", zusammengefasst.

Die Zielwerte für die Wirkungen werden aufgrund eines noch tolerierbaren Schadens - des sogenannten kritischen Schadens - in der Umwelt festgelegt. Die Festlegung eines gleichwertigen Schadens der einzelnen Kategorien und damit deren Gewichtung sind subjektiv. Die Methode konzentriert sich auf Schäden am Leben von Menschen und Ökosystemen.

Der Bereich Ressourcen an sich wird nicht als schützenswerter Umweltbereich betrachtet, da die Verknappung von Ressourcen in erster Linie als ein ökonomisches Problem angesehen wird. Lediglich Umwelteinwirkungen, die durch den Gebrauch von Ressourcen entstehen, werden berücksichtigt.

Die für Eco-indicator 95 berücksichtigten Wirkungskategorien und deren Reduktionsfaktoren (Gewichtung) sind in der folgenden Tabelle aufgezeigt.

Wirkungskategorie	**Betroffener Umweltbereich/ Schadenstyp**	**Reduktions-faktor** [1)]
Treibhauseffekt	Ökosystem	2.5
Ozonschichtzerstörung	Menschliche Gesundheit	100
Versauerung	Ökosystem	10
Überdüngung	Ökosystem	5
Sommersmog (Ozonbildung)	Menschliche Gesundheit	2.5
Wintersmog	Menschliche Gesundheit	5
Pestizide	Ökosystem	25
Schwermetalle in Luft	Menschliche Gesundheit	5
Schwermetalle in Wasser	Ökosystem	5
Krebserregende Substanzen	Menschliche Gesundheit	10

1) Reduktionsfaktor = Verhältnis des aktuellen Werts der Wirkungskategorie zum Zielwert

4.3 Ergebnisse

Die Resultate sind in den Tabellen 5 und 6 dargestellt und werden zusammen mit den Figuren 5 - 8 im Kapitel 5 interpretiert.

Tabelle 5: Wirkungsabschätzung mit Umweltbelastungspunkten

UBP ohne UBP für Deponie	Herstellung	Transport nach ZH	Streuung	Transporte für Entsorgung	Recycling/ Aufbereitung	Entsorgung	Strassen-reinigung	Schlamm-entwässerung	Total
Streusalz	11'084	5'884	23'554	0	0	0	0	0	**19'052**
Splitt mit Recyclinganlage	2'418	14'924	7'136	11'751	38'286	22'801	104'033	12'170	**213'518**
Splitt mit Aufbereitung	3'629	22'386	7'136	20'336	0	8'318	104'033	12'170	**178'007**
Splitt auf Deponie	3'629	22'386	7'136	27'093	0	16'810	104'033	12'170	**193'257**

UBP mit UBP für Deponie	Herstellung	Transport nach ZH	Streuung	Transporte für Entsorgung	Recycling/ Aufbereitung	Entsorgung	Strassen-reinigung	Schlamm-entwässerung	Total
Streusalz	11'084	5'884	23'554	0	0	0	0	0	**40'523**
Splitt mit Recyclinganlage	2'418	14'924	7'136	11'751	38'286	321'121	292'133	221'170	**908'938**
Splitt mit Aufbereitung	3'629	22'386	7'136	20'336	0	14'588	292'133	221'170	**581'377**
Splitt auf Deponie	3'629	22'386	7'136	27'093	0	1'061'810	292'133	221'170	**1'635'357**

UBP nach Kompartimenten	Energie	Luft	Wasser	Total ohne Deponie	Deponie	Total mit Deponie
Streusalz	2'668	16'014	21'840	**40'523**	0	**40'523**
Splitt mit Recyclinganlage	6'943	203'707	2'868	**213'518**	695'420	**908'938**
Splitt mit Aufbereitung	4'641	171'747	1'619	**178'007**	403'370	**581'377**
Splitt auf Deponie	4'447	187'107	1'703	**193'257**	1'442'100	**1'635'357**

Tabelle 6: Wirkungsabschätzung mit Eco-indicator 95

Eco-indicator 95	Herstellung	Transport nach ZH	Streuung	Transporte für Entsorgung	Recycling/ Aufbereitung	Entsorgung	Strassen-reinigung	Schlamm-entwässerung	Total
Streusalz	0.0760	0.0167	0.0061	0	0	0	0	0	**0.0989**
Splitt mit Recyclinganlage	0.0118	0.0405	0.0251	0.0319	0.2847	0.0629	0.2906	0.0338	**0.7814**
Splitt mit Aufbereitung	0.0177	0.0607	0.0251	0.0551	0	0.0313	0.2906	0.0338	**0.5144**
Splitt auf Deponie	0.0177	0.0607	0.0251	0.0735	0	0.0466	0.2906	0.0338	**0.5481**

Eco-indicator 95 nach Wirkungskategorien	Treibhaus-potential	Versauerungs-potential	Eutrophierungs-potential	Schwermetalle	Krebserregende Substanzen	Wintersmog	Sommersmog	Total
Streusalz	0.0079	0.0281	0.0041	0.0256	0.0177	0.0102	0.0054	**0.0989**
Splitt mit Recyclinganlage	0.0739	0.2872	0.0664	0.1339	0.0811	0.0538	0.0852	**0.7814**
Splitt mit Aufbereitung	0.0386	0.2459	0.0598	0.0405	0.0486	0.0235	0.0576	**0.5144**
Splitt auf Deponie	0.0414	0.2654	0.0652	0.0381	0.0497	0.0238	0.0645	**0.5481**

5 AUSWERTUNG/INTERPRETATION

5.1 Ressourcen- und Energiebedarf

Als nicht energetisch genutzte Ressourcen werden fast ausschliesslich die Streumittel selber abgebaut. Hinzu kommt das zur Lösung des Salzes benötigte Wasser. Sowohl bei der Salz- wie der Splittproduktion ergeben sich kaum Abfälle, da Salz in reiner Form vorkommt bzw. beim Wandkiesabbau verschiedene Produkte (Kies, Brechsand etc.) hergestellt werden.

Beim Salz wird als Folge des Verdampfungsprozesses der Hauptteil der Energie für die Herstellung benötigt. Transporte und Streuung sind demgegenüber wegen der relativ kleinen Mengen von untergeordneter Bedeutung.

Im Gegensatz dazu spielt bei den Szenarien mit Splitt die Herstellung des Splitts selber nur eine kleine Rolle. Als Folge der grossen eingesetzten Mengen fallen hingegen die Transporte stark ins Gewicht. Den grössten Energiebedarf, rund 50% des gesamten Verbrauchs, weist jedoch die Strassenreinigung als Folge der Entsorgung in der KVA auf. Das mobile Recyclingverfahren benötigt als Folge der Trockenverfahrens viel Energie (Heizöl).

5.2 Emissionen

Die Luftemissionen sind geprägt durch die Schadstoffemissionen bei der Bereitstellung und Verbrennung fossiler Energieträger. Die Grössenordnung der nicht erfassten Staubbelastung beim Umgang mit Splitt ist schwierig abzuschätzen; die Ergebnisse für die mobile Recyclinganlage, die den grossen Teil der Staubemissionen dieses Szenarios produziert, weisen jedoch darauf hin, dass diese von Bedeutung sind.

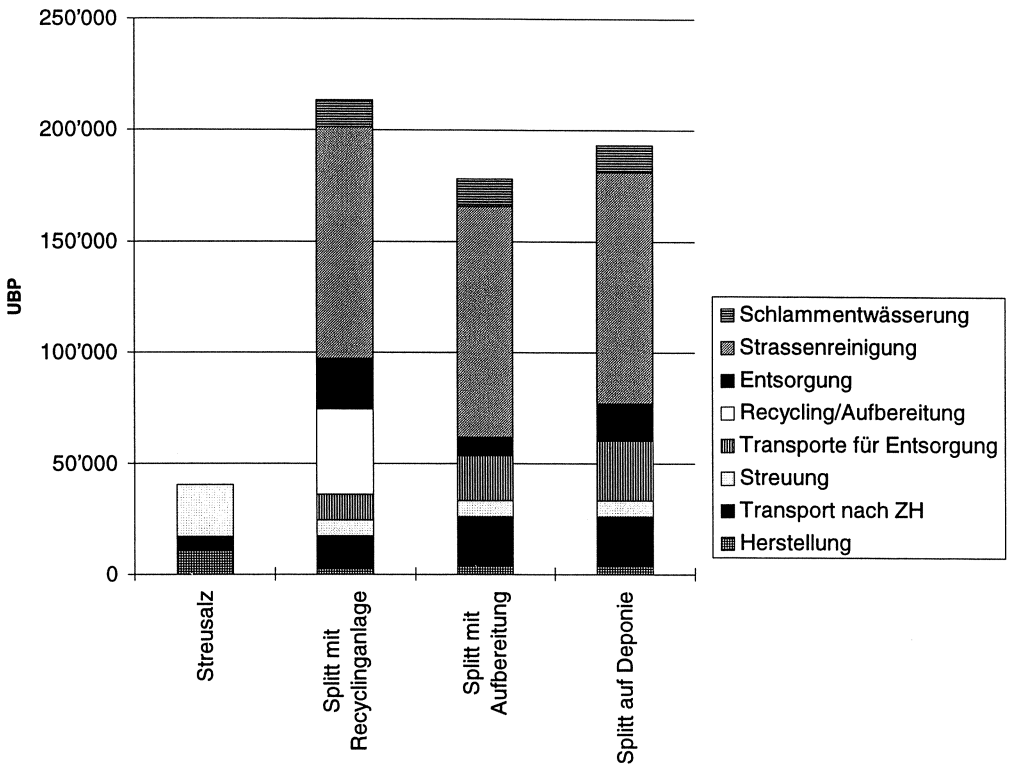
5.3 Abfälle

Während bei der Salzstreuung keine nennenswerten Abfallmengen anfallen, sind diese bei der Entsorgung des Splitts von Bedeutung. Für die mit der Splitteinsammlung erfassten Mengen stehen adäquate Mittel zur Verfügung, die eine Weiterverwendung ermöglichen und die Abfallmengen beschränken. Schwierigkeiten bietet hingegen die Entsorgung der Abfälle aus der Strassenreinigung und der Schlammentwässerung, da für diese keine sinnvolle Weiterverwendungsmöglichkeit besteht.

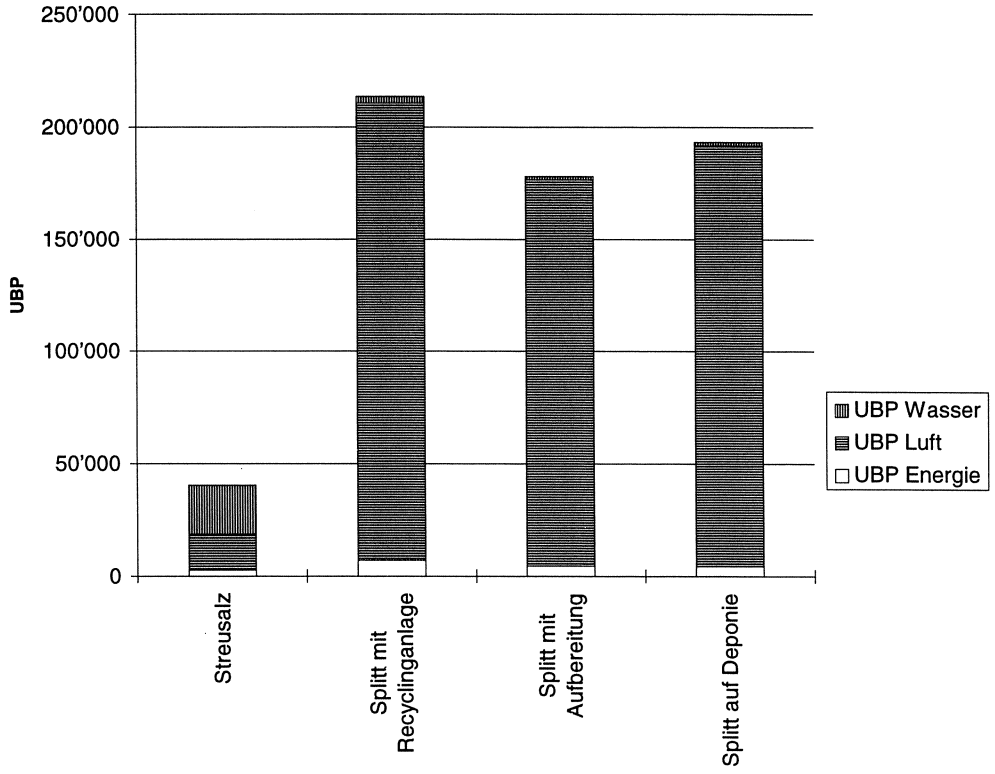
5.4 Umweltbelastungspunkte (Figuren 5, 6)

Aus den Ökofaktoren dieser Methode ergeben sich in der vorliegenden Anwendung sehr hohe UBP-Werte für die Entsorgung (s. Kapitel 4.1), insbesondere beim Szenario Deponie. Diese Werte sind mit Vorsicht zu interpretieren, da die mit der Entsorgung verbundenen Emissionen bereits über die Ökofaktoren der entsprechenden Schadstoffe erfasst werden und der beanspruchte Deponieraum in erster Linie ein Raum- sowie ein wirtschaftliches Problem und nicht nur ein ökologisches darstellt. Deswegen und der Übersichtlichkeit zuliebe sind die Figuren 5 und 6 ohne die UBP für Deponie dargestellt.

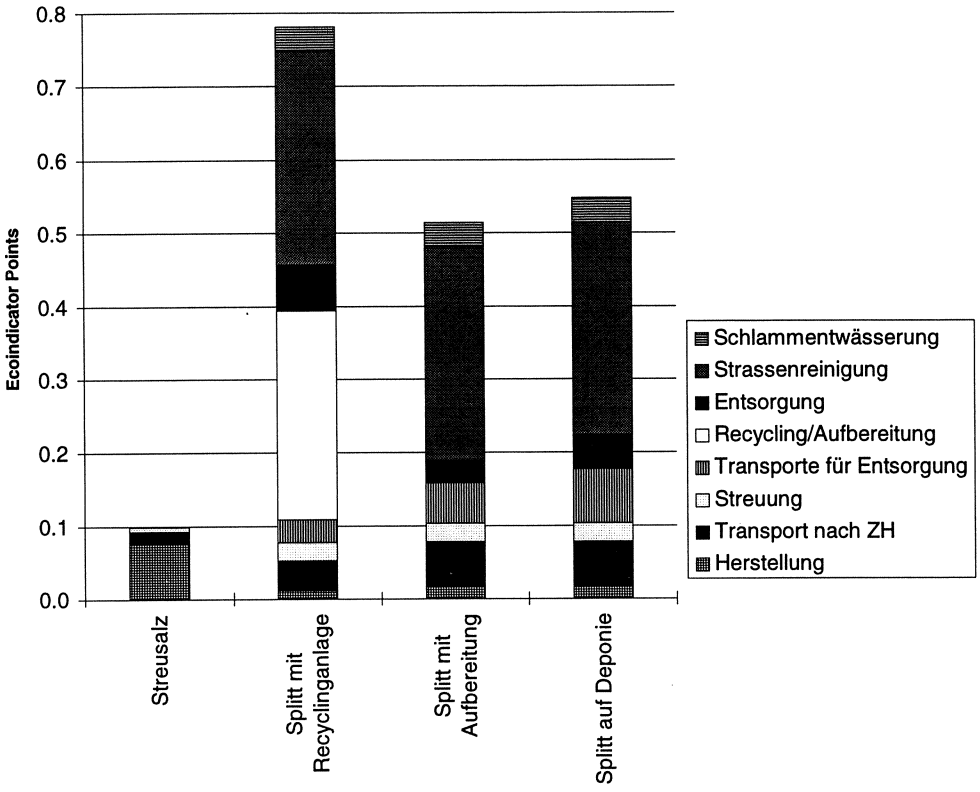
Während Herstellung, Transporte nach Zürich und Streuung für alle Systeme in der gleichen Grössenordnung liegen, ergeben sich grosse Werte für die Entsorgung des Splitts, insbesondere desjenigen Anteils, der über die Strassenreinigung in die KVA gelangt.



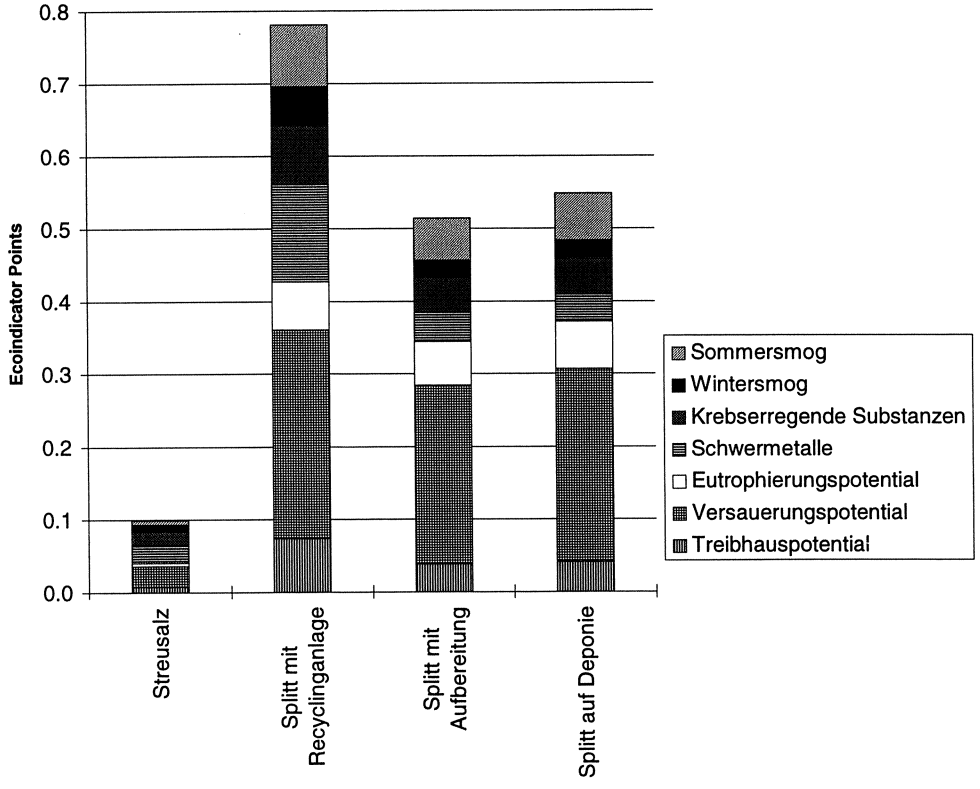
Figur 5: Wirkungsabschätzung mit Umweltbelastungspunkten (ohne UBP für Deponie)



Figur 6: Wirkungsabschätzung mit Umweltbelastungspunkten UBP nach Kompartimenten (ohne UBP für Deponie)



Figur 7: Wirkungsabschätzung nach Eco-indicator 95



Figur 8: Wirkungsabschätzung nach Eco-indicator 95
Aufteilung nach Wirkungskategorien

Die Darstellung nach Kompartimenten Energie, Luft, Wasser (Fig. 6) zeigt, dass beim Splitt die Luftbelastung grössere Bedeutung hat als die Wasserbelastung oder der Energieverbrauch (wie erwähnt von den UBP für Abfälle abgesehen). Beim Salz rühren die Umweltbelastungspunkte mehrheitlich vom Kompartiment Wasser her, dies als Folge der Chloridemissionen.

Um eine Vorstellung der Grössenordnung der UBP zu ermöglichen, werden die Absolutwerte mit den UBP-Werten für Strassenverkehr (87 UBP/km für PW, nur Schadstoffemissionen und Energieverbrauch) aus BRAUNSCHWEIG (1993) verglichen. In UBP ausgedrückt, entsprechen die Zahlen für einen Winterstrassendienst einer ungefähren PW-Fahrleistung von beispielsweise 460 km (Salzstreuung), 2500 km (Splittstreuung mit Recyclinganlage, ohne UBP für Deponie) oder 19'000 km (Splittstreuung mit Deponierung, inkl. UBP für Deponie). Diese Angaben sind mehr als Zahlenspiel zu verstehen, da die Grundlagen und Erhebungsweise nicht vergeichbar sind.

5.5 Eco-indicator 95 (Figuren 7, 8)

Bei der Wirkungsabschätzung nach Eco-indicator 95 (Fig. 7) ergeben sich - wie bei den UBP - gesamthaft Werte in der gleichen Grössenordnung für die Herstellung und die Streuung von Salz und Splitt. Auch hier ist die Entsorgung des Splitts der dominierende Faktor. Die mobile Recyclinganlage führt zu viel höheren Werten bei diesem Szenario als bei den anderen Varianten.

Aus den nach Wirkungskategorien aufgeteilten Ergebnissen (Fig. 8) wird ersichtlich, dass mit der Methode Eco-indicator 95 der Versauerung, die v.a. eine Folge der Stick- und Schwefeloxidemissionen beim Verbrauch fossiler Energieträger ist, grosse Bedeutung zukommt. Viele Werte sind auf Emissionen zurückzuführen, die mit der Bereitstellung und Verbrennung von Energieträgern zusammenhängen. Diese rühren von den verwendeten Datenbanken (ETH-ESU, 1994) her. Dies gilt insbesondere für die Kategorie „Krebserregende Substanzen", die sich aus verschiedenen Kohlenwasserstoff- und Metallemissionen zusammensetzt. Eine Ausnahme bilden die gemessenen Schwermetallemissionen der Recyclinganlage der Stadt Zürich, die sich im entsprechenden Szenario bei der Kategorie der Schwermetalle auswirken.

6 ZUSAMMENFASSUNG UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Als Folge der gegenüber Splitt bedeutend geringeren verwendeten Mengen und der überflüssigen Einsammlung sind beim Salz die Umweltauswirkungen der Transporte und der Entsorgung wesentlich kleiner.

Die vorhandene Datenlage und die zeitliche Einschränkung der Studie ermöglichte die Erstellung einer vereinfachten Ökobilanz für einen Einzelfall mit Grobabschätzung der wichtigsten Umweltauswirkungen von Salz und Splitt im Winterdienst. Für eine abgesicherte und allgemeingültige Aussage müssten einige Annahmen und Datengrundlagen verifiziert und erweitert werden.

Die Auswirkungen des ausgestreuten Salzes auf die Umwelt sind mit Ökobilanzen schwierig zu erfassen, insbesondere wegen der ausgesprochenen Standortrelevanz der Emissionen. Gesamthaft (schweizweit) betrachtet, führen die Chloridemissionen zu einer Gewässerbelastung, die deutlich unter dem Qualitätswert in der Gewässerschutzverordnung liegt; hingegen sind Überschreitungen bei sehr kleinen Gewässern nicht auszuschliessen. Für Chloride liegen bei verschiedenen Methoden für die Wirkungsabschätzung, so auch bei Eco-indicator 95, keine Faktoren vor.

Für die Erfassung und Wirkungsabschätzung von Staubemissionen bei der Handhabung von Splitt müssten gezielte Emissionsmessungen vorgenommen werden.

Beim Einsatz von Splitt sind Lösungen zu suchen, die einen hohen Rückführungsgrad des ausgestreuten Materials in den Wertstoffkreislauf ermöglichen und den Anteil reduzieren, der in KVA/Deponien entsorgt werden muss. Angesichts des bevorstehenden Verbots der Ablagerung in Reaktordeponien kann dieses Szenario nur als Übergangslösung in Betracht gezogen werden, führt jedoch zu leicht höheren Umweltbelastungen und bedeutend grösserem Bedarf an Deponieraum als bei der Aufbereitung zu Sand/Kies.

Wegen der grossen verwendeten Mengen ist besonders beim Einsatz von Splitt auf möglichst kurze und effizient ausgenützte Transporte zu achten.

Bei allen Streumitteln ist aus ökologischer Sicht ein möglichst reduzierter Einsatz von Streumitteln anzustreben.

LITERATUR

BRAUNSCHWEIG, A. und MÜLLER-WENK; R. (1993): Ökobilanzen für Unternehmungen. Paul Haupt Verlag, Bern.

BUWAL (1990): Ahbe. S., Braunschweig, A., Müller-Wenk, R.: Methodik für Ökobilanzen auf der Basis ökologischer Optimierung. Schriftenreihe Umwelt Nr. 133. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.

BUWAL (1996): K. Habersatter, I. Fecker et al.: Ökoinventare für Verpackungen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 250. Herausgeber: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, und Schweizerisches Verpackungsinstitut, Bern.

CML (1992): Heijungs, R. et al.: Environmental life cycle assessment of products. Backgrounds & guide. Centrum for Milieukunde CML, Leiden NL.

ETH-ESU (1994): Frischknecht, R. et al.: Ökoinventare für Energiesysteme. Laboratorium für Energiesysteme, Gruppe Energie-Stoffe-Umwelt, ETH Zürich.

GOEDKOOP, M. (1995): The Eco-indicator 95, Final report. National reuse of waste research programme (NOH), report 9523. Bezug: Pré Consultants, Amersfoort NL.

DANK

Den folgenden Betrieben, die Daten und Informationen zur Verfügung gestellt haben, sei hier gedankt:

- Eberhard Recycling AG, Rümlang
- Stadtentwässerung der Stadt Zürich
- Tiefbauamt der Stadt Zürich
- Toggenburger AG, Kieswerke und Transporte, Wil (ZH)/Winterthur
- Vereinigte Schweizerische Rheinsalinen AG, Schweizerhalle/Pratteln