

**Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie
und Kommunikation**

Wirksamkeit des Winterdienstes

Efficacité du service hivernal

Effectiveness of road-winter-Service

Rapp Trans AG Zürich

Georg Abay, Dr. oec. publ.

**Forschungsauftrag VSS 1999/246 auf Antrag des Schweizerischen Ver-
bandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

September 2005

Forschungsstelle

Rapp Trans AG

Uetlibergstrasse 132, 8045 Zürich, Tel. 043 268 60 30, www.rapp.ch

Georg Abay, Dr. oec. publ.

Mitglieder der Begleitkommission

Fridolin Vögeli	Kanton Aargau, Strassenunterhalt (Präsident)
Peter Mathis	Tiefbauamt der Stadt Zürich, Wallisellen
Peter Köhli	Strassenverwalter, Horgen
Ulrich Schlup	ASTRA, Bern
Louis-Daniel Martin	Centre d'entretien des RN, Lausanne
Bruno Zimmermann	Strasseninspektorat NW, Stans
Jeannot Wagner	Baudirektion Kanton Zürich, Tiefbauamt Fahrzeugdienst, Dietlikon
Martin Reichenwallner	armasuisse, Bern
Werner Zaugg	Zaugg AG Eggiwil

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung, Resumé, Summary		K1, R1, S1
1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Ziele der Studie	1
2	Untersuchungsprogramm	2
3	Stand der Forschung	4
4	Vorgehen	6
4.1	Grundsätzliches zur volkswirtschaftlichen Bewertung des Winterdienstes	6
4.2	Methodik	7
5	Vorbereitung der Erhebungen	8
5.1	Auswahl der Messorte	8
5.2	Rekrutierung der Beobachter	10
5.3	Zusammenarbeit mit den Winterdiensteinsatzleitern	11
5.4	Automatenzählungen	11
5.5	Einsätze der Beobachter	12
5.6	Die Datensätze in den Winterperioden 2002/2003 und 2003/2004	12
6	Fahrverhalten bei winterlichen Verhältnissen	21
6.1	Einleitung	21
6.2	Verkehrsbelastung	21
6.3	Geschwindigkeitsverhalten	23
6.4	Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke	26
6.5	Zeitlückenverteilung	27
7	Auswirkungen des Winterdienstes	29
8	Risikobewertung des Fahrverhaltens	34
8.1	Grundlagen der Berechnung	34
8.2	Berechnung und Vergleich der Anhaltewege	35
8.3	Berechnete Risikofaktoren F	36
8.4	Vergleich des Abstandsverhaltens	37
9	Zusammenhang zwischen Fahrverhalten und Unfallgeschehen	39
9.1	Einleitung	39
9.2	Vorgehen	39
9.3	Analyse der Unfalldaten	40
9.3.1	Einleitung	40
9.3.2	Unfallgeschehen auf der A1 (Strecke Baden – Rothrist)	40
9.3.3	Unfallgeschehen auf der A3 zwischen Reichenburg und Zürich	43
9.3.4	Unfallgeschehen an der A1 (Werkhof Mattstetten)	45
9.3.5	Unfallgeschehen an der Rosengartenstrasse	45

9.3.6	Unfallgeschehen auf der Rorschacherstrasse in St. Gallen	46
10	Zeit- und Fahrzeugbetriebskosten	49
10.1	Zeitkosten	49
10.2	Fahrzeugbetriebskosten	51
11	Weitere Nutzen des Winterdienstes	55
12	Externe Kosten	56
12.1	Einleitung	56
12.2	Unfallfolgekosten	57
12.3	Soziale Kosten der Luftverschmutzung	57
12.3.1	Gesundheitskosten	58
12.3.2	Korrosionsschäden an Bauwerken und Fahrzeugen	59
12.4	Umweltauswirkungen der Salzstreuung	60
12.4.1	Einflüsse der Salzstreuung auf den Boden und auf die Vegetation	60
12.4.2	Einflüsse der Salzstreuung auf Gewässer und Tiere	60
13	Kosten des Winterdienstes	61
13.1	Einleitung	61
13.2	Winterdienstkosten Werkhof Wädenswil	61
13.3	Winterdienstkosten im Werkhof Lenzhard (Hunzenschwil)	62
13.4	Winterdienstkosten im Werkhof Bern	63
13.5	Winterdienstkosten im Werkhof St. Gallen	64
13.6	Winterdienstkosten in Zürich, Bezirk M (Hardhof)	65
14	Die volkswirtschaftliche Bewertung des Winterdienstes	67
14.1	Einleitung	67
14.2	Volkswirtschaftliche Bewertung des Winterdienstes für die A3 zwischen Reichenburg und Zürich	68
14.3	Volkswirtschaftliche Bewertung des Winterdienstes für die A1 zwischen Baden und Rothrist	69
14.4	Volkswirtschaftliche Bewertung des Winterdienstes für die A1 bei Mattstetten	70
14.5	Volkswirtschaftliche Bewertung des Winterdienstes für die Rorschacherstrasse	71
14.6	Volkswirtschaftliche Bewertung des Winterdienstes für die Rosengartenstrasse	72
15	Schlussfolgerungen	74
15.1	Auswirkungen des Winterdienstes	74
15.2	Überlegungen zur Kosten-Nutzen-Analyse des Winterdienstes	74
Literaturverzeichnis		77
Anhang 1	Geschwindigkeitsverteilungen vor und nach Winterdiensteinsätzen	79
Anhang 2	Ganglinien und Geschwindigkeiten	82
Anhang 3	Formular für die Beobachter	85
Anhang 4	Beispiel für Unfalldaten	91

Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1	Beobachtungseinsätze Winterdienst: Hunzenschwil	13
Tabelle 5-2 Mattstetten	Beobachtungseinsätze Winterdienst: Mattstetten, Autobahnbrücke A1, Brücke	14
Tabelle 5-3 Richtung Luzern	Beobachtungseinsätze Winterdienst: Muttenz, Zurlindenbrücke Pratteln,	15
Tabelle 5-4	Beobachtungseinsätze Winterdienst: St. Gallen	16
Tabelle 5-5	Beobachtungseinsätze Winterdienst: Wädenswil, Richtung Zürich	18
Tabelle 5-6 Hardbrücke	Beobachtereinsätze Winterdienst: Zürich, Rosengartenstrasse, Richtung	20
Tabelle 6-1	Durchschnittliche tägliche Verkehrsbelastung 2003 an Werktagen (Dienstag bis Donnerstag) je Monat: Messort Wädenswil/Thalwil	21
Tabelle 6-2	Durchschnittliche tägliche Verkehrsbelastung für ausgeprägt winterliche Tage: Messort Wädenswil/Thalwil	22
Tabelle 6-3	Durchschnittliche tägliche Verkehrsbelastung 2003 an Werktagen (Dienstag bis Donnerstag) je Monat : Messort Hunzenschwil	22
Tabelle 6-4	Durchschnittliche tägliche Verkehrsbelastung für ausgeprägt winterliche Tage: Messort Hunzenschwil	22
Tabelle 6-5	Geschwindigkeitskennwerte und Geschwindigkeitsdifferenz je Messort	25
Tabelle 6-6	Zeitlückenverteilung: Messort Hunzenschwil, 2. Februar 2003 winterliche, 17. März 2004 trockene Fahrbahn	28
Tabelle 8-1	Längsneigung in Beobachtungsrichtung	36
Tabelle 8-2	Berechnete Risikofaktoren F	36
Tabelle 8-3 Hunzenschwil	Fahrzeugabstände auf trockener Fahrbahn in der Morgenspitzenstunde bei	37
Tabelle 8-4 Hunzenschwil	Vergleich der Fahrzeugabstände auf trockener und winterlicher Fahrbahn bei	38
Tabelle 8-5	Vergleich der Fahrzeugabstände auf trockener und winterlicher Fahrbahn in Zürich, Rosengartenstrasse	38
Tabelle 9-1	Glätteunfälle auf der A1 zwischen Baden und Rothrist	41
Tabelle 9-2	Alle Unfälle ausgenommen Glätteunfälle auf der A1 zwischen Baden und Rothrist	41
Tabelle 9-3	Glätteunfälle auf der A3 zwischen Reichenburg und der Stadtgrenze Zürich	44
Tabelle 9-4	Alle Unfälle ausgenommen Glätteunfälle auf der A3 zwischen Reichenburg und der Stadtgrenze Zürich	44
Tabelle 9-5	Glätteunfälle auf der Rorschacherstrasse in St. Gallen	46
Tabelle 9-6 Gallen	Alle Unfälle ausgenommen Glätteunfälle auf der Rorschacherstrasse in St.	47
Tabelle 10-1	Fahrzeiten und Zeitgewinne für den 30. Januar 2003 für die A3 bei Wädenswil	50
Tabelle 10-2	Fahrzeiten und Zeitgewinne für einen „mittleren“ winterlichen Tag mit Winterdiensteinsatz	51
Tabelle 10-3	Treibstoffverbrauch [Liter] an einem „mittleren“ winterlichen Tag mit und ohne Winterdiensteinsatz	53

Tabelle 10-4	Treibstoffverbrauch [Liter] an einem „mittleren“ winterlichen Tag mit und ohne Winterdiensteinsatz (modifizierte Zahlen aufgrund erhöhtem Treibstoffverbrauch auf winterlichen Strassen)	54
Tabelle 12-1	NO _x -Ausstoss [kg] an einem „mittleren“ winterlichen Tag mit und ohne Winterdiensteinsatz	59
Tabelle 13-1	Winterdienstkosten im Werkhof Wädenswil (Franken)	61
Tabelle 13-2	Winterdienstkosten im Werkhof Lenzhard (Schätzwerte)	62
Tabelle 13-3	Winterdienstkosten im Autobahnwerkhof Bern	63
Tabelle 13-4	Angaben des Werkhofes in St. Gallen (Schätzung)	64
Tabelle 13-5	Winterdienstkosten im Werkhof St. Gallen	65
Tabelle 13-6	Angaben des Werkhofes Hardhof (Bezirk M)	65
Tabelle 13-7	Winterdienstkosten in Zürich, Bezirk M (Hardhof)	66
Tabelle 14-1	Volkswirtschaftliche Rechnung für die Strecke Reichenburg-Zürich (A3)	68
Tabelle 14-2	Volkswirtschaftliche Rechnung für die Strecke Baden-Rothrist (A1)	69
Tabelle 14-3	Volkswirtschaftliche Rechnung für den untersuchten Abschnitt bei Mattstetten	70
Tabelle 14-4	Volkswirtschaftliche Rechnung für die Rorschacherstrasse (St. Gallen)	72
Tabelle 14-5	Volkswirtschaftliche Rechnung für die Rosengartenstrasse	73
Tabelle 14-6	Volkswirtschaftliche Rechnung für den Bezirk „M“ (in der Stadt Zürich)	73

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 6-1	Geschwindigkeitsverteilung Wädenswil, 4. Februar 2003, 6:30, Spur 1	24
Abbildung 6-2	Geschwindigkeitsverteilung St. Gallen, Rorschacherstrasse 7. Januar 2003, 19:45, Spur 1	24
Abbildung 6-3	Mittlere Fahrzeuggeschwindigkeiten bei trockenem Fahrbahnzustand: Messort Hunzenschwil, 17. März 2004	26
Abbildung 6-4	Mittlere Fz-Geschwindigkeiten an einem Tag mit winterlichen Fahrbahnzuständen: Messort Hunzenschwil, 29. Januar 2004	27
Abbildung 7-1	Geschwindigkeitsverteilung Wädenswil 4. Februar 2003, 6:30, Spur 1	30
Abbildung 7-2	Geschwindigkeitsverteilung St. Gallen, Rorschacherstrasse 7. Januar 2003, 19:45, Spur 1	30
Abbildung 7-3	Geschwindigkeitsverläufe in 15-Minuten-Intervalle Wädenswil 4. Februar 2003, 6:30, Spur 1	32
Abbildung 7-4	Geschwindigkeitsverläufe in 15-Minuten-Intervalle St. Gallen, Rorschacherstrasse 7. Januar 2003, 19:45, Spur 1	33
Abbildung 10-1	Treibstoffverbrauch in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	52
Abbildung 12-1	NO _x -Emissionen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit	58

Projektleitung und Sachbearbeitung:

Dr. Georg Abay

Kurzfassung

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsstudie wurden zum ersten Mal in der Schweiz die volkswirtschaftlichen Vor- und Nachteile des Strassenwinterdienstes quantifiziert. Dabei wurden auch, soweit dies möglich war, die als Folge des Strassenwinterdienstes resultierenden Umweltkostenänderungen quantitativ erfasst. Zusätzlich wurde auch das Fahrverhalten auf winterglatten Fahrbahnen untersucht.

Die Untersuchung basiert grundsätzlich auf der Methodik, die von den deutschen Autoren Durth, Hanke und Levin (1989) ausgearbeitet wurde. Das Wesentliche dieser Methodik besteht, darin, dass an verschiedenen Standorten das Verkehrsverhalten der Fahrzeugführer an winterlichen Tagen vor und nach dem Einsatz des Winterdienstes untersucht wird. Das Verkehrsverhalten wurde teils durch speziell geschulte Beobachter, teils durch Automatenzähler erfasst. Die Beobachter hatten die Aufgabe, das Verkehrsgeschehen, die Witterung, den Strassenzustand vor und nach dem Einsatz des Winterdienstes zu beobachten und zu protokollieren. Die Automatenzähler erfassten neben der Fahrzeugmenge auch die Geschwindigkeiten der Fahrzeuge.

Für die Ermittlung und Quantifizierung weiterer Kosten- bzw. Nutzelemente wurden im Weiteren die Winterdienstprotokolle sowie die Kostenangaben der zuständigen Werkhöfe, und die Unfalldaten auf den relevanten Strassenabschnitten verwendet.

Für die Untersuchung wurden die folgenden Beobachtungsstandorte, bzw. Messorte ausgewählt:

- A3 bei Gattikon (zwischen Wädenswil/Thalwil, Richtung Zürich, DTV in beiden Richtungen: ca. 50'000)
- A1 bei Hunzenschwil (Richtung Bern, DTV in beiden Richtungen: ca. 57'000)
- A1 bei Mattstetten (Richtung Bern, DTV in beiden Richtungen: ca. 72'000)
- A2, bei Muttenz, (Richtung Luzern, DTV in beiden Richtungen: ca. 116'000)
- Zürich, Rosengartenstrasse (Richtung Hardbrücke, DTV in beiden Richtungen: ca. 66'000)
- St. Gallen, Rorschacherstrasse (Richtung aus der Stadt hinaus, DTV in beiden Richtungen: ca. 8'000)

Die ersten vier Messorte befinden sich auf Autobahnen, die zwei letztgenannten in den Städten Zürich, beziehungsweise St. Gallen.

Um genügend Daten für die Analyse zu erhalten, mussten die Beobachtungen und die Automatenzählungen während zwei Winterperioden, 2002/2003 und 2003/2004 durchgeführt werden. Wegen Mangel an winterlichen Strassenzuständen an der Zählstelle bei Muttenz musste die Untersuchung auf die fünf übrigen Standorte beschränkt werden.

Fahrverhalten auf winterlicher Fahrbahn

In einem ersten Schritt wurde zunächst das Fahrverhalten der Automobilisten vor und nach den Winterdiensteinsätzen untersucht und dies mit dem Verhalten bei normalen Strassenzuständen verglichen. Untersucht wurde insbesondere das Geschwindigkeitsverhalten.

Das Geschwindigkeitsniveau ist auf winterlichen Fahrbahnen überall deutlich tiefer als auf trockener Fahrbahn. Auf den Autobahnen liegt diese Differenz zwischen 32 km/h und 42 km/h. Auf den städtischen Strassen ist die Differenz wegen der dort geltenden Geschwindigkeitsbegrenzungen deutlich kleiner, sie liegt zwischen 7 km/h (Rosengartenstrasse) und 17km/h (St. Gallen).

Dreissig bis 60 Minuten nach dem Winterdiensteinsatz ist die Fahrbahn normalerweise salznass. Auf salznasser Fahrbahn wird wieder schneller gefahren. Die Durchschnittsgeschwindigkeiten auf Autobahnen bleiben aber noch deutlich tiefer als auf trockener Fahrbahn. Auf städtischen Strassen wird hingegen praktisch gleich schnell gefahren wie auf trockener Fahrbahn.

Die Bandbreite der Fahrzeuggeschwindigkeiten reduziert sich bei winterlichen Fahrbahnzuständen deutlich; es wird nicht nur langsamer, sondern auch homogener gefahren. Der Unterschied beträgt 8-10 km/h. Auf salznasser Fahrbahn nimmt die Bandbreite wieder zu.

In einem weiteren Schritt wurde das Fahrverhalten auch fahrdynamisch untersucht. Dabei ging es um die Frage, ob die gewählten Geschwindigkeiten optimal den winterlichen Strassenzuständen angepasst sind. Die Berechnungen zeigten, dass auf salznasser Fahrbahn das Fahrverhalten nicht wesentlich riskanter ist als auf trockener Fahrbahn. Das Risiko auf winterlicher Fahrbahn ist jedoch signifikant höher. Das bedeutet, dass die Autofahrer deutlich zu schnell fahren.

Eine Analyse des Abstandsverhaltens auf trockener Fahrbahn zeigte generell, dass die 2-Sekunden-Regel schlecht eingehalten wird. Bei winterlichen Verhältnissen fahren die Leute jedoch vorsichtiger; die 2-Sekunden-Regel wird von der Mehrheit respektiert. Offenbar korrigieren damit viele Fahrzeuglenker die Tatsache, dass sie zu schnell fahren.

Nutzen und Kosten des Winterdienstes

Der Nutzen des Winterdienstes besteht insbesondere darin, dass Glätteunfälle und grössere Zeitverluste verhindert werden. Die Verhinderung von Glätteunfällen und die Ermöglichung höherer Reisegeschwindigkeiten sind denn auch die wichtigsten Nutzelemente des Winterdienstes.

Der Winterdienst verursacht aber auch Kosten. Für den Winterdiensteinsatz braucht es spezielle Fahrzeuge und Geräte, Streustoffe (Salz) und nicht zuletzt Personal im Bereitschaftsdienst. All dies verursacht direkte Kosten. Der Winterdienst verursacht aber auch externe Kosten, wie die zusätzliche Belastung der Böden durch Salz. Gleichzeitig werden durch den Winterdienst aber die Schadstoffemissionen des Verkehrs gesenkt.

Um die Nutzen und die Kosten miteinander vergleichen zu können, müssen diese volkswirtschaftlich bewertet werden. Dies geschieht mit Hilfe der Kosten-Nutzen-Analyse.

Die Wirkungen werden dabei im Vergleich zum Referenzfall ermittelt. Der Referenzfall war bei den vorliegenden Untersuchungen nicht der schlimmste mögliche Fall, sondern der Zustand kurz vor dem Einsatz des Winterdienstes. Für die Bewertung sind dabei die folgenden zwei Fragen entscheidend:

- Welche volkswirtschaftlichen Kosten würden an einem winterlichen Tag mit Schneefall entstehen, wenn der Winterdienst ausbliebe?
 - Welche volkswirtschaftlichen Kosten entstehen, wenn der Winterdienst durchgeführt wird?
-

Die Differenz zwischen diesen zwei Werten ergibt den volkswirtschaftlichen Nettonutzen der Massnahme „Winterdiensteinsatz“.

Verhinderte Glätteunfälle

Die Analyse der Unfalldaten zeigte, dass sich bei winterlichen Fahrbahnzuständen mehr Unfälle ereignen. Dabei mussten die folgenden Fragen geklärt werden:

- Welchen Einfluss hat die winterliche Fahrbahn auf das Unfallgeschehen (mengen- und kostenmässig) im Vergleich zur trockenen Fahrbahn?
- Welchen Einfluss hat der Winterdienst auf das Unfallgeschehen (mengen- und kostenmässig) durch das Räumen und durch das Streuen von Salz?

Da Unfälle sich relativ selten ereignen, insbesondere auf Autobahnen, ist für die Unfallanalyse ein grösserer zeitlicher und räumlicher Rahmen notwendig, um statistisch signifikante Ergebnisse herleiten zu können. Grundlage für die Untersuchungen waren deshalb die polizeilich erfassten Unfälle in den vier Winterperioden von 2000/2001 bis 2003/2004.

Bei der Auswertung der Unfalldaten wurde zwischen den Glätte- und den übrigen Unfällen unterschieden. Die Glätteunfälle ereignen sich in einer relativ kurzen Zeitperiode, vor allem vor dem Winterdiensteinsatz. Würde der Winterdienst nicht ausgeführt, dann würden sich entsprechend mehr Glätteunfälle ereignen. Durch den Winterdienst werden also Glätteunfälle verhindert. Je schneller der Winterdiensteinsatz, umso mehr Glätteunfälle können verhindert werden. Die übrigen Unfälle sind vom Winterdienst nicht betroffen; sie ereignen sich unabhängig von den Witterungsverhältnissen.

Aufgrund der vorliegenden Daten wurde anschliessend je Untersuchungsraum eine Schätzung der mittleren Anzahl der durch einen Winterdiensteinsatz verhinderten Glätteunfälle vorgenommen.

Zeit- und Fahrzeugbetriebskosten

Ein weiterer Nutzen des Winterdienstes besteht darin, dass durch den Winterdiensteinsatz die Reisegeschwindigkeiten wieder erhöht werden.

Auch hier wurden die Wirkungen im Vergleich zum Referenzfall ermittelt. Die relevanten Fragen waren dabei:

- Mit welchen totalen Zeitkosten müsste an einem winterlichen Tag mit Schneefall gerechnet werden, wenn der Winterdienst ausbliebe?
- Mit welchen totalen Zeitkosten müsste gerechnet werden, wenn der Winterdienst durchgeführt wird?

Die monetär bewertete Differenz zwischen diesen zwei Werten ergibt den volkswirtschaftlichen Nettonutzen der Massnahme „Winterdiensteinsatz“ in Bezug auf die Reisezeiteinsparungen. Bei den Berechnungen wurde dabei angenommen, dass ohne Winterdiensteinsatz die Reisegeschwindigkeiten so tief bleiben würden, wie sie kurz vor dem Einsatz der Winterdienstfahrzeuge waren.

Bei der Ermittlung der Fahrzeugbetriebskostensparnisse wurde nur der Treibstoffverbrauch berücksichtigt, da die übrigen Kostenfaktoren (Reifenverschleiss, Ölverbrauch, Abschreibung etc.) unabhängig von der Witterung sind. Die Berechnung des gesamten Treibstoffverbrauchs mit und ohne Winterdiensteinsatz erfolgte auf die gleiche Weise, wie die Ermittlung der entsprechenden

Zeitgewinne, wobei berücksichtigt wurde, dass auf schneebedeckter oder matschiger Fahrbahn der Rollwiderstand und damit der spezifische Treibstoffverbrauch grösser ist als auf trockener Fahrbahn.

Direkte Kosten des Winterdienstes

Die mittleren Winterdienstkosten je Werkhof wurden aufgrund der Angaben der Werkhofsleitungen auf summarische Art geschätzt.

Externe Kosten

Die Ermittlung der sozialen Kosten der Luftverschmutzung erfolgte, indem die Änderung des Leitschadstoffausstosses NO_x berechnet wurde. Entsprechend dem Ansatz von Ecoplan (1993) kann die Änderung der Gesundheitskosten mit Hilfe der Änderung der NO_x -Emissionen berechnet werden. Weitere externe Kosten wurden nicht quantifiziert oder es konnte gezeigt werden, dass sie kaum von Relevanz sind.

Die volkswirtschaftliche Bewertung des Winterdienstes

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden die Auswirkungen des Winterdienstes im relevanten Einflussgebiet der Messorte untersucht, und soweit möglich, quantifiziert. Dabei wurde unter anderem festgestellt, dass die Auswirkungen zum Teil sehr unterschiedlich sind. Unterschiede gibt es nicht nur zwischen Autobahnen und städtischen Strassen sondern auch zwischen den einzelnen Autobahnabschnitten. Dies ist auf verschiedene klimatische Verhältnisse und andere örtliche Gegebenheiten zurückzuführen. Deshalb wurde für jede untersuchte Strecke eine separate volkswirtschaftliche Bewertung durchgeführt.

Monetär bewertet wurden die Auswirkungen auf das Unfallgeschehen, die Reisezeit- und Betriebskostensparnisse und die Auswirkungen auf die, durch die Luftverschmutzung verursachte Gesundheitskosten. Die Bewertung erfolgte jeweils auf der Basis von mittleren Jahreswerten.

Die Ermittlung der Auswirkungen auf der Nutzenseite und ihre monetäre Bewertung erfolgte grundsätzlich konservativ. Deshalb wurde auch der Referenzfall nicht als der schlimmste mögliche Zustand sondern als der Zustand definiert, der kurz vor dem Eintreffen der Winterdienstfahrzeuge anzutreffen ist. Zudem wurden bei der Ermittlung der Glätteunfälle nur die polizeilich gemeldeten Unfälle berücksichtigt.

Volkswirtschaftliche Rechnung für die Strecke Reichenburg-Zürich (A3)

	Mio Franken
Summe der direkten und indirekten Nutzen	4,82
Kosten Winterdienst	0,82
Differenz Nutzen-Kosten	4,00

Das Nutzen-Kosten-Verhältnis beträgt auf dieser Strecke 5,9. Dies bedeutet, dass die volkswirtschaftlichen Nutzen des Winterdienstes auf dieser Strecke fast 6-Mal grösser sind als die Kosten.

Volkswirtschaftliche Rechnung für die Strecke Baden-Rothrist (A1)

	Franken
Summe der direkten und indirekten Nutzen	1,49 Mio
Direkte Kosten	0,52 Mio
Differenz Nutzen-Kosten	0,97 Mio

Das Nutzen-Kosten-Verhältnis beträgt 2,86. Dies bedeutet, dass die volkswirtschaftlichen Nutzen des Winterdienstes auf dieser Strecke fast 3-Mal grösser sind als die Kosten.

Volkswirtschaftliche Rechnung für den untersuchten Abschnitt bei Mattstetten

	Franken
Summe der direkten und indirekten Nutzen	0,425 Mio
Direkte Kosten	0,412 Mio
Differenz Nutzen-Kosten	0,013 Mio

Der Nettonutzen des Winterdienstes auf diesem Abschnitt ist knapp positiv. Da hier in den zwei letzten Winterperioden nur vier Einsätze nötig waren, stehen hier relativ bescheidene Nutzen den hohen fixen Kosten des Winterdienstes gegenüber, die hier unabhängig von der Anzahl der Einsätze entstehen.

Volkswirtschaftliche Rechnung für die Rorschacherstrasse (St. Gallen)

	Franken
Summe der direkten und indirekten Nutzen	128'000
Direkte Kosten	18'400
Differenz Nutzen-Kosten	109'600

Der Nettonutzen ist auch für diese Strecke positiv. Das Nutzen-Kostenverhältnis beträgt 6,9. Allerdings sind in obiger Rechnung die Unfallkostensparnisse statistisch nicht abgesichert. Die relativ bescheidenen Beträge sind auf die relativ kurze Strecke und auf die relativ bescheidenen Belastungen zurückzuführen.

Volkswirtschaftliche Rechnung für den Bezirk „M“ (in der Stadt Zürich)

	Franken
Summe der direkten und indirekten Nutzen	1'074'000
Direkte Kosten	598'390
Differenz Nutzen-Kosten	475'610

Kosten und Nutzen der Rosengartenstrasse wurden für den Bezirk „M“, in welchem diese Strecke liegt, hochgerechnet. Der Nettonutzen beträgt rund eine halbe Million Franken und das Nutzen-Kostenverhältnis rund 1,8.

Fazit

Die Schätzung der Nutzen und Kosten erfolgte für eine mittlere Winterperiode für jede beobachtete Strecke separat. Die Nutzenelemente wurden dabei immer als Nutzen des Einsatzes im Vergleich zum fiktiven Fall des Nicht-Einsatzes ermittelt und zwar als Differenz zwischen maximalem Schaden bei Nicht-Einsatz und durch den Winterdiensteinsatz begrenzten Schaden. Dabei konnte gezeigt werden, dass der Nutzen des Winterdienstes immer grösser war als die Kosten, die er verursacht.

Zur weiteren Steigerung der volkswirtschaftlichen Effektivität sind alle Massnahmen zu empfehlen, die einen frühzeitigeren und einen schnelleren Winterdiensteinsatz bewirken. Die befragten Werkhofleiter haben diesbezüglich die folgenden Massnahmen vorgeschlagen:

- Errichtung von Salzsilos
- Ausrüstung der Winterdienstfahrzeuge mit Blaulicht
- Zusammenarbeit mit der Polizei
- Zentrale Glatteisfrühwarnsystem mit einer genügenden Anzahl Messstellen
- Zugriff auf die vorhandenen Verkehrskameras, die aber heute nur durch die Polizei benutzt werden
- Errichtung zusätzlicher Hilfsstützpunkte

Die Verkehrssicherheit kann zudem erhöht werden, wenn die Autofahrer besser über die Gefahren der Winterglätte aufgeklärt und entsprechend geschult würden.

Résumé

Dans le cadre de la présente étude de recherche et pour la première fois en Suisse, les avantages et les inconvénients du service hivernal sur les routes du point de vue socio-économique ont été quantifiés. Dans la mesure du possible, les incidents du service hivernal sur les coûts de l'environnement ont également été saisis quantitativement. De plus, le comportement des usagers sur des routes verglacées a été analysé.

Cette analyse est fondée sur la méthode élaborée par les auteurs allemands Durth, Hanke et Levin en 1989. L'essentiel de cette méthode consiste durant les journées hivernales à analyser à divers points le comportement routier des usagers avant et après le passage des engins du service hivernal. Le comportement des usagers a été saisi partiellement par des observateurs spécialement formés et partiellement par des compteurs automatiques. Les observateurs avaient pour tâche d'observer et de protocoler le déroulement du trafic, la météo et l'état de la route, ceci avant et après le passage des engins du service hivernal. Les compteurs automatiques ont saisi, en plus du volume de trafic, également la vitesse des véhicules.

Pour la détermination et la quantification d'autres éléments de coûts, respectivement d'utilité, les protocoles du service hivernal, ainsi que les indications sur les coûts des centres d'entretien concernés et la statistique des accidents des tronçons de routes y relatifs, ont été utilisés.

Pour la présente étude, les points d'observation, respectivement les lieux de mesure suivants ont été choisis :

- A3 vers Gattikon (entre Wädenswil/Thalwil, direction Zürich, trafic journalier moyen environ 50'000)
- A1 vers Hunzenschwil (direction Bern, trafic journalier moyen environ 57'000)
- A1 vers Mattstetten (direction Bern, trafic journalier moyen environ 72'000)
- A2, Muttenz, (direction Luzern, trafic journalier moyen environ 116'000)
- Zürich, Rosengartenstrasse (direction Hardbrücke, trafic journalier moyen environ 66'000)
- St. Gallen, Rorschacherstrasse (dans le sens sortie de ville, trafic journalier moyen environ 8'000)

Les quatre premiers points de mesure se trouvent sur autoroute, les deux derniers dans les villes de Zürich et de St. Gallen.

Afin d'obtenir suffisamment de données pour l'analyse, les observations et les comptages automatiques ont dû être réalisés durant les deux périodes hivernales 2002/2003 et 2003/2004. A cause du manque de conditions hivernales au poste de comptage de Muttenz, l'analyse s'est limitée aux les cinq points de mesures restants.

Comportement routier sur les routes en période hivernales

Dans un premier temps, le comportement routier des automobilistes a été analysé avant et après le passage des engins du service hivernal et comparé avec le comportement en ayant des conditions de routes normales. Le comportement quant à la vitesse a spécialement été analysé.

Le niveau de vitesse est partout nettement plus bas sur des routes en période hivernale que sur des routes sèches. Cette différence se situe sur les autoroutes entre 32 km/ et 42 km/h. Sur les routes en agglomération, cette différence est passablement plus petite à cause des limitations de vitesse à l'intérieur des localités, elle est de 7 km/h pour la Rosengartenstrasse et de 17 km/h pour St. Gallen.

Environ 30 à 60 minutes après le passage des engins du service hivernal, la route est normalement mouillée par le sel. Sur les routes mouillées par le sel, la vitesse est à nouveau plus élevée. Pourtant les vitesses moyennes sur les autoroutes restent nettement plus basses que sur route sèche. Par contre, dans les agglomérations, la vitesse est quasiment identique que par une route sèche.

La variation de vitesse des véhicules est nettement réduite lors de conditions de routes en période hivernale; les usagers roulent non seulement plus lentement, mais également de manière plus homogène. La différence est d'environ 8 à 10 km/h. Sur les routes mouillées par le sel, cette variation est à nouveau en augmentation.

Par ailleurs, le comportement routier a été analysé du point de vue dynamique. La question a été de savoir si les vitesses appliquées sont adaptées de manière optimale aux conditions de routes en période hivernale. Les calculs ont montré que le comportement sur route mouillée par le sel n'est pas beaucoup plus risqué que sur route sèche. Pourtant le risque sur route en période hivernale est passablement plus significatif. Cela veut dire que les automobilistes roulent nettement trop vite

Une analyse du maintien de la distance sur route sèche a montré de manière générale que la règle des 2 secondes est très mal respectée. Lors de conditions hivernales, les gens sont cependant plus prudents; la règle des 2 secondes est respectée par la majorité. Manifestement, beaucoup de conducteurs de véhicules corrigent le fait de rouler trop vite.

Utilité et coûts du service hivernal

L'utilité du service hivernal consiste dans le fait que des accidents dus au verglas et des pertes de temps peuvent être évités. L'évitement d'accidents dus au verglas et la possibilité de temps de parcours plus rapides sont les éléments les plus importants du service hivernal.

Toutefois, le service hivernal provoque aussi des coûts. Pour le service hivernal, des véhicules et des outils spéciaux, de la matière à répandre (sel), ainsi que du personnel en service de piquet, sont nécessaires. Tout cela cause des coûts directs. Mais le service hivernal cause aussi des coûts externes, comme les dégâts au revêtement par le sel par exemple. Parallèlement les nuisances polluantes dues au trafic sont diminuées par le service hivernal.

Afin de pouvoir comparer l'utilité et les coûts, ceci doit être analysé du point de vue socio-économique. Cela se fait à l'aide d'une analyse coûts/avantages.

Les effets sont ainsi déterminés en comparaison avec un cas de référence. Le cas de référence, pris en considération dans la présente étude, n'était pas le pire cas possible, mais l'état peu de temps avant la mise en route du service hivernal. Pour l'évaluation, les deux questions suivantes sont alors déterminantes :

- Quels seraient les coûts socio-économiques pour une journée hivernale enneigée sans le service hivernal ?
 - Quels sont les coûts socio-économiques si le service hivernal est effectué ?
-

La différence entre ces deux valeurs donne le coût socio-économique net de „l'intervention du service hivernal“.

Accidents dus au verglas évités

L'analyse de la statistique des accidents a montré que les accidents sont plus nombreux lors de conditions de routes hivernales. De ce fait, les questions suivantes devaient être élucidées :

- Quelle influence a une route avec des conditions hivernales sur les accidents (du point de vue du nombre et des coûts) par rapport à une route sèche ?
- Quelle influence a le service hivernal sur les accidents (du point de vue du nombre et des coûts) par le déneigement et le salage ?

Les accidents étant relativement rares, particulièrement sur les autoroutes, un cadre plus élargi est nécessaire quant au temps et à l'espace pour pouvoir obtenir des résultats statistiques significatifs de l'analyse des accidents. De ce fait, la base de données pour ces analyses est issue des rapports de Police concernant les accidents des quatre périodes hivernales de 2000/2001 jusqu'à 2003/2004.

Lors de l'évaluation des données des accidents, une différenciation a été faite entre les accidents dus au verglas et les autres accidents. Les accidents dus au verglas surviennent en règle générale dans un laps de temps relativement court, surtout avant l'intervention du service hivernal. Si la neige n'était pas enlevée mécaniquement, il y aurait davantage d'accidents dus au verglas. Par le service hivernal, bien des accidents sont ainsi évités. Plus vite le service hivernal est débuté, moins il y a d'accidents dus au verglas. Les autres accidents ne sont pas concernés par le service hivernal; ils se produisent indépendamment des conditions météorologiques.

Sur la base des données à disposition, une estimation du nombre moyen d'accidents dus au verglas évités par l'intervention du service hivernal a été effectuée, ceci pour chaque région d'analyse.

Coûts d'exploitation du temps et des véhicules

Un autre avantage du service hivernal est que par l'intervention du service hivernal les vitesses des temps de parcours sont de nouveau améliorées.

Pour cela aussi, les effets par rapport au cas de référence ont été déterminés. Les questions importantes ont été :

- Quels seraient les coûts de temps totaux pour une journée hivernale enneigée si le service hivernal n'était pas effectué ?
- Quels seraient les coûts de temps totaux si le service hivernal est effectué ?

La différence pécuniaire estimée entre ces deux valeurs donne le coût socio-économique net de la mesure „intervention du service hivernal“ par rapport à l'économie du temps de parcours. Pour les calculs, il a été tenu compte que sans le service hivernal, les temps de parcours auraient été aussi bas que juste avant l'intervention des véhicules du service hivernal.

Pour l'évaluation de l'économie de l'exploitation du véhicule, seule la consommation de carburant a été pris en compte, car les autres facteurs de coûts (pneus, huile, amortissement, etc.) sont indépendants des conditions météorologiques. Le calcul total du carburant avec ou sans l'intervention

du service hivernal a été effectué de la même manière que la détermination des gains de temps, tout en tenant compte que sur une route enneigée ou de neige fondante, l'adhérence est différente, ce qui amène une consommation de carburant plus importante que sur une route sèche.

Coûts directs du service hivernal

Les coûts moyens du service hivernal ont été estimés pour chaque centre d'entretien selon les indications des responsables des centres d'entretien.

Coûts externes

La détermination des coûts sociaux de la pollution de l'air a été calculée par la modification de l'émission NO_x. Selon les taux de Ecoplan (1993), la modification des coûts de la santé peut être calculée à l'aide de la modification des émissions de NO_x. D'autres coûts externes n'ont pas été quantifiés ou il a été prouvé que ces coûts n'étaient guère importants.

L'évaluation socio-économique du service hivernal

Dans le cadre de la présente étude, les effets du service hivernal ont été analysés et si possible quantifiés, ceci dans les régions et les points de mesures définis. Toutefois, il a été constaté entre autre que les effets sont très variables. Les différences ne sont pas seulement apparues entre les autoroutes et les routes d'agglomération, mais aussi entre les différents tronçons d'autoroutes. Ceci est probablement dû aux conditions climatiques diverses et à d'autres éléments locaux. De ce fait, pour chaque tronçon analysé une évaluation socio-économique séparée a été effectuée.

Les effets ont été évalués quant aux accidents, l'économie des temps de parcours et de la consommation de carburant, ainsi que les effets de la pollution de l'air sur les coûts de la santé. Cette évaluation a été basée en général sur la valeur moyenne annuelle.

La détermination des effets du côté de l'utilité, ainsi que son évaluation pécuniaire, a été effectuée de manière conservatrice. De ce fait, le cas de référence n'a pas été défini comme état de référence le plus mauvais possible, mais comme état juste avant l'arrivée des véhicules du service hivernal. De plus, pour la détermination des accidents dus au verglas, seuls les accidents annoncés par la Police ont été pris en compte.

Calcul socio-économique pour le tronçon Reichenburg-Zürich (A3)

	Mio francs
Somme de l'utilité directe et indirecte	4,82
Coûts du service hivernal	0,82
Différence utilité-coûts	4,00

La relation utilité-coûts est de 5,9 sur ce tronçon. Cela signifie que l'utilité socio-économique du service hivernal est 6 fois plus important que les coûts.

Calcul socio-économique pour le tronçon Baden-Rothrist (A1)

	francs
Somme de l'utilité directe et indirecte	1,49 Mio
Coûts directs	0,52 Mio
Différence utilité-coûts	0,97 Mio

La relation utilité-coûts est de 2,86. Cela signifie que l'utilité socio-économique du service hivernal sur ce tronçon est environ 3 fois plus important que les coûts.

Calcul socio-économique pour les tronçons analysés vers Mattstetten

	francs
Somme de l'utilité directe et indirecte	0,425 Mio
Coûts directs	0,412 Mio
Différence utilité-coûts	0,013 Mio

L'utilité net du service hivernal sur ce tronçon est positive de peu. Durant les deux dernières périodes hivernales, seules quatre interventions ont été nécessaires, ce qui amène à une utilité modeste par rapport aux coûts fixes élevés du service hivernal, ces derniers étant indépendants du nombre d'interventions.

Calcul socio-économique pour la Rorschacherstrasse (St. Gallen)

	francs
Somme de l'utilité directe et indirecte	128'000
Coûts directs	18'400
Différence utilité-coûts	109'600

L'utilité nette est positive également sur ce tronçon. La relation utilité-coûts est de 6,9. Toutefois, dans le calcul ci-dessus, les économies des coûts d'accidents ne sont pas assurés statistiquement. Les montants relativement modestes sont à mettre sur le compte de tronçons relativement courts et des charges de trafic modestes.

Calcul socio-économique pour l'arrondissement „M“ (en ville de Zürich)

	francs
Somme de l'utilité directe et indirecte	1'074'000
Coûts directs	598'390
Différence utilité-coûts	475'610

Les coûts et l'utilité de la Rosengartenstrasse de l'arrondissement „M“ dans lequel se trouve se tronçon a été pondéré. L'utilité nette est d'environ un demi million et le rapport coût-utilité est de 1,8.

Conclusion

L'estimation de l'utilité et des coûts a été estimée pour une période hivernale moyenne et séparément pour chaque tronçon observé. Les éléments d'utilité ont toujours été déterminés en tant qu'utilité de l'intervention en comparaison avec le cas fictif sans intervention, ceci en tenant compte de la différence entre le dommage maximal en cas de non-intervention et le dommage limité par l'intervention du service hivernal. Il apparaît que l'utilité du service hivernal est toujours plus élevée que les coûts qu'il engendre.

Pour augmenter encore une application effective, toutes les mesures, pour une intervention encore plus précoce et plus rapide du service hivernal, sont à recommander. Les chefs des services d'entretien interrogés ont proposé les Mesures suivantes:

- Installation de silos à sel
- Équipement des Véhicules d'entretien avec des feux bleus
- Collaboration avec la Police
- Système d'alarme central d'annonce anticipée de verglas avec un nombre suffisants de points de mesure
- Mise à disposition des caméras vidéo de surveillance de trafic, qui sont utilisées actuellement que par la Police
- Réalisation de points d'appui supplémentaires

La sécurité du trafic peut également être augmentée, si les automobilistes étaient mieux informés et mieux instruits quant aux dangers du verglas.

Summary

The present research study involved a quantification of the economic advantages and disadvantages of winter road maintenance. It was the first time such a quantification has been carried out in Switzerland. Where it was possible to do so the study also included a quantitative assessment of the changes in environmental costs which result from the use of winter road maintenance. The study also looked into driver behaviour on slippery road surfaces in winter.

The investigation was essentially based on the method developed by the German authors Durth, Hanke and Levin (1989). The main feature of this method involves the investigation of driver behaviour in traffic on winter days at various locations, both before and after the application of winter maintenance. Details of traffic behaviour were recorded partly by specially trained observers and partly by automatic counters. The observers had to observe and record details of traffic behaviour, the weather, and the condition of the road both before and after the application of winter maintenance. The automatic counters recorded traffic volumes and vehicle speeds.

The investigation and quantification of other cost/benefit elements were made using data from additional sources. These included winter maintenance records, information on costs for the maintenance depots concerned, and accident records for the relevant road sections.

The following observation points and survey stations were selected for the investigation:

- A3 near Gattikon (between Wädenswil/Thalwil, in the direction towards Zurich, average daily traffic in both directions is about 50'000)
- A1 near Hunzenschwil (towards Bern, average daily traffic in both directions is about 57'000)
- A1 near Mattstetten (towards Bern, average daily traffic in both directions is about 72'000)
- A2, near Muttenz, (towards Lucerne, average daily traffic in both directions is about 116'000)
- Zurich, Rosengartenstrasse (towards the Hardbrücke, average daily traffic in both directions is about 66'000)
- St. Gallen, Rorschacherstrasse (direction away from the town, average daily traffic in both directions is about 8'000)

The first four survey stations are on motorways, the last two in the cities of Zurich and St. Gallen.

The observations and automatic counts had to be carried out during two winter periods, 2002/2003 and 2003/2004, in order to collect sufficient data for the analysis to be made. There were so few occurrences of winter road conditions at the count station near Muttenz that the investigation had to be restricted to the five other locations.

Driver behaviour on roads in winter conditions

A first step was to investigate the behaviour of vehicle drivers before and after the use of winter maintenance, and to compare this with behaviour during normal road conditions. A particular focus of the investigation concerned speed behaviour.

Speed levels on winter road surfaces are everywhere significantly lower than on dry roads. On motorways this difference lies between 32 km/h and 42 km/h. On urban roads the difference is much

smaller, due to the speed limits which apply on such roads; it ranges between 7 km/h (Rosen-gartenstrasse) and 17km/h (St. Gallen).

Some 30 to 60 minutes after the application of winter maintenance the road surface is normally wet and salty. Vehicles travel faster on wet and salty road surfaces. However on motorways the average speeds remain significantly lower than on a dry road surface. In contrast on urban roads vehicles travel at practically the same speed as on dry road surfaces.

The range of vehicle speeds drops significantly in winter road conditions; drivers not only travel more slowly but more homogenously. The difference is 8-10 km/h. The range increases again on wet, salty road surfaces.

Another stage of the study investigated the travel dynamics of driving behaviour. The question here was whether the speeds selected are optimally suited to the winter road conditions. The calculations showed that on wet, salty roads driving behaviour is not significantly more risky than on dry road surfaces. The risk on winter roads is however significantly higher. This means that drivers travel much too fast.

An analysis of vehicle following behaviour on dry roads generally showed that the 2-seconds rule is poorly complied with. However in winter conditions people drive more carefully; the majority respect the 2-seconds rule. It is clear that many drivers use this to correct the fact that they drive too fast.

Costs and benefits of winter maintenance

The benefits of winter maintenance are particularly to be seen in the prevention of accidents in slippery road conditions, and the avoidance of larger losses of time. The prevention of accidents in slippery conditions and the facilitating of higher journey speeds are thus also the main benefits of winter maintenance.

However winter maintenance is also a cause of costs. The application of winter maintenance calls for the use of special vehicles and equipment, spreading material (salt), and not least the availability of personnel on standby duty. All these cause direct costs. However winter maintenance also gives rise to external costs such as soil pollution by the salt, although at the same time it leads to a fall in the emission of pollutants.

In order to be able to compare costs with benefits they all have to be evaluated in economic terms. This is done using the techniques of cost-benefit analysis.

The effects are investigated and compared with a reference case. In the present investigation the reference case chosen was not the worst possible case, but rather the condition shortly before the application of winter maintenance. The following two questions are decisive for the investigation:

- What would be the additional economic costs on a winter day with snowfall if winter maintenance were not applied?
- What economic costs would arise if the winter maintenance was carried out?

The difference between these two values gives the net economic benefits of the "winter maintenance" measure.

Number of accidents in slippery conditions which were prevented

The analysis of the accident records showed that more accidents occur with road surfaces which are subject to winter conditions. Here the following questions had to be clarified:

- What influence did the road surface subject to winter conditions have on the occurrence of accidents (in terms of their numbers and costs) in comparison with the road surface when dry?
- What influence did the winter maintenance have on the occurrence of accidents (in terms of their numbers and costs) as a result of the clearance work and salt spreading?

Since accidents are relatively infrequent events, particularly on motorways, the accident analysis required a larger time- and spatial frame so that statistically significant results could be derived. The basis for the investigations was therefore provided by accidents recorded by the police in the four winter periods from 2000/2001 to 2003/2004.

When evaluating the accident records a difference was made between accidents which occurred in slippery conditions and other accidents. The accidents which occurred in slippery conditions took place over a relatively short time period, and primarily before the application of winter maintenance. If winter maintenance had not been carried out then more accidents in slippery conditions would occur. Thus winter maintenance prevents accidents in slippery conditions. The quicker the application of winter maintenance, the greater is the number of accidents in slippery conditions which can be prevented. The remaining accidents are not affected by winter maintenance; they occur independent of weather conditions.

The available data was then used to make an estimate for each study area of the average number of accidents in slippery conditions which were prevented by an application of winter maintenance.

Time- and vehicle operating costs

A further benefit of winter maintenance is that the application of winter maintenance permits journey speeds to rise again.

The effects here were also compared with the reference case. The relevant questions were:

- What total time costs could be expected for a winter day with snowfall, if the winter maintenance did not take place?
- What total time costs could be expected if the winter maintenance was carried out?

The difference between these two values, evaluated in monetary terms, gives the net economic benefit of the "winter maintenance" measure in relation to the savings in journey time. The calculations assumed that without winter maintenance, journey speeds would remain as low as they were shortly before the passage of the winter maintenance vehicles.

In investigating the savings in vehicle operating costs, only fuel consumption was considered since the other cost factors (tyre wear, oil consumption, depreciation etc.) are independent of the weather. The calculation of total fuel consumption with and without winter maintenance was made in the same way as the investigation of the corresponding time savings, although consideration was also given to the fact that rolling resistance (and so specific fuel consumption) is greater on snow-covered or muddy road surfaces than on dry road surfaces.

Direct costs of winter maintenance

The average costs of winter maintenance for each maintenance depot were summarised for each depot, using details supplied by the management of the depot.

External costs

The investigation of the social costs of air pollution was made by calculating the change in the emission of the main pollutant NO_x. Following the approach used by Ecoplan (1993) the change in health costs can be calculated based on changes in the emission of NO_x. Other external costs were either not quantified, or it could be shown that they were of little relevance.

The economic evaluation of winter maintenance

As part of this study the effects of winter maintenance in the areas of influence of the survey points were investigated and as far as possible quantified. In doing so it was discovered, among other things, that the effects are to some extent very different. There are differences not only between motorways and urban roads but also between the individual sections of motorway. This can be traced back to different climatic conditions and other local characteristics. For this reason a separate economic assessment was carried out for each section investigated.

Estimates were made in monetary terms of the effects on accident rates, on savings in journey times and operating costs, and on the health costs resulting from the air pollution. In each case the evaluation was made on the basis of average annual values.

Generally conservative estimates were made of the effects on the benefit side, and of their evaluation in monetary terms. This is why the reference case was not defined as the worst possible condition but as the condition which occurred shortly before the appearance of the winter maintenance vehicle. Further, the investigation of accidents occurring in slippery conditions was based only on those accidents reported by the police.

Economic calculation for the section Reichenburg-Zurich (A3)

	in CHF millions
sum of the direct and indirect benefits	4.82
cost of winter maintenance	0.82
difference between costs and benefits	4.00

The cost-benefit ratio for this section is 5.9. This means that the economic benefits of winter maintenance on this section are almost 6 times larger than the costs.

Economic calculation for the section Baden-Rothrist (A1)

	CHF
sum of the direct and indirect benefits	1.49 Mio
direct costs	0.52 Mio
difference between costs and benefits	0.97 Mio

The cost-benefit ratio for this section is 2.86. This means that the economic benefits of winter maintenance on this section are almost 3 times larger than the costs.

Economic calculation for the section studied near Mattstetten

	CHF
sum of the direct and indirect benefits	0.425 Mio
direct costs	0.412 Mio
difference between costs and benefits	0.013 Mio

The net benefit of winter maintenance on this section is only just positive. In the last two winter periods, winter maintenance here only had to be used four times, so that the relatively modest benefits stand in contrast with the high fixed costs of winter maintenance, which arise here independent of the number of uses.

Economic calculation for the Rorschacherstrasse (St. Gallen)

	CHF
sum of the direct and indirect benefits	128,000
direct costs	18,400
difference between costs and benefits	109,600

The net benefit is also positive for this section. The cost-benefit ratio is 6.9, although in the above calculation the savings in accident costs have not been statistically verified. The relatively modest amounts are due to the comparative shortness of the section and its relatively modest traffic loadings.

Economic calculation for district "M" (in Zurich)

	CHF
sum of the direct and indirect benefits	1,074,000
direct costs	598,390
difference between costs and benefits	475,610

The costs and benefits for the Rosengartenstrasse were extrapolated for district "M", in which the section of road lies. The net benefits amount to around CHF 0.5 million and the cost-benefit ratio to around 1.8.

Conclusion

The estimate of benefits and costs for an average winter period was made separately for each observed section of road. The benefit elements were always calculated in terms of the benefits which result from the use of winter maintenance in comparison with the fictional case of the non-use of winter maintenance; as the difference between the maximum amount of damage resulting from non-use and the reduced amount of damage resulting from the use of winter maintenance. It could be shown that the benefits of winter maintenance were always greater than the costs which it caused.

To further increase the economic effectiveness, all those measures are to be recommended which would lead to an earlier and more rapid use of winter maintenance. The heads of maintenance yards who were interviewed suggested the following measures for this:

- Construction of salt silos
- Providing the winter maintenance vehicles with blue warning lights
- Cooperation with the police
- Centralised early warning system for icy roads, together with an appropriate number of measurement stations
- Access to existing traffic cameras which presently are only used by the police
- Setting up of additional support bases

Traffic safety can be further increased if drivers are better informed about the risks of slippery roads in winter and are appropriately trained to deal with them.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Der Strassenwinterdienst ist eine unverzichtbare Aufgabe, um die Verkehrssicherheit und die Leistungsfähigkeit des öffentlichen Strassennetzes zu gewährleisten. Ohne diesen Dienst würde an kritischen Wintertagen der Strassenverkehr zum Erliegen kommen. Die Erhaltung eines leistungsfähigen und sicheren Strassennetzes auch bei winterlichen Witterungsverhältnissen ist eine grundsätzliche Voraussetzung für das Funktionieren der Wirtschaft und des Gemeinwesens.

Der Strassenwinterdienst bringt aber nicht nur Nutzen, er verursacht auch Kosten. Neben der finanziellen Belastung der öffentlichen Hand entstehen auch Umweltkosten.

Bisher wurde in der Schweiz noch nie versucht, die verkehrlichen Auswirkungen und die entsprechenden volkswirtschaftlichen Vor- und Nachteile des Strassenwinterdienstes zu quantifizieren.

Die vorliegende Forschungsarbeit soll Auskunft geben über die Kosten und Nutzen des Winterdienstes für

- a) das Hochleistungsnetz in der Schweiz, und
- b) das städtische Strassennetz der 1. Dringlichkeitsstufe

Die Untersuchung basiert grundsätzlich auf der Methodik, die von den deutschen Autoren Durth, Hanke und Levin ausgearbeitet wurde. Dabei wurde diese Methodik auf Schweizer Verhältnisse angepasst, wobei der heutige Wissensstand berücksichtigt und die heute zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten genutzt worden sind.

1.2 Ziele der Studie

Mit der vorgesehenen Forschungsarbeit sollen in der Schweiz zum ersten Mal neben kosten-nutzen-analytischen Betrachtungen des Strassenwinterdienstes auch die als Folge des Strassenwinterdienstes resultierenden Umweltkostenänderungen quantitativ erfasst werden.

Die Kosten/Nutzen-Betrachtung soll den Entscheidungsträgern eine zusätzliche Entscheidungsgrundlage liefern für die Bemessung der finanziellen Mittel für den Strassenwinterdienst.

Die Untersuchung soll im weiteren Ansätze aufzeigen für eine verbesserte Winterdienst-Einsatzplanung.

Die Analyse des Fahrverhaltens auf winterglatten Fahrbahnen wird im Weiteren Erkenntnisse liefern, die für die Planung weiterer Massnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit genutzt werden können.

2 Untersuchungsprogramm

Für die Durchführung dieser Untersuchung wurden bei Arbeitsbeginn vier Phasen vorgesehen.

Phase 1: Literaturlauswertung und methodisches Vorgehen

Ziel der ersten Phase war, die in Deutschland entwickelte Methodik zu überprüfen und diese auf schweizerische Verhältnisse, unter Berücksichtigung der heute vorhandenen technischen Möglichkeiten, anzupassen. Daneben wurde auch eine entsprechende Literaturrecherche und Literaturlauswertung durchgeführt.

Phase 2: Erhebung der benötigten Daten

Die Teilaufgaben dieser zweiten Phase waren:

- Die Auswahl von 5-6 geeigneten Messorten, davon nach Möglichkeit vier auf Autobahnen und zwei auf städtischen Strassen
- Planung der Verkehrserhebungen und der dazugehörigen Messungen und Beobachtungen
- Abklärungen bezüglich Möglichkeiten der Datenübertragung von diesen Messorten
- Entwicklung der notwendigen EDV-Hilfsmittel (Datenbanken, Schnittstellensoftware, Erfassungssoftware, Auswertungsprogramme)
- Die Definition der Aufgaben für die speziellen Beobachter (Erstellen der Arbeitsformulare)
- Die Rekrutierung und die Instruktion der Beobachter
- Die Organisation der Zusammenarbeit zwischen den zuständigen Winterdienstesatzleitern und den Beobachtern sowie zwischen Beobachtern und Rapp Trans
- Sicherstellung der Datenübertragung der Zähl- und Messdaten für die Tage, an denen die Beobachter aufgeboden werden
- Durchführung der Erhebungen
- Erfassung der Beobachterdaten
- Ablage der Mess- und Zählzeiten in die entsprechenden Datenbanken
- Abklärungen bezüglich Unfalldaten
- Sammlung der Unfalldaten sowie der Einsatzberichte der betroffenen Winterdienststellen

Ziel war, für jeden Fahrbahnzustand einen genügend grossen Stichprobenumfang zu erreichen. Dabei wurde in Anlehnung an die deutschen Studien davon ausgegangen, dass je Messort an mindestens 15 Tagen gemessen werden sollte. Da dies erfahrungsgemäss in einer einzigen Winterperiode nicht erreicht werden kann, musste neben dem Winter 2002/2003 auch der Winter 2003/2004 berücksichtigt werden.

Phase 3: Analyse der erhobenen Daten

In dieser Phase wurden die gesammelten Daten ausgewertet und analysiert. Insbesondere wurde das Fahrverhalten vor und nach dem Einsatz des Winterdienstes eingehend analysiert. Das beobachtete Fahrverhalten wurde dann einer Sicherheitsrisikoanalyse unterzogen. Dabei wurden, analog zu den deutschen Untersuchungen, fahrdynamische Berechnungen in Abhängigkeit der jeweiligen Fahrbahnverhältnisse durchgeführt, um das potentielle Unfallrisiko abzuschätzen.

Ebenfalls in dieser Phase wurde das Unfallgeschehen an winterlichen Tagen eingehend analysiert.

Phase 4: Quantifizierung der wichtigsten Auswirkungen und Schlussbericht

Ziel dieser letzten Phase ist die Durchführung einer volkswirtschaftlichen Bewertung. Dabei sind folgende Arbeitsschritte vorgesehen:

- Die Interpretation der Auswertungsergebnisse
- Die Quantifizierung der Auswirkungen des praktizierten Winterdienstes auf die Unfallkosten, auf die Betriebskosten und auf die generalisierten Kosten (Fahrzeiten) der Verkehrsteilnehmer. Die Quantifizierung der Unfallkosten erfolgt mit Hilfe bestehender methodischer Grundlagen.
- Die Quantifizierung der Umweltauswirkungen. Die durch den Winterdienst verursachten Umweltkosten werden, aufgrund der vorhandenen Literatur zu den Umweltauswirkungen des Winterdienstes und den aktuellen Kostenschätzungen der berücksichtigten Umweltschäden, ermittelt.
- Die Gegenüberstellung der ermittelten volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen des Winterdienstes.
- Verfassung des Schlussberichts.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die durchgeführten Arbeitsschritte entsprechen den oben vorgestellten Arbeitsphasen näher beschrieben.

3 Stand der Forschung

Bei der Auswertung der einschlägigen Literaturquellen kann festgestellt werden, dass es relativ viele Publikationen über die ökologischen Wirkungen der Salzstreuung und über die Durchführung des Winterdienstes gibt, dass aber zum Fahrverhalten und zur Verkehrssicherheit bei winterlichen Strassenverhältnissen sowie über kosten-nutzen-analytische Überlegungen bezüglich des Winterdienstes relativ wenig Veröffentlichungen vorliegen.

Das Fahrverhalten auf Landstrassen bei Winterglätte wurde von Durth, Hanke und Levin eingehend untersucht (1989). Sie untersuchten die Geschwindigkeiten auf winterglatter Fahrbahn vor und nach dem Einsatz des Winterdienstes auf ebenen Strecken und auf Strecken mit Gefälle. Die Geschwindigkeitsmessungen erfolgten mit Hilfe von Doppler-Radargeräten.

Bezüglich der Witterung wurden alle relevanten Daten über Wetter (Temperatur, Art und Intensität der Niederschläge, Sichtverhältnisse etc.), Fahrbahnzustand (Art der Glätte, geräumt/gestreut etc.) und sonstige Ereignisse erfasst.

In einer weiteren Sicherheitsanalyse wurde das beobachtete Fahrverhalten dahingehend analysiert, ob die Geschwindigkeitszu- oder -abnahmen den veränderten fahrdynamischen Bedingungen Rechnung tragen, also risikoneutral sind oder nicht. Anhand fahrdynamischer Berechnungen, in Abhängigkeit der jeweiligen Fahrbahn- und Trassierungsverhältnisse, wurde für die gemessenen Geschwindigkeiten das potentielle Unfallrisiko ermittelt. Als Resultat wurde festgestellt, dass die Autofahrer auf deutschen Landstrassen das erhöhte Risiko bei Winterglätte erheblich unterschätzen. Die Risikowerte lagen im Vergleich für die glatte Fahrbahn durchschnittlich 57% über denen bei Trockenheit.

Die Autoren haben auch umfassende Untersuchungen über den Einfluss des Winterdienstes auf die Verkehrssicherheit durchgeführt und dabei eine Methode ausgearbeitet, die, mit einigen Anpassungen, auf schweizerische Verhältnisse übertragen werden kann. Unter anderem konnten sie nach Räumungs- und Streuvorgängen einen deutlichen Anstieg der Fahrgeschwindigkeiten nachweisen, bei gleichzeitiger Verkürzung der Anhaltewege um 45% (die fahrdynamischen Berechnungen zeigten, dass die Erhöhung der Haftung der Fahrzeuge an die Fahrbahn, der so genannte Kraftschluss, die Geschwindigkeitszunahme mehr als ausglich). Gezeigt wurde zudem, dass die gestreute "schwarze" Fahrbahn im Vergleich zu allen anderen Fahrbahnzuständen die sicherste ist.

Durth, Hanke und Levin untersuchten nicht nur den Einfluss des Winterdienstes auf die Unfallraten, sondern sie führten auch eine volkswirtschaftliche Bewertung der Wirkungen durch. Dabei wurden Unfallkosten, Betriebskosten und Zeitkosten der Verkehrsteilnehmer berücksichtigt. Umweltkosten wurden von ihnen nicht quantifiziert.

Eine analoge Untersuchung, grundsätzlich auf der gleichen Methodik basierend, wurde von Bark, Levin und Matthes für die Bundesautobahnen durchgeführt (1995), wobei die Methodik aufgrund fortschrittlicherer Messgeräte verfeinert werden konnte. Umweltkosten wurden auch in dieser Studie ausser Acht gelassen.

Auf der gleichen Methodik basierend wurde das Unfallgeschehen auf amerikanischen Ausserortsstrassen von Hanbali 1992 untersucht, der zu vergleichbaren Resultaten gelangte.

Ein gesamtwirtschaftlicher Berechnungsansatz zur Beurteilung des Winterdienstes wurde zudem von Pichler entwickelt (1987), wobei die Wirkung verschiedener Streumittel untersucht wurde. Für sehr viele Kriterien konnten jedoch keine quantitativen Aussagen gemacht werden.

Eine ähnliche Zusammenstellung lieferte bereits 1982 Sagasser. Im Gegensatz zu Pichler machte Sagasser zu vielen Kriterien auch quantitative Aussagen, die jedoch zum Teil auf ausländischen Studien basierten.

In der Schweiz hat sich Ruess B. (1998) mit den Umweltaspekten des Winterdienstes befasst. Untersucht wurden neben Wirtschaftlichkeitsüberlegungen unter anderem die Einflüsse der Salz- und Splittstreuung auf Böden, Gewässer, Grundwasser und Vegetation sowie Korrosionsschäden bei Fahrzeugen und Bauwerken in drei Städten.

Kritiker des Winterdienstes führen häufig Umweltschäden durch auftauende Streustoffe an. Brod (1993) hat zahlreiche deutsche und andere Untersuchungen bezüglich der Umweltwirkungen von Streusalz ausgewertet. Massgebliche Auswirkungen sind auf 2 bis maximal 10 m vom Fahrbahnrand beschränkt.

4 Vorgehen

4.1 Grundsätzliches zur volkswirtschaftlichen Bewertung des Winterdienstes

Der Strassenwinterdienst ermöglicht, dass an kritischen Wintertagen

- die Leistungsfähigkeit des Strassennetzes möglichst erhalten bleibt,
- die Verkehrssicherheit nicht zu stark beeinträchtigt wird,
- die Fahrzeiten bzw. –kosten der Fahrzeugfahrer im Vergleich zum Normalfall nicht allzu stark zunehmen.

Der Nutzen des Winterdienstes besteht also insbesondere darin, dass die Mobilität, wenn auch etwas eingeschränkt, erhalten bleibt, dass Glätteunfälle und grössere Zeitverluste verhindert werden.

Der Winterdienst verursacht aber auch Kosten. Für den Winterdiensteinsatz braucht es spezielle Fahrzeuge und Geräte, Streustoffe (Salz) und nicht zuletzt Personal im Bereitschaftsdienst.

Vom Winterdienst können auch einige der externen Umweltkosten, die vom Strassenverkehr verursacht werden, betroffen sein. Dazu gehören insbesondere die Belastungen durch Schadstoffemissionen des Verkehrs und die Schäden, die von den eingesetzten Salzmengen verursacht werden.

Um die Nutzen und die Kosten miteinander vergleichen zu können, müssen diese volkswirtschaftlich bewertet werden. Dies wird mit Hilfe der Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt. Die Bewertung erfolgt in monetären Einheiten.

Die Kosten-Nutzen-Analyse ist eine ökonomische Analyse. Sie basiert auf der ökonomischen Wohlfahrtstheorie und ist wissenschaftlich begründet. Mit ihrer Hilfe können die einzelnen Wirkungen, die von einer Infrastrukturmassnahme (in diesem Fall Winterdiensteinsatz) oder von einem Infrastrukturprojekt ausgehen, bewertet werden.

Die monetäre Bewertung der einzelnen Wirkungen basiert auf den folgenden Postulaten:

- Der soziale Wert einer Massnahme entspricht der Summe der individuellen Wertschätzungen, die jedes betroffene Mitglied der Gesellschaft der Massnahme beimisst.
- Der Wert, den ein Einzelner einer Massnahme beimisst, ist mit seiner "Zahlungsbereitschaft" für diese Massnahme identisch.

Die meisten Menschen haben eine positive Zahlungsbereitschaft für die Minderung des Unfallrisikos und für die Vermeidung von Zeitverlusten. Mit modernen ökonometrischen Methoden lassen sich diese Zahlungsbereitschaften ermitteln.

Die Wirkungen werden dabei immer im Vergleich zum Referenzfall ermittelt. Der Referenzfall ist in unserem Fall die Situation ohne Winterdiensteinsatz. Die zwei entscheidenden Fragen sind dabei die folgenden:

- Welche volkswirtschaftlichen Kosten würden an einem winterlichen Tag mit Schneefall entstehen, wenn der Winterdienst ausbliebe?
 - Welche volkswirtschaftlichen Kosten entstehen, wenn der Winterdienst durchgeführt wird?
-

Die Differenz zwischen diesen zwei Werten ergibt den volkswirtschaftlichen Nettonutzen der Massnahme „Winterdiensteinsatz“.

Diese Nettonutzen können je Einsatzgebiet allerdings nur überschlagsmässig ermittelt werden.

Ein Grund dafür ist, dass wir den Referenzfall nicht genau kennen, dass wir also nicht in jedem Fall wissen, was alles passieren würde, wenn der Winterdienst ausbliebe. Der schlimmste Fall ist nämlich das totale Erliegen des Verkehrs mit unbestimmter Dauer und mit einer beträchtlichen Anzahl Glätteunfällen vorher. Die volkswirtschaftlichen Kosten wären immens und kaum kalkulierbar. Entsprechend gross (im Vergleich zum Katastrophenfall) wäre demzufolge der Nutzen des Winterdiensteinsatzes und das wäre wenig realistisch. Es geht ja nicht um die Frage: „Wie gross ist der Nutzen, um eine Katastrophe zu verhindern?“, sondern um Fragen wie:

- Wie gross ist der Nutzen, wenn durch den Winterdienst die Mobilität und die Verkehrssicherheit gewährleistet werden kann?
- Wie gross ist der Nutzen eines schnelleren Einsatzes des Winterdienstes?

Deshalb gehen wir bei unseren Schätzungen nicht vom schlimmsten Fall aus. Der Referenzfall bei unseren Berechnungen ist die Situation kurz vor dem Einsatz des Winterdienstes. Der Winterdienst verbessert die Situation, ohne Winterdienst würde sich die Lage aber nicht weiter verschlimmern. Ohne Winterdiensteinsatz würden sich also je Zeitperiode gleichviel Glätteunfälle wie in der Zeitperiode vor dem Einsatz ereignen. Und ohne Winterdiensteinsatz wären die Zeitverluste der Fahrzeugfahrer ebenfalls gleich gross wie in der Periode vor dem Einsatz.

Ein zweiter Grund, wieso die Nutzenberechnungen nur überschlagsmässig erfolgen können, ist, dass auch der Zustand nach dem Winterdiensteinsatz nicht genau bekannt ist. Der Fahrbahnzustand ist nach dem Einsatz im Idealfall „salznass“. Dies kann, je nach Witterung und Bodentemperatur schnell oder verzögert eintreten. Je nach Witterung genügt es, wenn nur Salz gestreut wird, um diesen Zustand schnell zu erreichen. Bei stärkerem Schneefall muss vor dem Salzen geräumt werden. Bei andauerndem Schneefall kann sich die Situation unter Umständen sogar verschlechtern, was weitere Einsätze erforderlich macht. Der Fahrbahnzustand nach dem Einsatz ist also weitgehend von der schlecht voraussehbaren weiteren Witterung abhängig. Deshalb können die Auswirkungen des Winterdiensteinsatzes und ihre monetäre Bewertung nur für eine „mittlere“ Fahrbahnsituation, die sich aus mehreren Beobachtungen ergeben, ermittelt werden.

Die kosten-nutzen-analytischen Berechnungen für die einzelnen Einsatzgebiete werden aufgrund dieser Einschränkungen durchgeführt.

4.2 Methodik

Die von Durth, Hanke und Levin (1989) sowie von Bark, Levin und Matthess (1995) verwendete Methodik wurde weitgehend auch für die vorliegende Untersuchung übernommen.

Grundlage der Methodik ist die Verknüpfung von detaillierten Unfalldaten, Wetteraufzeichnungen (Fahrbahnzustände, Art der Glätte, Art und Intensität des Niederschlags etc.), Einsatzberichte des Strassenwinterdienstes und Verkehrsdaten (Verkehrszählungen und Geschwindigkeitsmessungen). Dabei werden die Verkehrsdaten an ausgewählten Querschnitten bei winterlichen und nichtwinterlichen Verhältnissen erhoben.

5 Vorbereitung der Erhebungen

5.1 Auswahl der Messorte

Am 9. Oktober 2002 wurde eine Startsituation mit der Begleitgruppe durchgeführt.

Das Ziel dieser Startsituation war die Festlegung von Messorten. Diskutiert wurde daneben auch die Praxis des Winterdienstes auf den Autobahnen und auf dem städtischen Strassennetz der 1. Dringlichkeitsstufe.

Bezüglich der Auswahl der Messorte wurden die folgenden Auswahlkriterien beschlossen:

- Es sollen Strecken ausgewählt werden, die ein relativ hohes Verkehrsaufkommen aufweisen.
- Priorität haben Messorte auf Autobahnen, aber auch städtische Strassen sollen betrachtet werden (das ursprüngliche Ziel bestand darin, 5-6 Standorte auszuwählen, wovon 2 städtische sein sollten).

Aufgrund der Diskussionen wurden die folgenden Messorte provisorisch festgelegt:

1. Kanton Baselland: A2 bei Sissach
2. Kanton Aargau: A1 bei Schafisheim
3. Kanton Zürich: A3 bei Wädenswil/Thalwil
4. Stadt Zürich: Rosengartenstrasse
5. Kanton St. Gallen: Leonhardsstrasse
6. Kanton Luzern: Seebrücke

Anschliessend an diese Startsituation wurden diese Standorte einer weiteren Prüfung unterzogen.

Dabei wurden von uns vier weitere Auswahlkriterien erarbeitet:

- Der Messort sollte schnell erreichbar sein, damit die Beobachterperson deutlich vor dem Eintreffen des Winterdienst-Einsatzfahrzeuges mit den Beobachtungen beginnen kann.
- Am Messort sollte ein Automatenzähler vorhanden sein, der in einem 15 Minuten-Intervall neben den Fahrzeugmengen auch die Geschwindigkeiten und Längensklassen erfassen kann (Ein so genanntes Analysegerät).
- Am Messort sollte genug Platz vorhanden sein für eine unauffällige und gefahrlose Positionierung des Fahrzeuges der Beobachterperson.
- Im Bereich des Messortes sollten keine Geschwindigkeitsbegrenzungen und möglichst keine Knotenpunkte vorhanden sein.

Bei der Anwendung dieser Kriterien auf die 6 provisorisch festgelegten Messorte zeigte sich, dass nur ein einziger Standort diese Kriterien erfüllt. Dies war der Messort an der A3 im Kanton Zürich, bei Wädenswil/Thalwil. Der Automatenzähler an diesem Standort (Analysegerät) wurde vom Kanton Zürich extra zu diesem Zweck zur Verfügung gestellt und auf 15 Minuten Intervallbetrieb eingerichtet. Bei den übrigen Standorten gibt es zurzeit keinen Automatenzähler oder dann nur solche, die nur Fahrzeugmengen erfassen können aber keine Geschwindigkeiten.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde eine intensive Phase der Standortsuche eingeleitet. Es wurden verschiedene Gespräche (direkt oder auf dem Korrespondenzweg) mit den zuständigen Stellen und mit verschiedenen Personen geführt (Stadt Zürich, St. Gallen, ASTRA, Kanton Aargau), um abzuklären, ob geeignete Analysegeräte vorhanden sind und ob diese auf ein 15-Minuten Intervallbetrieb umgerüstet werden könnten.

Die Abklärungen zogen sich aus diversen Gründen (volle Terminkalender, Ferienabwesenheit etc.) in die Länge. Obwohl die Kooperationsbereitschaft und das Interesse an dieser Studie bei allen Stellen ausgeprägt war, konnte ein erster Erfolg zunächst nur in der Stadt St. Gallen erzielt werden. Anlässlich einer Sitzung mit den Leitern der städtischen und kantonalen Strasseninspektoren wurde vereinbart, dass der Kanton an der Rorschacherstrasse in der Stadt St. Gallen ein Analysegerät für diesen Zweck einrichten würde. Die Daten würden dann per Internet an unser Büro weitergeleitet und die (damals noch unbekannt) Beobachterperson würde jeweils vom Leiter des Winterdienstes rechtzeitig aufgeboden werden.

In der Stadt Zürich führten die Gespräche zunächst zu keinem Erfolg, da die Stadt selber über kein entsprechendes Analysegerät verfügt.

Durch weitere Abklärungen und Anfragen beim Bundesamt für Strassen (ASTRA) wurden wir darauf aufmerksam gemacht, dass das ASTRA an diversen Standorten in der Schweiz zum Zwecke der statistischen Erfassung des Verkehrsgeschehens mit Hilfe von modernen Automatenzählern Echtzeitdaten erfasst und diese in einer Online-Datenbank abspeichert¹. Die Daten können für die Weiterbearbeitung via "Daten-Download" per Internet abgerufen werden. Dabei liefern die Datenerfassungsgeräte pro Fahrzeug die folgenden Informationen:

- Fahrzeugklasse
- Fahrzeuglänge
- Geschwindigkeit
- Abstand Fahrzeugfront zu Fahrzeugheck
- Fahrtrichtung
- Fahrstreifen
- Uhrzeit
- Datum

Dank der Erfassung von Einzelfahrzeugen sind beliebige Aggregationen möglich (Zeitintervalle, Geschwindigkeitsklassen, Fahrzeugklassen).

In einer ersten Pilotphase waren etwa 25 solche Messstandorte in Betrieb. Zunächst war der Versuch zeitlich limitiert. Da die Erfahrungen der Nutzer jedoch sehr positiv waren, wurde vom ASTRA beschlossen, das System weiterzuführen und mit weiteren Erfassungsstandorten zu ergänzen².

Dank dieser Online-Datenbank hat sich die Standortsuche wesentlich vereinfacht. Ausgewählt wurden in der Folge (nebst dem bereits gewählten Standort Wädenswil/Thalwil) zunächst die folgenden Standorte:

¹ Bundesamt für Strassen: Online-Datenbank, Projektbeschreibung (M.Rubin), 2002

² Während der Pilotphase des Projektes "Online-Datenbank" haben weitere potenzielle Benutzer ihr Interesse an dieser Anwendung angemeldet.

Kt. BE, A1, Mattstetten und

Kt. AG, A1, Hunzenschwil

Im Kanton Basel Landschaft wurde zunächst der Standort bei Eptingen favorisiert (wegen der Höhenlage). Da jedoch die Baustelle Belchen einen Störfaktor darstellt, wurde in Absprache mit Herrn Scholer auf die Messstelle bei Muttenz ausgewichen.

Für die Stadt Zürich gab es zunächst immer noch keine Lösung. Da hat uns ein E-Mail von Herrn Rubin (ASTRA) erreicht mit dem folgenden Inhalt: "Das ASTRA hat entschieden, ihre Zählstelle Nr. 106, Zürich, Rosengartenstrasse rasch möglichst auf Online-Betrieb (mit Geschwindigkeitserfassung) umzurüsten. Die Umrüstungsarbeiten sind für die zweite Hälfte Januar 2003 vorgesehen."

Damit waren alle sechs Messorte bestimmt und die benötigten Fahrzeugdaten gesichert.

5.2 Rekrutierung der Beobachter

Bei der Rekrutierung geeigneter Beobachter musste darauf geachtet werden, dass diese zeitlich sehr flexibel sein und auch für frühmorgendliche Einsätze bereit sein müssen. Zudem müssen sie in der Nähe des Einsatzortes wohnen und über einen eigenen PW verfügen, damit sie den Einsatzort schnell erreichen können. Der PW sollte zudem, insbesondere bei extremer Witterung als Schutz vor Kälte dienen.

Dieses Anforderungsprofil wird am besten von pensionierten Personen erfüllt. In der Folge haben wir dann in den relevanten Tageszeitungen entsprechende Inserate aufgegeben. Pro Inserat haben sich jeweils durchschnittlich 5 bis 10 Personen telefonisch bei uns gemeldet. Das wichtigste Auswahlkriterium war die schnelle Erreichbarkeit des Beobachtungsortes. Ein weiteres, aber nicht entscheidendes Kriterium war der früher ausgeübte Beruf; Personen, die mit Strassenverkehr zu tun hatten, waren im Vorteil. In der Stadt St. Gallen konnten wir sogar einen ehemaligen Winterdienstinspektor für diese Aufgabe gewinnen.

Mit den ausgewählten Personen wurden persönliche Interviews geführt und es wurde ihnen ausführlich erklärt, was sie zu tun hätten. Mit jedem Einzelnen wurde dann ein Arbeitsvertrag abgeschlossen, in welchem die Aufgaben, die Pflichten und die Entschädigung festgehalten wurde.

Anschliessend wurden ihnen vorbereitete Formulare ausgehändigt, auf welchen die durchzuführen den Aufgaben definiert waren³. Gezeigt wurde ihnen zudem, wo sie ihre Beobachtertätigkeit ausüben hatten. Bei Autobahnen kamen grundsätzlich nur Rastplätze, Autobahnbrücken oder zur Autobahn parallel verlaufende Wege in Frage, da sie die Fahrbahn nicht betreten sollten.

Es wurde im Weiteren vereinbart, dass sie sich, insbesondere bei zu erwartendem Schneefall, im Rahmen eines Pikettdienstes zur Verfügung stellen sollten und nur beim Aufgebot des jeweiligen Winterdienst-Einsatzleiters auszurücken hätten. Bei prophylaktischen Einsätzen des Winterdienstes (Salzen bei trockener Fahrbahn) sollten sie jedoch nicht ausrücken.

Ein Einsatz dauerte jeweils etwa 2 Stunden. Die Beobachterperson wurde vom Einsatzleiter aufgeboden und musste, wenn möglich, eine 1/2 Stunde vor dem Winterdienstfahrzeug mit den Messungen und Beobachtungen beginnen und nach dem Einsatz des Winterdienstes noch eine Stunde wei-

³ Das Beispiel eines solchen Formulars findet sich im Anhang 3.

ter messen und beobachten. Dabei waren durchaus mehrere Einsätze an einem Tag vorgesehen, falls die Wettersituation es erfordern sollte.

Da die Beobachter unter anderem auch Temperaturmessungen vorzunehmen hatten, wurde ihnen ein Spezialtemperaturmessgerät abgegeben⁴. Mit diesem können Temperaturen berührungslos (Infrarottechnologie) gemessen werden. Dies war insbesondere für Messorte bei Autobahnen nötig, da die Beobachterpersonen die Fahrbahn nicht betreten durften.

5.3 Zusammenarbeit mit den Winterdiensteinsatzleitern

Mit den zuständigen Werkhofsleitern, bzw. Winterdiensteinsatzleitern in den zuständigen Werkhöfen wurden, nachdem die Beobachter ausgewählt waren, separate Gespräche geführt und es wurde ihnen der Zweck der Studie erläutert. Die Kooperationsbereitschaft war in allen Fällen ausserordentlich gut. Dies ist sicher auch darauf zurückzuführen, dass die Ziele der Studie motivierend wirkten. Die Zusammenarbeit zwischen Winterdiensteinsatzleitern und den Beobachterpersonen hat in der Folge sehr gut funktioniert.

5.4 Automatenzählern

Für die vier Messorte, die im ASTRA Online-System integriert sind (Mattstetten, Hunzenschwil, Muttenz und Rosengartenstrasse in Zürich) wurden die Messdaten für diejenigen Tage, an welchen der Winterdienst und die Beobachter aktiv waren sowie für einige Wintertage ohne Schneefall, an denen die Fahrbahnen trocken waren, vom Internet herunter geladen. Bei diesen Daten handelte es sich um Einzelfahrzeuge, wobei jeweils Fahrzeugklasse, Fahrzeuglänge, Geschwindigkeit, Datum und Zeit der Erfassung (auf 1/100 Sec), Fahrstreifen, Fahrtrichtung und Fahrzeugabstand erhoben wurden.

Mit den Datenlieferanten in St. Gallen und im Kanton Zürich wurde vereinbart, dass sie uns die Zählern jeweils für die von uns angegebenen Tage per Internet liefern würden.

Wegen den unterschiedlichen Automatenzählern, aber auch wegen den unterschiedlichen Inhalten und Aufbereitungsarten dieser Daten mussten drei verschiedene Varianten der Schnittstellensoftware programmiert werden, um die Daten in eine einheitliche Form zu bringen. Dabei wurden jeweils zwei Tages-Datensätze erstellt und diese in die entsprechenden Datenbanken abgespeichert. Der erste Datensatz enthält je Fahrspur die Anzahl Fahrzeuge je Geschwindigkeitsklasse im 15-Minuten-Intervall und der zweite die Anzahl Fahrzeuge je Längenklasse, ebenfalls im 15-Minuten-Intervall.

Die Inputdaten wurden zudem plausibilisiert und geprüft. Zum Teil gab es Lücken in der Aufzeichnung der Daten. In diesen Fällen konnte keine Auswertung durchgeführt werden. Die Klassenbreite der Geschwindigkeitsklassen auf Autobahnen wurde auf 10 km/h, und auf Stadtstrassen auf 5 km/h festgelegt.

Entsprechende Daten gibt es auch für solche Tage, an denen kein Winterdiensteinsatz nötig war. Diese Tage stellen sozusagen den Normalfall dar, wo der Verkehr normal verläuft. Diese Daten dienen zum Vergleich des Fahrverhaltens an normalen und "winterlich bedingten nichtnormalen" Tagen.

⁴ Es handelte sich um ein Raytek MT 4 - Gerät.

5.5 Einsätze der Beobachter

Wurde wegen der winterlichen Witterung ein Winterdiensteinsatz notwendig, so wurde der für den Einsatz vorgesehene Beobachter vom Einsatzleiter telefonisch informiert. Dieser rückte dann unverzüglich aus und bezog die vorgesehene Beobachterposition. Die Beobachtertätigkeit begann sofort nach Ankunft des Beobachters und sie dauerte bis eine Stunde nach dem Winterdiensteinsatz. Die Resultate der Beobachtungen wurden im bereits erwähnten Formular protokolliert. Die ausgefüllten Formulare wurden uns umgehend abgegeben, von uns plausibilisiert und EDV-mässig erfasst.

5.6 Die Datensätze in den Winterperioden 2002/2003 und 2003/2004

Der Winter 2002/2003 war ein strenger Winter mit zum Teil sehr tiefen Temperaturen. Behinderungen des Strassenverkehrs durch winterliche Witterungszustände (Schneefall, Eisregen etc.) gab es trotzdem nicht überall.

Am meisten wurden die Beobachter im Kanton Zürich (24-mal) und in der Stadt St. Gallen (20-mal) aufgeboden. Für den Messort bei Hunzenschwil liegen 7, für den bei Muttenz 4, für die Rosengartenstrasse 3 und für Mattstetten bloss 2 Beobachtungen vor. Für die vier letztgenannten Messorte war die Ausbeute in dieser Winterperiode trotz des kalten Winters eindeutig zu klein. Es wurde deshalb beschlossen, an diesen Standorten im nächsten Winter weitere Beobachtungen und Messungen durchzuführen.

Der Winter 2003/2004 war zwar etwas milder als der vorangehende, in vieler Hinsicht aber von ähnlichem Verlauf: Wiederum liegen für Mattstetten nur zwei und für die Rosengartenstrasse in Zürich nur 3 Beobachtungen vor. Bei Hunzenschwil beträgt die Ausbeute 4⁵ und in Muttenz gab es keine zusätzlichen Beobachtungen.

Da bei Muttenz insgesamt zu wenig Beobachtungen vorliegen, wurde dieser Beobachtungsort bei den weiteren Untersuchungen nicht mehr berücksichtigt.

Obwohl für die Messorte Wädenswil und in St. Gallen bereits im ersten Winter genügend Beobachtungen resultierten, wurden die Beobachter auch in der zweiten Winterperiode nochmals aufgeboden. In St. Gallen wurden noch vier und in Wädenswil noch an sieben weiteren Tagen Erhebungen durchgeführt. Die Messdaten in Wädenswil sind jedoch nur bedingt verwendbar, da der Automatenzähler nicht auf 15 Minuten Intervall umgestellt wurde.

Die Tabellen auf den nachfolgenden Seiten geben in gekürzter Form Auskunft über die Beobachtereinsätze der letzten zwei Winter. Aus diesen Tabellen ist zudem ersichtlich, dass der Winterdiensteinsatz häufig nur aus Salzstreuung bestand, das heisst, eine Schneeräumung war nicht erforderlich.

In anderen Fällen, nach anhaltendem Schneefall, konnte die Situation trotz Salzeinsatz und Schneeräumung nur stabilisiert werden. In solchen Fällen blieb die Fahrbahn schneebedeckt oder der Schnee verwandelte sich in Schneematsch.

⁵ Winterdiensteinsätze gab es hier zwar mehr als vier. Aus welchem Grund der Beobachter nur viermal berichtet hat ist nicht ganz klar, entweder wurde er nicht immer aufgeboden oder hat nicht jedes Mal gehen können.

Tabelle 5-1 Beobachtungseinsätze Winterdienst: Hunzenschwil
Winter 2002/2003

Datum	Wochen- tag	Ankunft Beobacht.	Schneefall bei Ankunft Beobacht.	Fahrbahn vor WD	Ankunft WD	Schneefall bei Ankunft WD	Nur Salz	Räumung und Salz	Schneefall 60 Min nach WD	Fahrbahn nach WD (60 Min)
05.01.03	SO	06:05	kein	Nass	06:28	kein	X		kein	nass
07.01.03	DI	03:50	mässig		03:55	mässig	X		mässig	salznass
29.01.03	MI	20:15	mittel	6cm, Matsch	20:25	mittel		X	stark	10cm, Matsch
31.01.03	FR	04:15	mässig	Eisglätte	04:35	kein	X		kein	Eisglätte
03.02.03	MO	19:35	stark	5cm, Matsch	19:50	stark		X	mittel	5cm, Spurbild.
05.02.03	MI	03:55	stark	7cm, locker	04:00	mittel		X	mässig	4cm, Spurbild.
		18:30	mässig	2cm, Spurbild.	18:45	mässig		X	mässig	Salznass

Winter 2003/2004

Datum	Wochen- tag	Ankunft Beobacht.	Schneefall bei Ankunft Beobacht.	Fahrbahn vor WD	Ankunft WD	Schneefall bei Ankunft WD	Nur Salz	Räumung und Salz	Schneefall 60 Min nach WD	Fahrbahn nach WD (60 Min)
20.01.04	DI	05:30	stark	5cm, Matsch	05:45	stark		X	stark	3cm, fest, Spur
27.01.04	DI	05:00	stark	10cm, Matsch, Spur	05:15	stark		X	mittel.	6cm, Matsch, Spur
29.01.04	DO	08:00	mittel	10cm, Matsch, Spur	08:15	mittel		X	mittel	5cm, Matsch, Spur
23.02.04	MO	05:15	stark	10cm, Matsch, Spur	05:30	stark		X	stark	10cm, Matsch, Spur

Tabelle 5-2 Beobachtungseinsätze Winterdienst: Mattstetten, Autobahnbrücke A1, Brücke Mattstetten

Winter 2002/2003

Datum	Wochen- tag	Ankunft Beobacht.	Schneefall bei Ankunft Beobacht.	Fahrbahn vor WD	Ankunft WD	Schneefall bei Ankunft WD	Nur Salz	Räumung und Salz	Schneefall 60 Min nach WD	Fahrbahn nach WD (60 Min)
30.01.03	DO	04:15	mässig	2cm, Matsch	04:30	kein	X		mässig	salznass
05.02.03	MI	05:15	mässig	3cm, Matsch	06:40	mässig	X		mässig	5cm, Matsch

Winter 2003/2004

Datum	Wochen- tag	Ankunft Beobacht.	Schneefall bei Ankunft Beobacht.	Fahrbahn vor WD	Ankunft WD	Schneefall bei Ankunft WD	Nur Salz	Räumung und Salz	Schneefall 60 Min nach WD	Fahrbahn nach WD (60 Min)
20.01.04	DI	02:00	mittel	6cm, Matsch, Spur	02:45	mässig		X	mässig	6cm, Matsch
27.01.04	DI	02:00	mässig	7cm, Matsch, Spur	03:30	mässig		X	kein	salznass

Tabelle 5-3 Beobachtungseinsätze Winterdienst: MuttENZ, Zurlindenbrücke Pratteln, Richtung Luzern
Winter 2002/2003

Datum	Wochen- tag	Ankunft Beobacht.	Schneefall bei Ankunft Beobacht.	Fahrbahn vor WD	Ankunft WD	Schneefall bei Ankunft WD	Nur Salz	Räumung und Salz	Schneefall 60 Min nach WD	Fahrbahn nach WD (60 Min)
05.01.03	SO	05:30	mässig	5cm; Matsch	06:10	mittel	X		mittel	salznass
07.01.03	DI	08:00	mittel	5cm, Spurbild.	09:00	mittel		X	mittel	salznass
20.01.03	MO	05:00	kein		05:30	kein	X		kein	
04.02.03	DI	19:30	mittel	Matsch	20:30	mittel	X		kein	salznass

Tabelle 5-4 Beobachtungseinsätze Winterdienst: St. Gallen
Winter 2002/2003, Richtung St.Gallen - Rorschach

Datum	Wochen- tag	Ankunft Beobacht.	Schneefall bei Ankunft Beobacht.	Fahrbahn vor WD	Ankunft WD	Schneefall bei Ankunft WD	Nur Salz	Räumung und Salz	Schneefall 60 Min nach WD	Fahrbahn nach WD (60 Min)
05.01.03	SO	05:00	mittel	0-1cm	05:09	mittel	X		kein	salznass
		18:40	kein	0-1cm	18:50	kein	X		kein	salznass
07.01.03	DI	04:05	kein	0-1cm, locker	04:15	kein	X		mittel	salznass
		16:15	mittel	1-2cm, fest	16:16	mittel	X		kein	salznass
		19:20	mittel	2-3cm, Spurbild.	19:50	kein		X	kein	Spurbildung
14.01.03	DI	04:05	kein	2-3cm, locker	04:10	kein		X	mittel	Matsch
24.01.03	FR	04:05	mittel	1cm, Matsch	04:14	mittel	X		kein	2cm, Matsch
25.01.03	SA	04:35	kein	Eisglätte	04:49	kein	X		kein	salznass
26.01.03	SO	08:14	mittel	1-2cm, fest	08:50	mittel		X	mittel	0,5cm
27.01.03	MO	04:12	kein	Nass	04:35	kein	X		kein	salznass
29.01.03	MI	03:55	stark	3cm, locker	04:18	kein		X	kein	0,5cm, fest
30.01.03	DO	03:43	kein	2-3cm, locker	04:00	kein		X	kein	salznass
		18:20	mittel	2-3cm, Spurbild.	18:30	mittel		X	kein	1cm, Spurbild.
31.01.03	FR	03:51	mittel	0,5cm, locker	04:10	mittel		X	kein	salznass
01.02.03	SA	03:40	mittel	1,5cm, Spurbild.	04:00	mittel		X	kein	salznass
02.02.03	SO	04:20	mittel	1cm, Spurbild.	04:48	mittel		X	mittel	0,5, locker
04.02.03	DI	03:55	kein	0-3cm, fest	04:15	kein		X	kein	salznass
		08:30	mittel	2cm, Spurbild.	08:45	stark		X	mittel	0-4cm, Spurbild.
		12:50	stark	1-2cm, Matsch	13:45	mittel		X	mittel	1-4cm, Spurbild.
		17:05	mittel	2-4cm, Spurbild.	17:30	mittel		X	kein	salznass
07.04.03	FR	08:20	mittel	0,5, Matsch	08:37	mittel	X		kein	salznass

 Winter 2003/2004, Richtung Rorschach- St.Gallen

Datum	Wochen- tag	Ankunft Beobacht.	Schneefall bei Ankunft Beobacht.	Fahrbahn vor WD	Ankunft WD	Schneefall bei Ankunft WD	Nur Salz	Räumung und Salz	Schneefall 60 Min nach WD	Fahrbahn nach WD (60 Min)
31.12.03	MI	07:15	mittel	1cm,Matsch,Spur	07:33	mittel		X	mittel	Matsch
29.01.04	DO	09:15	mittel	1,5cm, Matsch	10:30	mittel		X		
11.02.04	MI	06:18	mittel	1,5cm,Matsch, Spur	06:23	mittel		X	mittel	0-2cm,Matsch
23.02.04	FR	06:45	mittel	1,5cm, fest	07:25	mittel		X	mittel	1cm, Matsch
11.03.04	DO	06:30	mittel	1,0cm Matsch	06:41	mittel		X	mittel	0,5cm Matsch

Tabelle 5-5 Beobachtungseinsätze Winterdienst: Wädenswil, Richtung Zürich
Winter 2002/2003

Datum	Wochen- tag	Ankunft Beobacht.	Schneefall bei Ankunft Beobacht.	Fahrbahn vor WD	Ankunft WD	Schneefall bei Ankunft WD	Nur Salz	Räumung und Salz	Schneefall 60 Min nach WD	Fahrbahn nach WD (60 Min)
04.01.03	SA	20:30	kein	Reifglätte	21:20	kein	X		kein	Reifglätte
05.01.03	SO	04:00	kein	Reifglätte	04:20	kein	X		kein	Reifglätte
		08:45	mittel	Schnee, locker	09:25	mittel	X		mittel	Spurbildung
		16:30	kein	Reifglätte	17:15	kein	X		kein	Reifglätte
06.01.03	MO	04:15	kein	Reifglätte	04:45	kein	X		kein	Reifglätte
13.01.03	MO	16:00	mittel	Reifglätte	16:25	mittel	X		mittel	locker
		20:50	mittel	3cm, Matsch	21:10	mittel	X		mittel	2cm, Spurbildung
14.01.03	DI	04:00	kein	Matsch, Spur	04:25	kein		X	kein	Matsch, Spur
26.01.03	SO	05:00	mittel	Reifglätte	05:35	mittel	X		mittel	Reifglätte
		19:25	kein	Reifglätte	19:50	kein	X		kein	Reifglätte
29.01.03	MI	04:15	mittel	1,5cm, Matsch	04:40	mittel		X	mittel	Matsch, Spur
		21:15	mittel	1,5cm, Matsch	21:40	mittel	X		mittel	Spurbildung
30.01.03	DO	03:15	mittel	2cm, festgefahren	04:10	mittel	X		kein	Matsch, Spur
		14:30	mittel	0,5cm, Matsch	15:15	mässig	X		mässig	Eisglätte
		18:45	mässig	2cm, Matsch	19:30	mittel		X	kein	Matsch
31.01.03	FR	03:30	kein	0,5cm, festgefahren	04:00	mässig		X	kein	Salznass
01.02.03	SA	03:40	mässig	Spurbildung, locker	04:15	mässig	X		kein	Eisglätte
02.02.03	SO	03:45	mittel	1,5cm, Spurbildung	04:30	mittel		X	mässig	Matsch, Spur
03.02.03	MO	20:30	mittel	Matsch, Spur	21:20	mittel	X		mittel	1,5cm, Matsch, Spur
04.02.03	DI	00:10	mittel	Matsch, Spur	01:20	mittel		X	mittel	Matsch, Spur
		06:00	mittel	Matsch	06:25	mittel		X	mittel	Matsch, Spur
		19:00	mittel	Matsch, Spur	20:45	kein		X	kein	Spur
05.02.03	MI	05:00	mittel	1cm, Schneeglätte	05:40	mittel		X	mittel	1cm, Matsch, Spur
		18:00	mittel	1,5cm, fest, Spur	18:45	mittel		X	mittel	Matsch, Spur
06.02.03	DO	03:30	mittel	10cm, fest, Spur	04:20	sehr stark		X	Kein	3cm, fest, Spur

Winter 2003/2004

Datum	Wochen- tag	Ankunft Beobacht.	Schneefall bei Ankunft Beobacht.	Fahrbahn vor WD	Ankunft WD	Schneefall bei Ankunft WD	Nur Salz	Räumung und Salz	Schneefall 60 Min nach WD	Fahrbahn nach WD (60 Min)
22.12.03	MO	04:30	mittel	0,5cm, Matsch, Spur	05:15	mittel		X	kein	salznass
02.01.04	FR	04:15	mittel	5cm, locker, Spur	04:40	mittel		X	mittel	salznass
28.01.04	MI	06:00	mittel	10cm, Matsch, Spur	06:30	mittel		X	mittel	salznass
29.01.04	DO	05:00	kein	trocken	05:30	kein	X		kein	trocken
		09:30	stark	15cm, Matsch, Spur	10:00	stark		X	mittel	salznass
09.02.04	MO	05:00	mittel	20cm, Matsch, Spur	05:30	mittel		X	kein	salznass
11.02.04	MI	07:30	mittel	5cm, Matsch, Spur	08:10	mittel		X	mittel	salznass
02.03.04	DI	07:00	mittel	1,5cm, Matsch, Spur	07:30	mittel		X	mittel	salznass

Tabelle 5-6 Beobachtereinsätze Winterdienst: Zürich, Rosengartenstrasse, Richtung Hardbrücke
Winter 2002/2003

Datum	Wochen- tag	Ankunft Beobacht.	Schneefall bei Ankunft Beobacht.	Fahrbahn vor WD	Ankunft WD	Schneefall bei Ankunft WD	Nur Salz	Räumung und Salz	Schneefall 60 Min nach WD	Fahrbahn nach WD (60 Min)
29.01.03	MI	03:45	kein		04:20	kein	X		kein	salznass
30.01.03	DO	08:00	mittel		08:30	mittel	X		kein	salznass
06.02.03	DO	03:40	mittel	2cm, Matsch	04:25	kein		X	kein	salznass

Winter 2003/2004

Datum	Wochen- tag	Ankunft Beobacht.	Schneefall bei Ankunft Beobacht.	Fahrbahn vor WD	Ankunft WD	Schneefall bei Ankunft WD	Nur Salz	Räumung und Salz	Schneefall 60 Min nach WD	Fahrbahn nach WD (60 Min)
27.01.04	DI	03:50	mittel	4cm, fest, Spur	04:20	mittel		X	mittel	salznass
28.01.04	MI	05:15	kein	1cm, Spur	05:45	mittel	X		kein	salznass
29.01.04	DO	04:20	kein	eisglatt	04:35	kein	X		kein	salznass

6 Fahrverhalten bei winterlichen Verhältnissen

6.1 Einleitung

Grundsätzlich können vier Arten der Winterglätte unterschieden werden: Schneeglätte, Eisglätte, Glatteis und Reifglätte. Wegen den Schwierigkeiten, aufgrund der relativ milden Winter, überhaupt genügend Beobachtungen für abgesicherte Aussagen bei Winterglätte zu erhalten, war es nicht möglich, eine Differenzierung nach diesen vier Arten vorzunehmen, zumal einzelne Glätteformen nur sehr selten auftreten. Aus diesem Grund wurde die am häufigsten auftretende Schneeglätte als die Grundform der Winterglätte für die weiteren Untersuchungen ausgewählt. Alle abgeleiteten Aussagen, insbesondere zum Geschwindigkeitsverhalten, beziehen sich deshalb auf die schneeglättere Fahrbahn.

6.2 Verkehrsbelastung

Die Verkehrsstärken sind in den winterlichen Monaten generell tiefer als im Jahresdurchschnitt. Am tiefsten sind sie in den Monaten Januar und Februar. Am Messort Wädenswil/Thalwil wurden in der Winterperiode 2002/2003 beispielsweise die folgenden Winter-DWV-Werte (Di-Do) gemessen:

Tabelle 6-1 Durchschnittliche tägliche Verkehrsbelastung 2003 an Werktagen (Dienstag bis Donnerstag) je Monat: Messort Wädenswil/Thalwil

Monat	DWV Di-Do
November	50'708
Dezember	50'489
Januar	46'865
Februar	49'239
März	52'562
April	52'222
Durchschnitt 2003	52'849

Der Lastwagenanteil an dieser Strecke schwankt zwischen 6 bis 9%

In der folgenden Tabelle sind entsprechende Werte für einige ausgeprägt winterliche Tage zusammengestellt:

Tabelle 6-2 Durchschnittliche tägliche Verkehrsbelastung für ausgeprägt winterliche Tage: Messort Wädenswil/Thalwil

Datum	Wochentag	Verkehrsbelastung 24 Std.
13. Januar 2003	Montag	41'887
29. Januar 2003	Mittwoch	43'641
30. Januar 2003	Donnerstag	40'173
3. Februar 2003	Montag	43'865
6. Februar 2003	Donnerstag	42'523

Diese Werte liegen deutlich unter den entsprechenden Monatsmittelwerten. Wegen dem schlechten Wetter und den ungünstigen Fahrbahnzuständen verzichteten offenbar viele Menschen auf gewisse Fahrten, die nicht unbedingt notwendig sind (vor allem Einkaufs- und Freizeitfahrten). Insgesamt beträgt die Differenz etwa 7 bis 13%.

Ein ähnliches Bild zeigt sich auch am Messort Hunzenschwil:

Tabelle 6-3 Durchschnittliche tägliche Verkehrsbelastung 2003 an Werktagen (Dienstag bis Donnerstag) je Monat : Messort Hunzenschwil

Monat	DWV Di-Do
November	56'808
Dezember	53'863
Januar	50'279
Februar	52'793
März	57'709
April	59'414
Durchschnitt 2003	57'988

Der Lastwagenanteil an dieser Strecke beträgt etwa 14%.

In der folgenden Tabelle sind entsprechende Werte für einige ausgeprägt winterliche Tage zusammengestellt:

Tabelle 6-4 Durchschnittliche tägliche Verkehrsbelastung für ausgeprägt winterliche Tage: Messort Hunzenschwil

Datum	Wochentag	Verkehrsbelastung 24 Std.
3. Februar 2003	Montag	47'870
5. Februar 2003	Mittwoch	45'094

Auch bei Hunzenschwil liegen die Werte an winterlichen Tagen deutlich unter den entsprechenden Monatsmittelwerten. An diesem Messort beträgt die Abnahme etwa 9 bis 14%, wobei die Lastwagen diesbezüglich etwas weniger betroffen sind.

6.3 Geschwindigkeitsverhalten

Der Fahrzeugfahrer hat seine Geschwindigkeit den Strassen-, Verkehrs- und Sichtverhältnissen anzupassen. Welche Geschwindigkeit ein Fahrer wählt, hängt unter anderem von seiner Erfahrung und seiner subjektiven Einschätzung der jeweiligen Fahrsituation ab. Wenn alle Fahrzeugfahrer die Situation gleich einschätzen würden, gäbe es keine Unterschiede in den gewählten Geschwindigkeiten; alle würden gleich schnell fahren. In Wirklichkeit ist die Spannweite der Unterschiede jedoch beträchtlich. Dargestellt werden diese Unterschiede meistens mit Hilfe der so genannten Geschwindigkeitsverteilungslinien.

Aus der Geschwindigkeitsverteilung können im Weiteren die folgenden Kennwerte ermittelt werden:

- $V_{15\%}$: Geschwindigkeit, die von 15% aller Fz erreicht bzw. unterschritten wird
- $V_{50\%}$: Geschwindigkeit, die von 50% aller Fz erreicht bzw. unterschritten wird (wird auch als mittlere Geschwindigkeit bezeichnet)
- $V_{85\%}$: Geschwindigkeit, die von 85% aller Fz erreicht bzw. unterschritten wird
- V_D : Durchschnittsgeschwindigkeit = arithmetisches Mittel aller gemessenen Momentangeschwindigkeiten⁶

Die Geschwindigkeiten auf winterglatter Fahrbahn sind grundsätzlich erheblich niedriger als auf trockener Strasse.

Die zwei nachfolgenden Abbildungen zeigen dies beispielhaft für die Autobahn bei Wädenswil und für die Rorschacherstrasse in St. Gallen. Dargestellt sind jeweils die Geschwindigkeitsverteilungslinien für die winterglatte und für die trockene Fahrbahn.

⁶ Unter Momentangeschwindigkeit wird die Geschwindigkeit eines Einzelfahrzeugs im Moment der Durchfahrt durch den Messquerschnitt verstanden.

Abbildung 6-1 Geschwindigkeitsverteilung
Wädenswil, 4. Februar 2003, 6:30, Spur 1

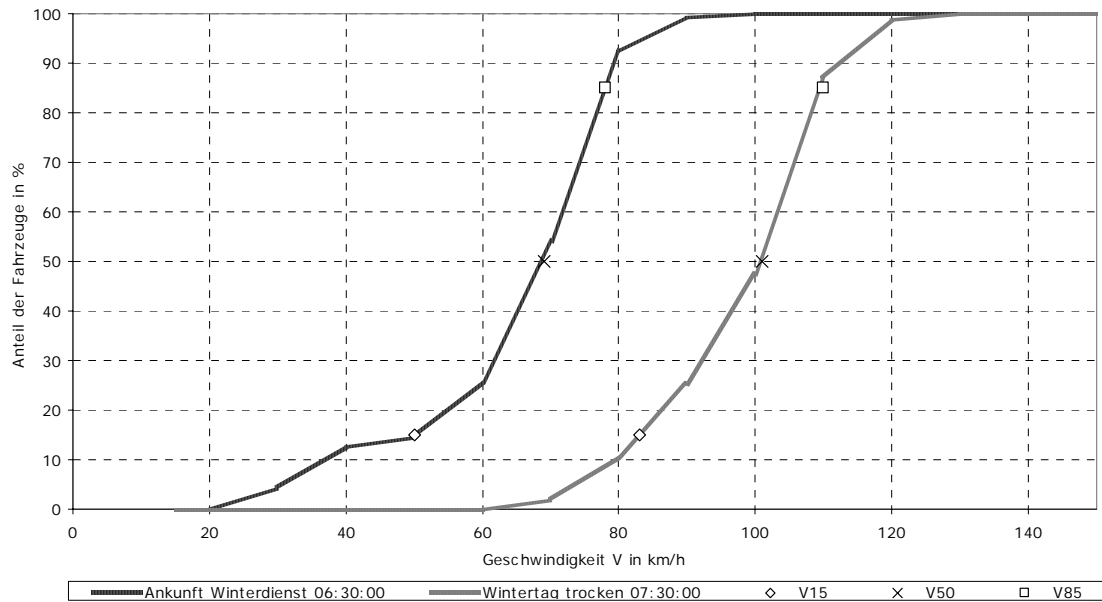
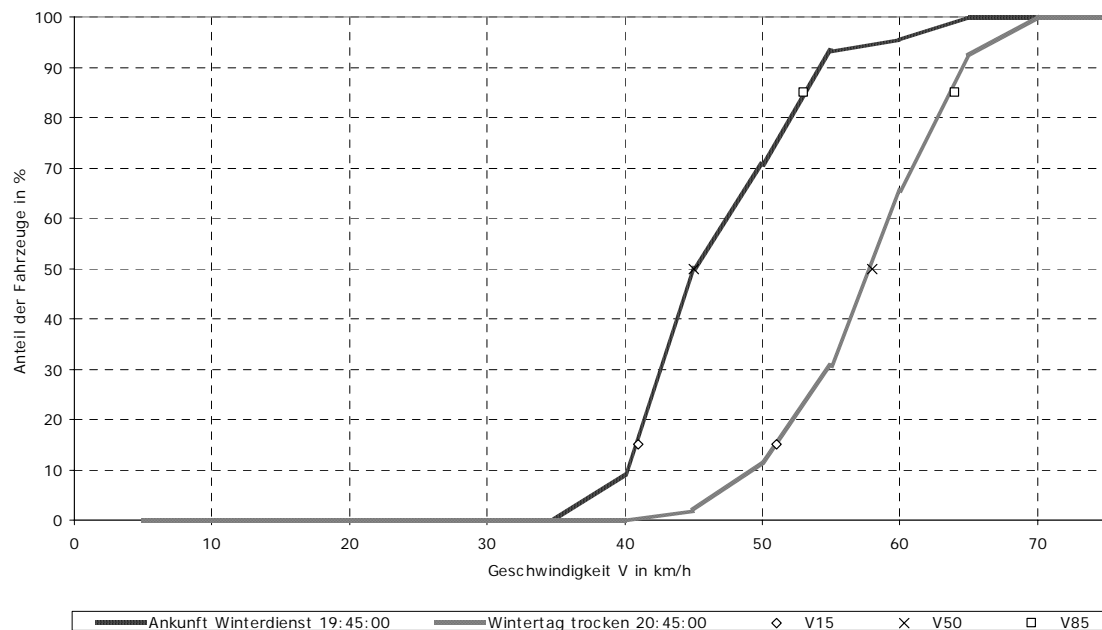


Abbildung 6-2 Geschwindigkeitsverteilung
St. Gallen, Rorschacherstrasse 7. Januar 2003, 19:45, Spur1



In beiden Abbildungen ist deutlich, dass die Geschwindigkeitsverteilungslinien für die winterglatte Fahrbahn praktisch parallel und linksverschoben zur Linie für die trockene Fahrbahn verlaufen. Der Unterschied zwischen $V_{85\%}$ - trocken und $V_{85\%}$ - winterglatte ist dabei erheblich grösser auf der Autobahn als auf der Stadtstrasse.

Die Differenz zwischen $V_{85\%}$ - trocken und $V_{85\%}$ - winterglatte ist aber nicht immer gleich, sie hängt von der Art und Intensität des Schneefalls, von der Tageszeit, von den Sichtverhältnissen und von weiteren Faktoren ab. Weitere Abbildungen, die dies zeigen, finden sich in Anhang 1.

Für die Messung **der Homogenität** der Geschwindigkeiten eignet sich die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den schnellen ($V_{85\%}$) und den langsamen Fahrern ($V_{15\%}$). In der nachfolgenden Tabelle sind diese Kennzahlen für die einzelnen Messorte jeweils für die trockene, winterliche und für die salznasse Fahrbahn zusammengefasst.

Tabelle 6-5 Geschwindigkeitskennwerte und Geschwindigkeitsdifferenz je Messort

Messort	Trockene Fahrbahn				Fahrbahn winterlich				Fahrbahn salznass			
	V_{15}	V_{85}	$V_{85} - V_{15}$	V_D	V_{15}	V_{85}	$V_{85} - V_{15}$	V_D	V_{15}	V_{85}	$V_{85} - V_{15}$	V_D
Wädenswil	90	118	28	110	53	73	20	68	74	103	27	93
Hunzenschwil	86	120	34	109	61	85	24	77	76	114	38	98
Mattstetten	86	117	31	109	54	76	22	71	75	99	24	91
Rorschacherstr./SG	50	63	13	59	33	46	13	42	50	60	10	57
Rosengartenstr./ZH	40	51	11	48	33	43	10	41	38	48	10	46

Für die Messorte Wädenswil, Hunzenschwil und Rorschacherstrasse in St. Gallen wurden die Zahlenwerte in der Tabelle aus mehreren Messungen ermittelt. Für Muttenz liegen keine brauchbaren Ergebnisse vor. Für Mattstetten und die Rosengartenstrasse in Zürich wurden die Werte aus ein bis zwei Messungen abgeleitet. Sie sind deshalb weniger gut abgesichert, auch wenn sie durchaus plausibel sind.

Das Geschwindigkeitsniveau ist bei winterlichen Fahrbahnen überall deutlich tiefer als auf trockener Fahrbahn. Auf den Autobahnen liegt diese Differenz zwischen 32 km/h und 42 km/h. Auf den städtischen Strassen ist die Differenz wegen der dort geltenden Geschwindigkeitsbegrenzungen deutlich kleiner, sie liegt zwischen 7 km/h (Rosengartenstrasse) und 17km/h (St. Gallen).

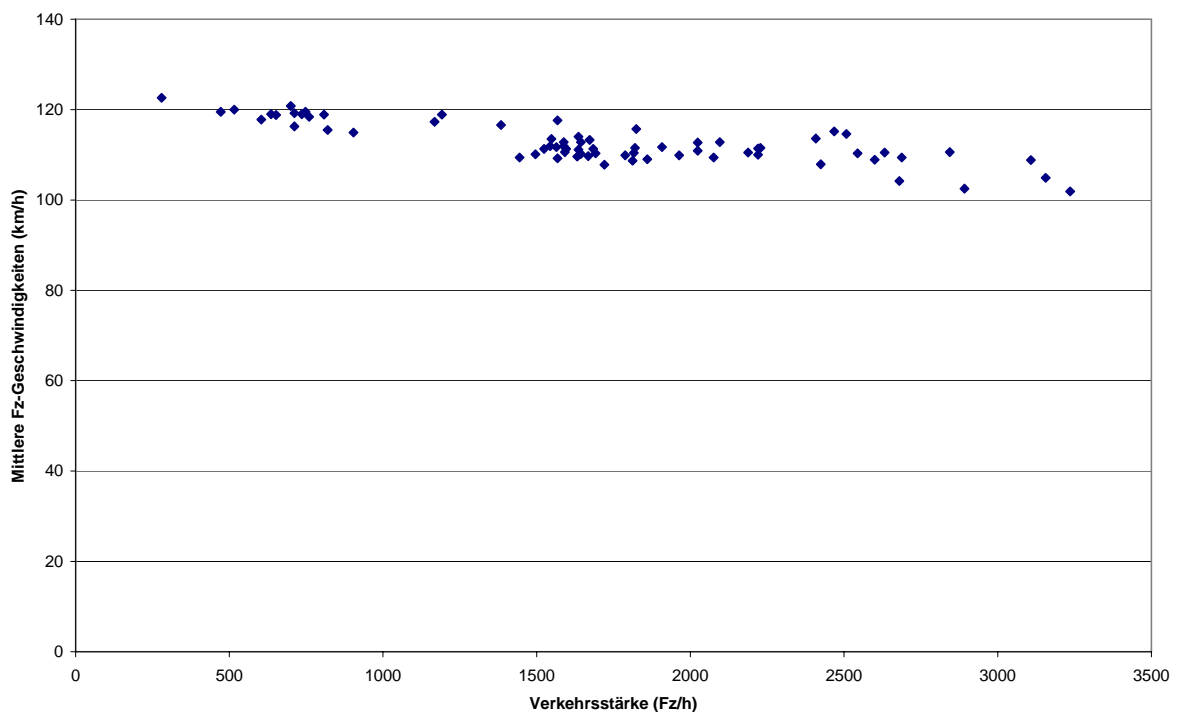
Auf salznasser Fahrbahn wird bereits schneller gefahren. Die Durchschnittsgeschwindigkeiten auf Autobahnen sind noch deutlich tiefer als auf trockener Fahrbahn. Auf städtischen Strassen wird hingegen praktisch gleich schnell gefahren wie auf trockener Fahrbahn.

Die Bandbreite der Fz-Geschwindigkeiten (V_{85} - V_{15}) reduziert sich bei winterlichen Fahrbahnzuständen deutlich; es wird nicht nur langsamer, sondern auch homogener gefahren. Der Unterschied beträgt 8-10 km/h. Auf salznasser Fahrbahn nimmt die Bandbreite wieder zu.

6.4 Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke

Die Belastbarkeit eines Autobahnquerschnittes lässt sich mit Hilfe von Fundamentaldiagrammen ermitteln. Diese zeigen den Zusammenhang zwischen Reisegeschwindigkeit und Verkehrsstärke (Fz/h). Dieser Zusammenhang wird im nachfolgenden Diagramm am Beispiel des Messortes Hunzenschwil gezeigt. Die Ergebnisse basieren auf Messdaten am 17. März 2004, von 0 bis 24 Uhr, Richtung Bern. Berücksichtigt wurden alle Fahrzeuge und beide Fahrspuren.

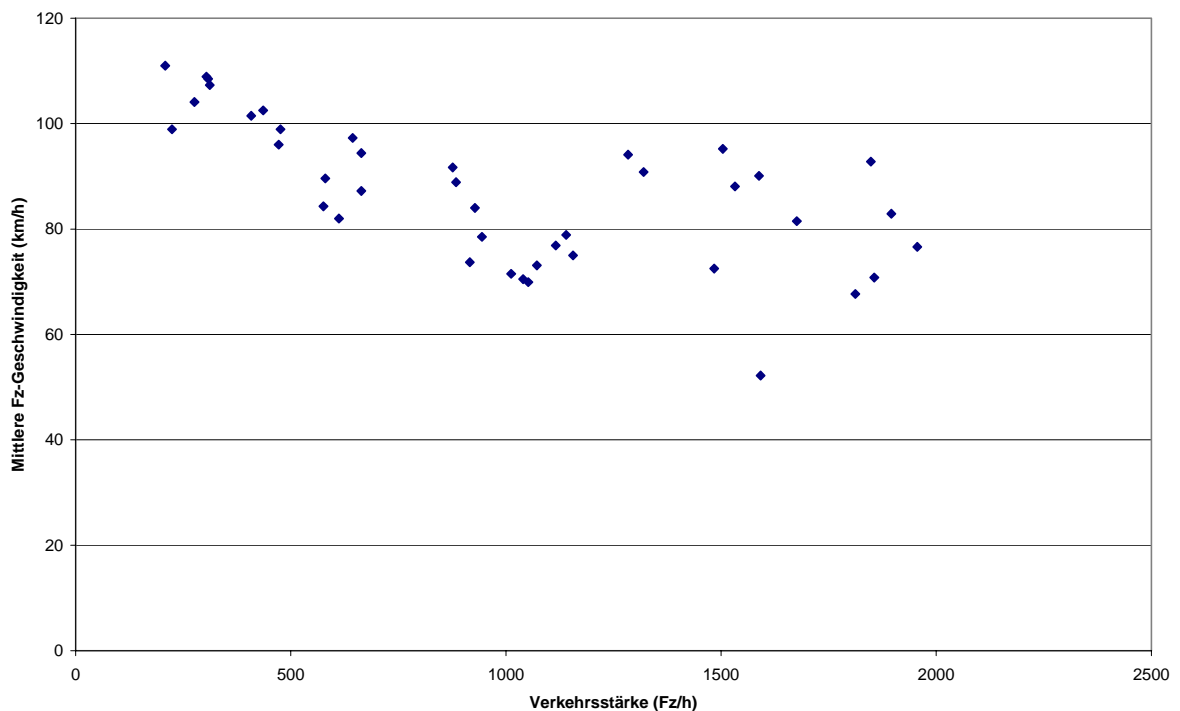
Abbildung 6-3 Mittlere Fahrzeuggeschwindigkeiten bei trockenem Fahrbahnzustand: Messort Hunzenschwil, 17. März 2004



Die mittleren Fahrzeuggeschwindigkeiten zeigen eine deutliche Abhängigkeit von der Verkehrsstärke. Die Spitzenbelastung liegt bei etwa 3'300 Fz/h (je Richtung).

Demgegenüber ist die Leistungsfähigkeit desselben Autobahnquerschnittes bei winterlicher Fahrbahn deutlich geringer. Diese Werte basieren auf Messdaten vom 29. Januar 2004. Die grossen Streuungen sind auf die unterschiedlichen Fahrbahnzustände zurückzuführen (schneebedeckt, geräumt). Die Spitzenbelastung liegt bei etwa 2'000 Fz/h (je Richtung).

Abbildung 6-4 Mittlere Fz-Geschwindigkeiten an einem Tag mit winterlichen Fahrbahnzuständen:
Messort Hunzenschwil, 29. Januar 2004



6.5 Zeitlückenverteilung

Bei hohen Verkehrsdichten und auf trockener Fahrbahn kann beobachtet werden, dass die Fahrzeugabstände immer geringer werden.

Bei der Messstelle bei Hunzenschwil beispielsweise beträgt die Spitzenbelastung in der Morgenstunde (zwischen 7 und 8 Uhr) auf der Normalspur 1'100 Fahrzeuge bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 110 km/h. Von diesen halten 57% den Sicherheitsabstand von 2 Sekunden ein, der Rest liegt unter 2 Sekunden. Auf der Überholspur ist die Situation noch deutlicher: Die Belastung beträgt hier 1'670 Fahrzeuge, die Durchschnittsgeschwindigkeit 123 km/h. Der Sicherheitsabstand von 2 Sekunden wird hier bloss von 25% der Fahrer eingehalten. Etwa 51% der Fahrer unterschreiten sogar den Wert von einer Sekunde, die Hälfte von ihnen sogar den Wert von 0,8 Sekunden. Der Netto-Fahrzeugabstand beträgt also etwa 27 m oder weniger.

Die Situation in weniger belasteten Stunden ist zwar etwas besser, aber es gibt auch in diesen Stunden relativ viele, die den Sicherheitsabstand nicht einhalten.

Bei winterlichen Fahrbahnzuständen fällt auf, dass deutlich vorsichtiger gefahren wird. Bei tieferen Geschwindigkeiten sind die Zeitlücken und die Fahrzeugabstände deutlich grösser.

In der nachfolgenden Tabelle sind diese Unterschiede zwischen der trockenen und winterlichen Fahrbahn beispielhaft zusammengestellt. Dabei handelt es sich um die Messstelle bei Hunzenschwil. Die Messwerte an der winterlichen Fahrbahn wurden am 2. Februar 2003 zwischen 19

Uhr und 20 Uhr, die Messwerte für die trockene Fahrbahn am 17. März 2004 ebenfalls zwischen 19 Uhr und 20 Uhr ermittelt.

**Tabelle 6-6 Zeitlückenverteilung: Messort Hunzenschwil,
2. Februar 2003 winterliche, 17. März 2004 trockene Fahrbahn**

Fahrspur	Fahrbahn	Anz. Fz	V mittl	<1.0 Sek.	1-1,4 Sek.	1,5 -1,9 Sek.	>1,9 Sek.
Normalspur	trocken	861	115	8%	13%	6%	73%
	winterlich	557	91	3%	10%	5%	82%
Überholspur	trocken	817	127	32%	15%	7%	46%
	winterlich	325	100	5%	14%	7%	75%

Die Prozentwerte in obiger Tabelle sind gerundet.

7 Auswirkungen des Winterdienstes

Ob bei einem Winterdiensteinsatz nur Salz (Trockensalz oder Feuchtsalz) gestreut wird oder vor dem Salzstreuen eine mechanische Räumung der Schneedecke erfolgt, hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie etwa:

- Zustand der Fahrbahn
- Dicke der Schneedecke
- Art und der Intensität des Schneefalls
- Bodentemperatur
- Restsalzmenge auf der Fahrbahn
- Wetterprognose für die weiteren Tagesstunden

Auch die auszustreuende Salzmenge je Quadratmeter hängt weitgehend von diesen Faktoren ab, wobei diese auch von den während der Fahrt angetroffenen realen Verhältnissen bestimmt wird. Prophylaktisch gesalzen wird grundsätzlich nicht.

Auf den Autobahnen wird normalerweise im Staffel, auf den Stadtstrassen mit Einzelfahrzeugen geräumt. In der Regel gibt es einen fixen Räumungsplan, wobei Abweichungen je nach Situation möglich sind. Die Räumfahrzeuge werden dabei häufig vom dichten Verkehr behindert, weshalb die Räumung und auch die Salzstreuung nicht immer optimal durchgeführt werden können.

Die Einsätze dauern jeweils in der Regel zwischen 1,5 bis 2,5 Stunden, wobei dies von der Länge des Streckennetzes, von der Witterung von der Verkehrsdichte und der Art des Winterdienstes abhängt. Räumen und Salzen dauert länger als nur Salzen.

Der Erfolg eines Einsatzes hängt weitgehend von der Erfahrung des Einsatzleiters und des Fahrpersonals ab, die diesbezüglich eine grosse Verantwortung tragen. Sie müssen einerseits ihre Aufgaben optimal erfüllen, das heisst möglichst schnell und dauerhaft die winterliche Fahrbahn in eine normal befahrbare salznasse Fahrbahn verwandeln, andererseits müssen sie enge Budgetvorgaben beachten, d. h. mit den vorhandenen Mitteln sparsam umgehen.

Bei andauerndem Schneefall kann ein Winterdiensteinsatz die Situation nur vorübergehend entschärfen, weshalb weitere Einsätze notwendig sind. In einigen Fällen können auch die wiederholten Winterdiensteinsätze die Situation nur stabilisieren, so dass der Verkehr zwar nicht zusammenbricht aber auch nicht merklich flüssiger wird. Auch in diesen Fällen sind die Einsätze nicht „nutzlos“; der Nutzen besteht darin, dass eine minimale Mobilität noch ermöglicht wird. Ohne Einsätze würden chaotische Situationen entstehen. Bei solchen Wetterlagen hat der Winterdienst zudem auch die Aufgabe, die Schneehöhe nicht zu gross werden zu lassen. Durch die ausgestreute Salzmenge wird der neu fallende Schnee ausserdem räumfähiger.

Im Idealfall ist die Fahrbahn spätestens eine Stunde nach einem Einsatz salznass und es ist ein deutlicher Geschwindigkeitsanstieg zu beobachten. Manchmal geht es schneller, in anderen Fällen langsamer.

Der Übergangszeitraum, innerhalb dessen sich die Tauwirkung vollzieht, ist abhängig vom weiteren Witterungsablauf, von der Art der Glätte, vom Temperaturverlauf aber auch von der Verkehrsdichte.

Die zwei nachfolgenden Abbildungen zeigen diesen Idealfall. Es sind praktisch die gleichen Abbildungen wie die Abbildungen in Kapitel 6, mit dem Unterschied dass jetzt auch die Geschwindigkeitsverteilungslinien für den Zustand eine Stunde nach Winterdiensteinsatz dargestellt sind.

Abbildung 7-1 Geschwindigkeitsverteilung
Wädenswil 4. Februar 2003, 6:30, Spur1

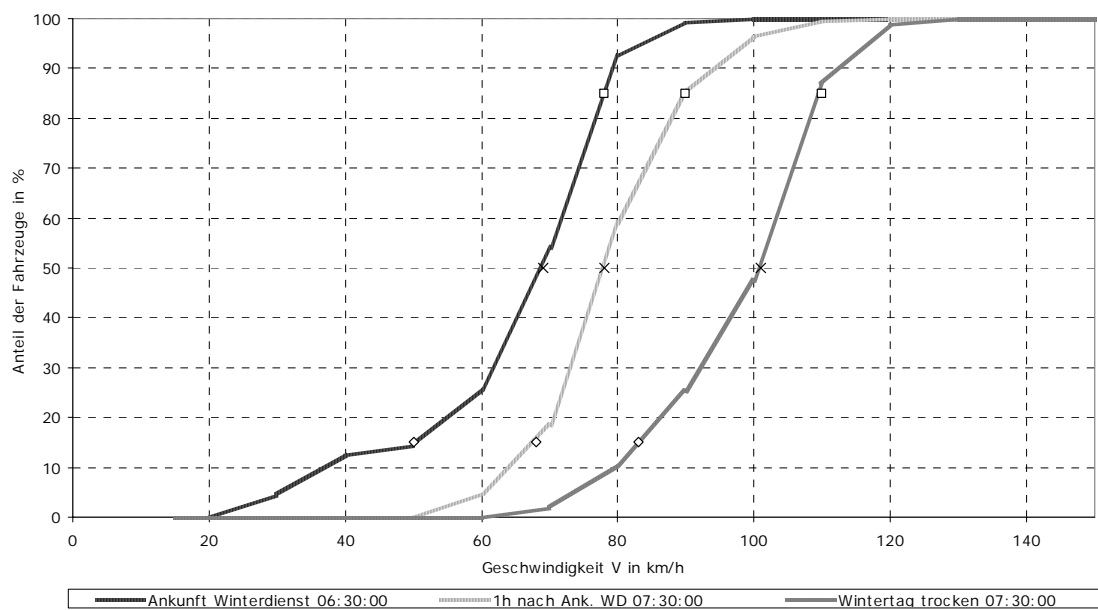
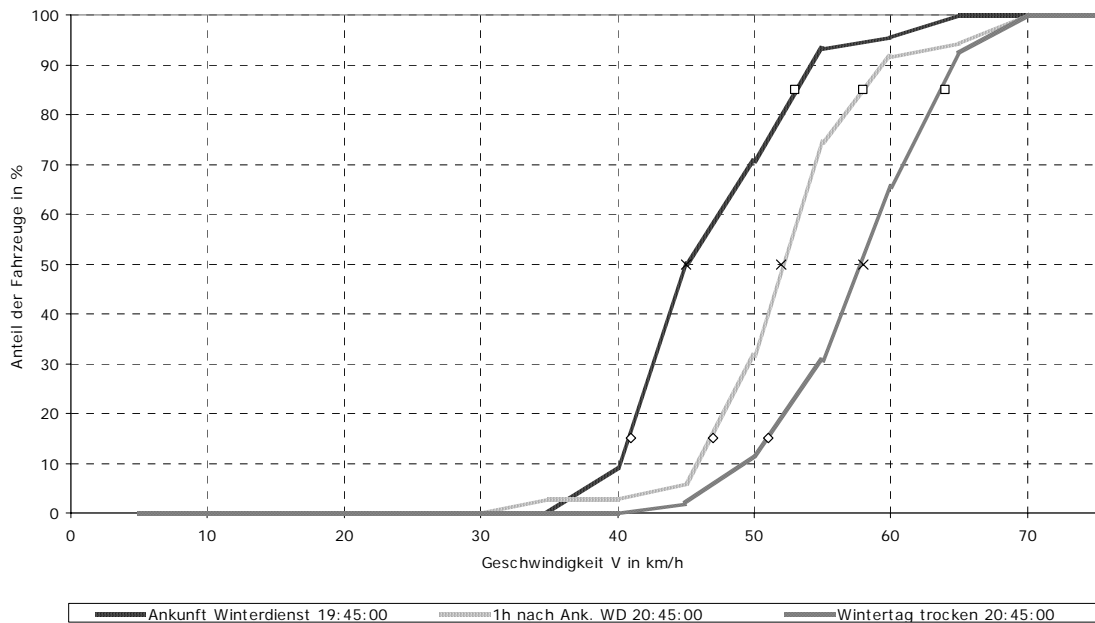


Abbildung 7-2 Geschwindigkeitsverteilung
St. Gallen, Rorschacherstrasse 7. Januar 2003, 19:45, Spur1



Die Abbildungen zeigen deutlich den Anstieg der Geschwindigkeiten nach dem Winterdiensteinsatz, sie zeigen aber auch, dass sie durchwegs tiefer sind als auf trockener Fahrbahn⁷.

In den folgenden zwei Abbildungen sind für die gleichen Standorte und jeweils für das gleiche Datum die Ganglinien und die Geschwindigkeitsverläufe in 15 Minuten-Intervallen dargestellt. Zusätzlich sind die Zeitpunkte des Winterdiensteinsatzes eingetragen. Diese Abbildungen illustrieren deutlich das Verkehrsgeschehen an diesen winterlichen Tagen und Entwicklung der Geschwindigkeiten vor und nach den Winterdiensteinsätzen⁸.

⁷ Im Anhang 1 finden sich analoge Abbildungen für die anderen Beobachtungsorte.

⁸ Im Anhang 2 finden sich analoge Abbildungen für die anderen Beobachtungsorte.

Abbildung 7-3 Geschwindigkeitsverläufe in 15-Minuten-Intervalle
Wädenswil 4. Februar 2003, 6:30, Spur 1

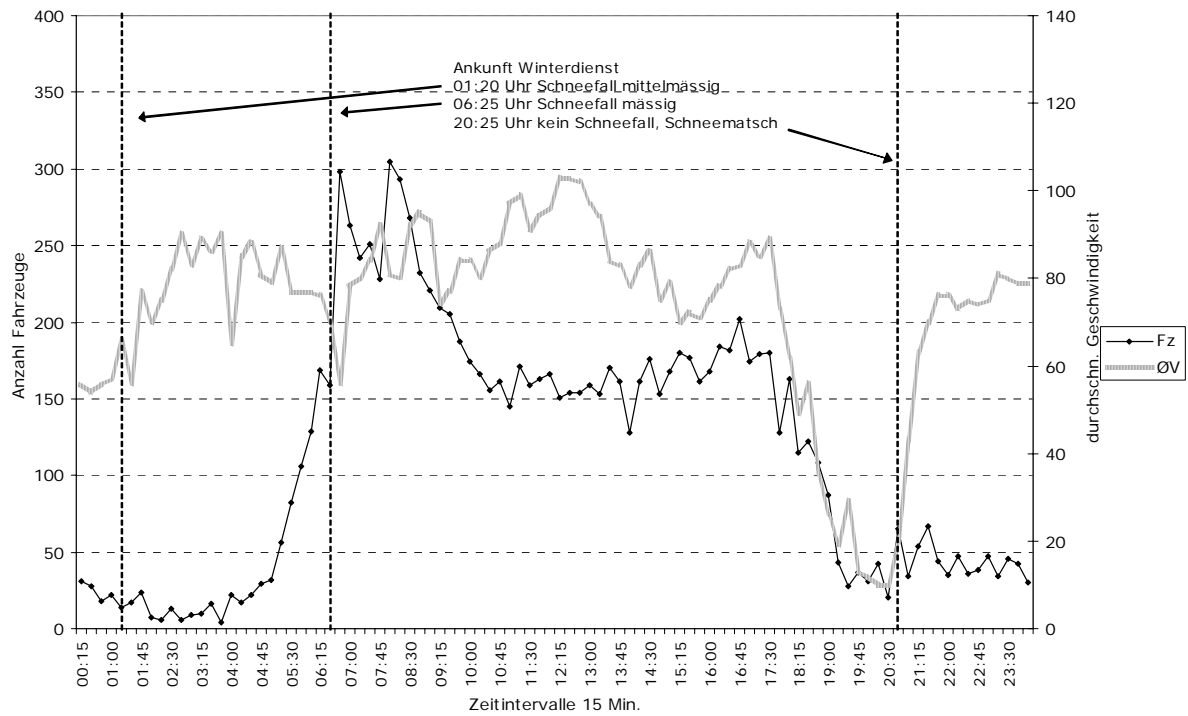


Abbildung 7-4 Geschwindigkeitsverläufe in 15-Minuten-Intervalle
St. Gallen, Rorschacherstrasse 7. Januar 2003, 19:45, Spur 1



8 Risikobewertung des Fahrverhaltens

8.1 Grundlagen der Berechnung

Im letzten Kapitel konnte zwar gezeigt werden, dass bei winterlichen Fahrbahnzuständen deutlich vorsichtiger gefahren wird. Dies zeigt sich darin, dass langsamer und homogener gefahren wird und dass die Sicherheitsabstände von wesentlich mehr Fahrern eingehalten werden als auf trockener Fahrbahn. Damit ist aber die Frage nicht beantwortet, ob die gewählten Geschwindigkeiten den winterlichen Strassenzuständen optimal angepasst sind. Optimal im Sinne von risikoneutral.

Diese Frage kann nur mit Hilfe fahrdynamischer Berechnungen beantwortet werden. Bei diesen Berechnungen geht es um mittlere Anhaltewege bei verschiedenen Fahrbahnverhältnissen. Das Verhältnis der ermittelten Anhaltewege dient als Indikator für die relative Sicherheit der Fahrweise. Dieser Indikator ist der **Risikofaktor F**, der sich aus dem Quotienten des Anhalteweges bei verschiedenen Fahrbahnzuständen zu trockenen Fahrbahnzuständen ergibt. Der Risikofaktor F für die trockene Fahrbahn beträgt definitionsgemäss 1,0.

Kritische Fahrvorgänge sind die Kurvenfahrt und die Bremsung, insbesondere bei niedriger Griffigkeit. Besonders kritisch ist demnach die Überlagerung von beidem. Bei der Berechnung der Anhaltstrecken in Kurven muss beachtet werden, dass ein Teil der zur Verfügung stehenden Reibungskraft zur Kompensation der Zentrifugalkraft benötigt wird. Dabei gilt der folgende Zusammenhang:

$$\mu = \sqrt{f_R^2 + f_L^2}$$

μ = Reibungskoeffizient

f_R = radialer Anteil des Reibungskoeffizienten

f_L = tangentialer Anteil des Reibungskoeffizienten

Nach RAS-L (1984) wird auf Ausserortsstrassen eine zulässige radiale Ausnutzung des Reibungskoeffizienten von 50% angenommen. Daraus ergibt sich für f_L der Wert von 87%.

Der Anhalteweg ist Summe des Reaktionsweges und des Bremsweges. Er lässt sich nach der folgenden Formel berechnen⁹:

$$S_A = \frac{V \cdot t}{3,6} + \frac{V^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot g \cdot \left(f_L + \frac{i}{100} \right)}$$

V = Geschwindigkeit (km/h)

t = Reaktions- und Auswirkzeit (s)

g = Erdbeschleunigung (m/s²)

⁹ Eine genauere Formel berücksichtigt auch das individuelle Fahrzeug, d.h. den Luftwiderstand und die Masse. Für die Berechnung der mittleren Anhaltewege kann dies jedoch vernachlässigt werden.

f_L = tangentialer Anteil des Reibungskoeffizienten

i = mittlere Strassenlängsneigung

8.2 Berechnung und Vergleich der Anhaltewege

Für die Berechnung der Anhaltewege wurden die folgenden Annahmen getroffen:

Für t (Reaktionszeit Mensch + Auswirkzeit der Bremsen) wurde in Anlehnung Bark et al. (1996) 2 Sekunden angenommen.

Nach Dietrich (1998) hängt der Reibungskoeffizient von den folgenden Einflussfaktoren ab:

- Fahrbahnzustand
- Geschwindigkeit (je höher die Geschwindigkeit, umso kleiner der Reibungskoeffizient, wobei dieser Zusammenhang relativ schwach ist)
- Reifenprofil
- Gummi-Elastizität
- Belagszusammensetzung

In den nachfolgenden Berechnungen wird nur der Fahrbahnzustand berücksichtigt, die Geschwindigkeitsabhängigkeit des Reibungskoeffizienten vernachlässigt und die übrigen Einflussgrößen als einheitlich vorausgesetzt.

In Anlehnung an die Untersuchungen Wehner (1960) und Bark et al. (1995) werden die folgenden Werte für f_L angenommen:

Trockene Fahrbahn:	0,75
Salznasse Fahrbahn:	0,50
Glatte (schneebedeckte) Fahrbahn:	0,15

Als Geschwindigkeit wird in der Risikobetrachtung jeweils der Kennwert V_{85} gewählt.

Das Verhältnis der Anhaltewege bei verschiedenen Fahrbahnverhältnissen dient als Indikator für die relative Sicherheit der Fahrweise. Der Indikator ist in diesem Falle ein Risikofaktor F , der sich aus dem Quotienten des Anhalteweges bei verschiedenen Fahrbahnverhältnissen zu trockenen Fahrbahnverhältnissen ergibt. Als Bezugswert gilt immer die trockene Fahrbahn.

Da in der Berechnungsformel auch die Längsneigung enthalten ist, müssen diese in der Beobachtungsrichtung bekannt sein. Diese sind für die einzelnen Messorte in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt:

Tabelle 8-1 Längsneigung in Beobachtungsrichtung

Messort	Richtung	Längsneigung
Wädenswil/Gattikon	Zürich	3,0%
Hunzenschwil	Bern	1,5%
Mattstetten	Bern	1,0%
Rorschacherstr./St.Gallen	St. Gallen	2,0%
Rosengartenstr./Zürich	Hardbrücke	-6,0%

8.3 Berechnete Risikofaktoren F

Die Resultate der Berechnungen der Risikofaktoren für die einzelnen Messorte sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 8-2 Berechnete Risikofaktoren F

Messort	Risikofaktor F Fahrbahn salznass	Risikofaktor F Fahrbahn winterlich
Wädenswil	1,00	1,16
Hunzenschwil	1,16	1,56
Mattstetten	0,96	1,36
Rorschacherstr./St. Gallen	1,10	1,35
Rosengartenstr./Zürich	1,17	3,20

Die Werte sind durchaus plausibel und mit den deutschen Ergebnissen vergleichbar.

Auf salznasser Fahrbahn ist das Fahrverhalten bei Wädenswil gleich riskant, bei Hunzenschwil und in der Rosengartenstrasse etwas riskanter und bei Mattstetten etwas weniger riskant als auf trockener Fahrbahn (die deutschen Werte für Autobahnen liegen bei 0,94).

Das Risiko auf winterlicher Fahrbahn im Vergleich zu trockener Fahrbahn ist etwas höher bei Wädenswil und deutlich höher an den übrigen Strecken. Der relativ günstige Wert bei Wädenswil ist auf die Steigung von 3% zurückzuführen. Das erhöhte Risiko bedeutet, dass die Fahrer bei diesem Fahrbahnzustand zu schnell fahren. Dies gilt insbesondere für die Rosengartenstrasse, wo das Gefälle von ca. 6% offenbar nicht ins Kalkül der Fahrer einfließt.

Der Vergleich der Risikofaktoren zeigt jedenfalls bei allen Messorten deutlich, dass ein schnell einsetzender Winterdienst, welcher den Fahrbahnzustand in „salznass“ verwandelt, das Unfallrisiko erheblich senkt.

Wie schon im letzten Kapitel erwähnt, sind die V_{85} -Werte für die Messorte Mattstetten und Rosengartenstrasse in Zürich insbesondere für die winterliche Fahrbahn weniger gut abgesichert. Dies gilt natürlich auch für die hier abgeleiteten Risikofaktoren.

8.4 Vergleich des Abstandsverhaltens

Als Faustregel gilt ein Mindest-Fahrzeugabstand von zwei Sekunden, um rechtzeitig auf eine plötzliche Vollbremsung des vorausfahrenden Fahrzeuges reagieren zu können. Noch sicherer wäre ein Abstand, der dem Anhalteweg entspricht, damit man auch vor einem plötzlich auftauchenden Hindernis noch anhalten kann.

In verkehrsarmen Zeiten, zum Beispiel in den frühen Morgenstunden ist die Einhaltung dieser Sicherheitsabstände ohne Relevanz. Je dichter aber der Verkehr, umso kürzer sind die Fahrzeugabstände. Dies gilt insbesondere für die Überholspur.

Bei Hunzenschwil wurden für die **Morgenspitzenstunde** die folgenden Werte ermittelt:

Tabelle 8-3 Fahrzeugabstände auf trockener Fahrbahn in der Morgenspitzenstunde bei Hunzenschwil

Fahrspur	Anzahl Fahrzeuge	Anteil Fz mit Fahrzeugabstand < Anhalteweg	Anteil Fz mit Fahrzeugabstand < Reaktionsweg Reakt.zeit=2s	Anteil Fz mit Fahrzeugabstand < Reaktionsweg Reakt.zeit=1s
Normalspur	1'100	75%	42%	15%
Überholspur	1'670	89%	75%	46%

Auf der Überholspur halten sich demnach nur 25% der Fahrer an die 2 Sekunden-Regel und nur 11% halten einen Abstand ein, der mindestens dem Anhalteweg entspricht. 46% halten nicht einmal einen Abstand ein, der dem Reaktionsweg mit einer sehr kurzen Reaktionszeit von 1 Sekunde entspricht.

Bei winterlichen Fahrbahnzuständen werden die Abstände zwar grösser, es gibt aber auch in dieser Situation relativ viele Fahrer, die die Sicherheitsabstände nicht einhalten.

In der nachfolgenden Tabelle sind diese Zusammenhänge beispielhaft zusammengestellt. Die Daten für die winterliche Fahrbahn wurden am 2. Februar 2003 zwischen 19 Uhr und 20 Uhr bei Hunzenschwil erhoben. Als Vergleich dient ein trockener Fahrbahnzustand am gleichen Messort zur gleichen Tageszeit (17. März 2004).

Tabelle 8-4 Vergleich der Fahrzeugabstände auf trockener und winterlicher Fahrbahn bei Hunzenschwil

Fahrspur	Fahrbahn	Anz. Fz	Anteil Fz mit Fahrzeugabstand < Anhalteweg	Anteil Fz mit Fahrzeugabstand < Reaktionsweg Reakt.zeit=2s	Anteil Fz mit Fahrzeugabstand < Reaktionsweg Reakt.zeit=1s
Normalspur	trocken	861	65%	29%	8%
	winterlich	557	43%	19%	3%
Überholspur	trocken	817	72%	55%	32%
	winterlich	325	48%	27%	5%

Bemerkenswert ist, dass bei winterlichen Verhältnissen sowohl auf der Normalspur als auch auf der Überholspur von mehr als 50% der Fahrer ein Abstand eingehalten wird, der grösser ist als der Anhalteweg.

Ein ähnliches Bild ergibt sich für die städtische Rosengartenstrasse, allerdings bei relativ schwachem Verkehr. Die Daten für die winterliche Fahrbahn wurden am 28. Januar 2004 zwischen 5 Uhr und 6 Uhr an der Rosengartenstrasse erhoben. Als Vergleich dient ein trockener Fahrbahnzustand am gleichen Messort zur gleichen Tageszeit (6. Februar 2004).

Tabelle 8-5 Vergleich der Fahrzeugabstände auf trockener und winterlicher Fahrbahn in Zürich, Rosengartenstrasse

Fahrspur	Fahrbahn	Anz. Fz	Anteil Fz mit Fahrzeugabstand < Anhalteweg	Anteil Fz mit Fahrzeugabstand < Reaktionsweg Reakt.zeit=2s	Anteil Fz mit Fahrzeugabstand < Reaktionsweg Reakt.zeit=1s
Normalspur	trocken	269	21%	13%	5%
	winterlich	208	15%	9%	2%
Überholspur	trocken	436	43%	36%	12%
	winterlich	363	37%	28%	7%

9 Zusammenhang zwischen Fahrverhalten und Unfallgeschehen

9.1 Einleitung

Aus der Untersuchung des Fahrverhaltens können zwar Aussagen über das potentielle Unfallrisiko bei unterschiedlichen Fahrbahnzuständen abgeleitet werden, aber damit ist ein direkter Zusammenhang zwischen der Änderung des Unfallrisikos und der Änderung des Unfallgeschehens noch nicht hergestellt. Risikoneutral bedeutet ja aufgrund der Definition des Risikofaktors, dass der Anhalteweg auf einer winterlichen Fahrbahn gleich lang ist wie auf trockener Fahrbahn. Ist der Anhalteweg jedoch länger, so wird offenbar zu schnell gefahren. Das höhere Risiko kann jedoch zumindest zum Teil durch eine zusätzliche Änderung des Fahrverhaltens gemindert werden, beispielsweise durch homogeneres Fahren und durch Einhalten der Sicherheitsabstände. Das erhöhte Risiko führt jedenfalls nur in einem Bruchteil der Fälle zu einem Unfall und damit zu einem volkswirtschaftlichen Schaden.

Das eigentliche Ziel der Unfalluntersuchung ist, die folgenden Fragen zu klären:

- Welchen Einfluss hat die winterliche Fahrbahn auf das Unfallgeschehen (mengen- und kostenmässig) im Vergleich zur trockenen Fahrbahn?
- Welchen Einfluss hat der Winterdienst auf das Unfallgeschehen (mengen- und kostenmässig) durch das Räumen und durch das Streuen von Salz?

9.2 Vorgehen

Da Unfälle sich relativ selten ereignen, insbesondere auf Autobahnen, ist für die Unfallanalyse ein grösserer zeitlicher und räumlicher Rahmen notwendig, um statistisch signifikante Ergebnisse herleiten zu können. Grundlage für die Untersuchungen sind deshalb die polizeilich erfassten Unfälle in den Winterperioden von 2000/2001 bis 2003/2004. Dabei wurde angenommen, dass die Winterperiode jeweils am 1. November beginnt und am 30. April endet.

Die Unfalldaten in der Schweiz werden von den Kantonen erhoben, sie werden aber auch an das Bundesamt für Statistik (BfS) weitergegeben (Meldepflicht). Erhebungsmethodik und Erhebungsinhalte sind deshalb einheitlich, wobei es den Kantonen freisteht, zusätzlich zu den meldepflichtigen Daten noch weitere zu erheben.

Unfalldaten für diese vier Winterperioden wurden für die folgenden Messorte bzw. Strecken geliefert:

- Wädenswil/Thalwil, Strecke Reichenburg bis Stadtgrenze Zürich
- Hunzenschwil, Strecke Baden bis Rothrist
- Rosengartenstrasse in Zürich
- Rorschacherstrasse in St. Gallen

Die Unfalldaten enthalten jeweils die folgenden Angaben:

- Unfallort
 - Datum
 - Unfallzeit
 - Anzahl Verletzte
 - Anzahl Tote
-

- Sachschaden in Franken
- Unfalltyp
- Fahrbahnzustand
- Niederschlag (kein, Regen, Schnee)
- Unfallursache

Um den Einfluss des Winterdienstes auf das Unfallgeschehen analysieren zu können, müssen die Einsätze des Winterdienstes in diesen vier Winterperioden bekannt sein (Datum und Zeitpunkt).

Diese Daten wurden nebst anderen Daten von den beteiligten Werkhöfen geliefert.

Obschon alle notwendigen Daten für die Unfallanalysen vorhanden sind, bleibt für diese Untersuchung ein grosses Problem, nämlich, dass sowohl Fahrbahnzustände mit Winterglätte als auch Fahrurfälle relativ seltene Ereignisse darstellen.

9.3 Analyse der Unfalldaten

9.3.1 Einleitung

Bei der Auswertung der Unfalldaten wurde zwischen den Glätte- und den übrigen Unfällen unterschieden.

Als Glätteunfälle werden diejenigen Unfälle angesehen, bei denen der Strassenzustand winterlich war (glatt, verschneit, matschig) und als Unfallursache mindestens eine der folgenden angegeben wurde:

- Geschwindigkeit nicht an die Strassenverhältnisse angepasst
- Geschwindigkeit nicht an die Verkehrsverhältnisse angepasst
- Geschwindigkeit nicht an die Sichtverhältnisse angepasst
- Zu nahes Aufschliessen

Unfälle bei winterlichen Strassenzuständen können selbstverständlich auch andere Ursachen haben, beispielsweise Fahren unter Alkoholeinfluss oder mangelnde Rücksichtnahme bei Fahrspurwechsel. Diese gelten jedoch nicht oder nur bedingt als Glätteunfälle, da sie hauptsächlich unabhängig vom Fahrbahnzustand sich ereignen.

Nachfolgend werden die Resultate der einzelnen Unfallanalysen beschrieben.

9.3.2 Unfallgeschehen auf der A1 (Strecke Baden – Rothrist)

Die Auswertung der Unfalldaten auf der A1 zwischen Baden und Rothrist ergab die folgenden Resultate (siehe nachfolgende Tabellen):

Tabelle 9-1 Glätteunfälle auf der A1 zwischen Baden und Rothrist

Winter	Anzahl Unfälle	Sachschaden [in Fr]	Anzahl Verletzte	Anzahl winterliche Tage
2000-2001	3	21'500	0	24
2001-2002	2	10'300	0	19
2002-2003	8	75'300	0	17
2003-2004	5	37'800	0	28
Total	18	144'900	0	88

Es fällt auf, dass sich relativ wenige Glätteunfälle ereigneten. Der mittlere Sachschaden beträgt bei diesen Glätteunfällen Fr. 8'050.-. Bei insgesamt 18 Glätteunfällen gab es zudem keinen einzigen Verletzten.

Als winterlicher Tag gilt ein Tag, an dem der Winterdienst mindestens einmal am Tag aktiv wurde, oder anders ausgedrückt, der Strassenzustand war zumindest eine Zeit lang winterlich (schneeglatt).

Der weit häufigste Unfalltyp bei diesen Glätteunfällen war der Schleuderunfall (Kollision mit festem Hindernis ausserhalb der Fahrbahn).

Die Angaben für die übrigen Unfälle sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 9-2 Alle Unfälle ausgenommen Glätteunfälle auf der A1 zwischen Baden und Rothrist

Winter	Anzahl Unfälle	Sachschaden [in Fr]	Anzahl Verletzte
2000-2001	93	1'542'311	36
2001-2002	63	947'620	15
2002-2003	74	1'282'330	22
2003-2004	66	1'025'650	24
Total	296	4'797'911	97

Der mittlere Sachschaden bei den übrigen Unfällen beträgt Fr. 16'209.-. Das Verhältnis Anzahl Verletzte und Anzahl Unfälle beträgt 0,24 (bei jedem 4-ten Unfall gab es einen Verletzten).

Auf winterlicher Fahrbahn ereigneten sich drei Unfälle, die jedoch nicht als Glätteunfälle einzustufen sind, bei zwei davon wurde als Unfallursache Einwirkung von Alkohol angegeben.

Obige Zahlen zeigen, dass Glätteunfälle glimpflicher ablaufen als die übrigen Unfälle; der Sachschaden ist signifikant tiefer und in diesen vier Wintern gab es keinen einzigen Verletzten bei Glätteunfällen¹⁰.

Die wichtigste Frage heisst jedoch: Welchen Einfluss hat die winterliche Fahrbahn auf das Unfallgeschehen im Vergleich zur trockenen Fahrbahn? Oder anders gefragt: gibt es an Tagen mit winterlichen Strassenzuständen mehr Unfälle als an anderen winterlichen Tagen?

In den vier Winterperioden gab es, entsprechend den Angaben über die Winterdiensteinsätze des Werkhofes 88 Tage mit winterlichen Strassenzuständen. An diesen 88 Tagen ereigneten sich insgesamt 54 Unfälle, davon die bereits erwähnten 18 Glätteunfälle. Von den übrigen 36 Unfällen, ereigneten sich 24 auf nasser, 9 auf trockener und 3 auf winterglatter Fahrbahn¹¹.

Zusammenfassend ergibt sich das folgende Bild auf der Strecke Baden-Rothrist:

Unfälle an den 88 Tagen mit zum Teil winterlichen Fahrbahnzuständen in den 4 Winterperioden:

Anzahl Unfälle total:	54
Pro Tag:	0,61 Unfälle
Glätteunfälle:	18, oder 0,20 Glätteunfälle pro Tag
Übrige Unfälle:	36, oder 0,41 übrige Unfälle pro Tag

Unfälle an den übrigen 636 Tagen in den 4 Winterperioden:

Anzahl Unfälle total:	260, davon 104 auf nasser und 156 auf trockener Fahrbahn
Pro Tag:	0,41 Unfälle

Aus dieser Zusammenstellung können die folgenden Schlüsse gezogen werden:

- An jedem Wintertag mit normalem, nichtwinterlichem Fahrbahnzustand (d.h. trocken oder nass) ereignen sich auf der Strecke Baden - Rothrist 0,41 Unfälle.
- An jedem Wintertag mit zum Teil winterlichen Fahrbahnzuständen ereignen sich 0,20 Glätteunfälle und 0,41 übrige Unfälle. Die Glätteunfälle ereignen sich vor dem Einsatz des Winterdienstes, und die übrigen nach dem Einsatz, d.h. auf nasser oder trockener Fahrbahn.

Daraus kann natürlich nicht gefolgert werden, dass es bezüglich der Unfallzahlen und Unfallkosten besser wäre, wenn der Winterdienst die Schneeglätte gar nicht beseitigen würde, denn es passieren ja mehr Unfälle mit grösserer Kostenfolge auf der normalen Fahrbahn. Ein solcher Schluss wäre aus folgendem Grund falsch: Die Glätteunfälle ereignen sich in einer relativ kurzen Zeitperiode am Tag. Diese beträgt im Normalfall etwa 1,5 bis 2 Stunden. Würde der Schnee also nicht weggeräumt (oder „weggesalzen“), dann würden sich entsprechend mehr Glätteunfälle ereignen.

Durch den Winterdienst werden also mit Sicherheit Glätteunfälle verhindert. Die übrigen Unfälle sind vom Winterdienst nicht betroffen; sie ereignen sich unabhängig von den Witterungsverhältnissen.

¹⁰ Diese Resultate decken sich nicht mit den Ergebnissen der deutschen Untersuchungen. In der Untersuchung von Bark et al. (1995) wurden für Glätteunfälle wesentlich höhere Unfallkosten ausgewiesen als für die übrigen Unfälle bzw. die Unfälle nach dem Winterdiensteinsatz.

¹¹ Bei diesen drei Unfällen war in zwei Fällen Alkohol im Spiel und einmal mangelnde Rücksicht bei Fahrstreifenwechsel. Die winterglatte Fahrbahn war nicht ursächlich verantwortlich.

Die Anzahl Glätteunfälle an einem winterlichen Tag hängt neben der Intensität des Schneefalls, der Verkehrsdichte und anderer Faktoren in erster Linie von der Schnelligkeit des Winterdiensteinsatzes ab. Je schneller die winterlichen Fahrbahnzustände beseitigt werden können, umso kleiner ist die Anzahl der Glätteunfälle. Ganz vermeiden lassen sich diese Unfälle auch bei schnellem Einsatz nicht, weil die Winterdienstfahrzeuge nicht gleichzeitig überall operieren können. Häufig werden diese Einsätze zudem durch den dichten Verkehr verzögert. Bei andauerndem Schneefall wird es auch trotz wiederholten Einsätzen kaum möglich sein, normale, d.h. salznasse Fahrbahnzustände zu erreichen, so dass mit weiteren Glätteunfällen zu rechnen ist.

Wie viele Glätteunfälle durch den Winterdienst verhindert werden, ist deshalb relativ schwierig zu sagen. Das hängt vom Zeitpunkt und Art des Einsatzes, von den Witterungsbedingungen (Art und Dauer des Schneefalls, Temperaturen) und anderen Faktoren ab. Die entscheidende Frage kann aber auch anders gestellt werden: Wie viele Glätteunfälle würden sich mit und ohne Winterdiensteinsatz ereignen? Die Differenz aus diesen zwei Zahlenwerten würde dann der Anzahl der durch den Winterdienst verhinderten Glätteunfälle entsprechen.

Bei Hunzenschwil wurde die Beobachterperson unmittelbar vor dem Einsatz telefonisch aufgeboten. Diese Person brauchte jeweils etwa 15 Minuten, bis sie am Beobachtungsort erschien. Die Winterdienstfahrzeuge kamen dort im Mittel etwa 15 Minuten später an. Dies bedeutet, der Winterdiensteinsatz etwa eine halbe Stunde nach dem Einsetzen des Schneefalls erfolgte. Bis das ausgestreute Salz die Fahrbahn in einen „salznassen“ Zustand verwandelt, vergehen 30 bis 60 Minuten. Grob geschätzt, kann also angenommen werden, dass sich die Glätteunfälle in der relativ kurzen Zeitspanne von etwa anderthalb Stunden ereignen. Würde der Winterdienst ausbleiben, so würden sich während der restlichen Tageszeit entsprechend mehr Glätteunfälle ereignen.

Für die weiteren Berechnungen gehen wir von der konservativen Annahme aus, dass diese restliche Tageszeit durchschnittlich etwa acht Stunden beträgt. Daraus folgt, dass durch den Winterdiensteinsatz insgesamt etwa fünfmal so viele Glätteunfälle verhindert werden können, wie sich vor dem Einsatz ereignet haben.

Dies würde bedeuten, dass an einem Tag mit Winterdiensteinsatz auf der Strecke Baden – Rothrist 1,0 Glätteunfälle verhindert werden können.

9.3.3 Unfallgeschehen auf der A3 zwischen Reichenburg und Zürich

Die Auswertung der Unfalldaten auf dieser Strecke erfolgte grundsätzlich nach dem gleichen Schema wie vorher.

Auswertung der Unfalldaten auf der A3 zwischen Reichenburg und Stadtgrenze Zürich ergab die folgenden detaillierten Resultate (siehe nachfolgende Tabellen):

Tabelle 9-3 Glätteunfälle auf der A3 zwischen Reichenburg und der Stadtgrenze Zürich

Winter	Anzahl Unfälle	Sachschaden [in Fr]	Anzahl Verletzte	Anzahl winterliche Tage
2000-2001	15	201'000	0	35
2001-2002	23	223'300	3	48
2002-2003	25	213'200	4	62
2003-2004	21	253'500	4	58
Total	84	891'000	11	203

Der mittlere Sachschaden beträgt bei den Glätteunfällen Fr. 10'607.-. Das Verhältnis der Anzahl Verletzten zur Anzahl der Unfälle beträgt 0,13 (fast bei jedem 7.-ten Glätteunfall gibt es einen Verletzten).

Tabelle 9-4 Alle Unfälle ausgenommen Glätteunfälle auf der A3 zwischen Reichenburg und der Stadtgrenze Zürich

Winter	Anzahl Unfälle	Sachschaden [in Fr]	Anzahl Verletzte
2000-2001	76	995'300	14
2001-2002	77	1'228'500	22
2002-2003	58	535'000	13
2003-2004	89	1'252'200	23
Total	300	4'011'000	72

Der mittlere Sachschaden bei den übrigen Unfällen beträgt Fr. 13'370.-. Das Verhältnis der Anzahl Verletzten zur Anzahl der Unfälle beträgt 0,24 (bei jedem 4.-ten Unfall gibt es einen Verletzten)

Der mittlere Sachschaden bei den Glätteunfällen ist auch auf diesem Strassenabschnitt tiefer als bei den übrigen Unfällen, aber der Unterschied ist kleiner als auf der A1.

Auf winterlicher Fahrbahn ereigneten sich 13 Unfälle, die jedoch nicht als Glätteunfälle einzustufen sind. In vier Fällen konnte keine Unfallursache angegeben werden.

In den vier Winterperioden gab es nach Angaben des zuständigen Werkhofes 182 Tage mit Winterdiensteseinsätzen, also 182 Tage mit zum Teil winterlichen Fahrbahnzuständen. An diesen 182 Tagen ereigneten sich insgesamt 162 Unfälle, davon 84 Glätteunfälle.

Zusammenfassend ergibt sich für die Strecke Reichenburg – Zürich:

Unfälle an den 182 Tagen mit zum Teil winterlichen Fahrbahnzuständen in den 4 Winterperioden:

Anzahl Unfälle total: 162
Pro Tag: 0,89 Unfälle
Glätteunfälle: 84, oder 0,46 Glätteunfälle pro Tag
Übrige Unfälle: 78, oder 0,43 übrige Unfälle pro Tag

Unfälle an den übrigen 542 Tagen in den 4 Winterperioden:

Anzahl Unfälle total: 218
Pro Tag: 0,40 Unfälle

Aus dieser Zusammenstellung können die folgenden Schlüsse gezogen werden:

- An jedem Wintertag mit normalem, nichtwinterlichem Fahrbahnzustand (d.h. trocken oder nass) ereignen sich auf der Strecke Reichenburg – Zürich 0,40 Unfälle.
- An jedem Wintertag mit zum Teil winterlichen Fahrbahnzuständen ereignen sich 0,46 Glätteunfälle und 0,43 übrige Unfälle. Die Glätteunfälle ereignen sich vor dem Einsatz des Winterdienstes, und die übrigen nach dem Einsatz, d.h. auf nasser oder trockener Fahrbahn.

Im Vergleich zur A1 ereigneten sich auf dieser Strecke mehr als doppelt so viele Glätteunfälle. Bei den übrigen Unfällen ist die Unfallrate pro Tag etwa gleich hoch wie auf der A1. Aber auch die Anzahl Tage mit winterlichen Fahrbahnzuständen ist hier mehr als doppelt so hoch.

Durch den Winterdienst wurden auch auf diesem Autobahnabschnitt Glätteunfälle verhindert. Die übrigen Unfälle sind vom Winterdienst kaum betroffen; sie ereignen sich unabhängig von den Witterungsverhältnissen.

Wie viele Glätteunfälle durch den Winterdienst an winterlichen Tagen verhindert werden, ist auch in diesem Fall relativ schwierig zu beantworten. Wir schätzen jedoch, dass es ohne Winterdiensteinsätze mindestens fünfmal so viele Glätteunfälle gegeben hätte.

Dies würde bedeuten, dass an einem Tag mit Winterdiensteinsatz auf diesem Abschnitt 2,3 Glätteunfälle verhindert werden können.

9.3.4 Unfallgeschehen an der A1 (Werkhof Mattstetten)

Da bei diesem Beobachtungs- und Messort in den letzten zwei Winterdienstperioden zu wenig Winterdiensteinsätze durchgeführt wurden, konnte das Unfallgeschehen mit diesen Einsätzen nicht in Zusammenhang gebracht werden.

9.3.5 Unfallgeschehen an der Rosengartenstrasse

An der Rosengartenstrasse ereigneten sich in den letzten vier Winterperioden insgesamt 43 Unfälle. Der durchschnittliche Sachschaden betrug 7'600 Franken. Von diesen 43 Unfällen war ein einziger ein Glätteunfall. 23 Unfälle ereigneten sich auf trockener Fahrbahn; der Rest auf nasser oder feuchter Fahrbahn. Als Unfallursache bei diesem einzigen Glätteunfall wurde „Nichtanpassen an die Strassenverhältnisse“ angegeben.

Dieses Resultat ist eigentlich überraschend, wenn bedenkt wird, dass der für diese Strecke berechnete Risikofaktor auf winterlicher Fahrbahn 3,2 betragen hat.

Aufgrund dieser Unfallzahlen konnte für diese Strecke kein Einfluss des Winterdienstes auf die Unfallzahlen nachgewiesen werden.

9.3.6 Unfallgeschehen auf der Rorschacherstrasse in St. Gallen

Die Rorschacherstrasse ist eine wichtige Achse, die vom Zentrum der Stadt nach Nordosten führt. Die untersuchte Strecke ist ca. 4,5 km lang. Die Verkehrsbelastungen (beide Richtungen zusammen) an winterlichen Werktagen schwanken zwischen 8'000 (winterliche Strassenzustände) und 12'000 (Fahrbahn trocken) Fahrzeugen. Der Lastwagenanteil beträgt etwa 6%. An Wochenendtagen sind die Verkehrsbelastungen deutlich kleiner.

Aufgrund der relativ kurzen Strecke und der eher mittleren Verkehrsbelastungen würde man annehmen, dass sich vergleichsweise wenige Verkehrsunfälle ereignen. Die Auswertung der Unfalldaten zeigten jedoch ein anderes Bild. In den Winterperioden von 2000/2001 bis 2003/2004 ereigneten sich insgesamt 79 Unfälle mit 29 Verletzten. Davon waren jedoch nur 3 Glätteunfälle.

Die detaillierten Resultate der Auswertungen sind in den nachfolgenden Tabellen zusammengefasst.

Tabelle 9-5 Glätteunfälle auf der Rorschacherstrasse in St. Gallen

Winter	Anzahl Unfälle	Sachschaden [in Fr]	Anzahl Verletzte	Anzahl winterliche Tage
2000-2001	1	15'000	1	20
2001-2002	2	24'800		27
2002-2003	0			23
2003-2004	0			38
Total	3	39'800	1	108

Der mittlere Sachschaden beträgt bei den Glätteunfällen 13'267 Franken¹². Bei den drei Glätteunfällen gab es einen Verletzten. Der Winterdienst war insgesamt an 108 Tagen aktiv, wobei die Einsätze oft mehrmals pro Tag erfolgten.

Die Resultate der übrigen Unfälle sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

¹² Diese Zahl dürfte wegen des seltenen Ereignisses eher zufallsbedingt sein.

Tabelle 9-6 Alle Unfälle ausgenommen Glätteunfälle auf der Rorschacherstrasse in St. Gallen

Winter	Anzahl Unfälle	Sachschaden [in Fr]	Anzahl Verletzte
2000-2001	27	177'000	13
2001-2002	19	144'100	5
2002-2003	16	83'700	5
2003-2004	14	94'200	5
Total	76	499'000	28

Der mittlere Sachschaden bei den übrigen Unfällen beträgt 6'566, ein relativ tiefer Wert. Das Verhältnis Anzahl Verletzte und Anzahl Unfälle beträgt 0,37, ein relativ hoher Wert.

In den vier Winterperioden gab es, entsprechend den Angaben über die Winterdiensteinsätze des Werkhofes 108 Tage mit winterlichen Strassenzuständen. An diesen 108 Tagen ereigneten sich insgesamt 12 Unfälle, davon die bereits erwähnten 3 Glätteunfälle.

Zusammenfassend ergibt sich das folgende Bild:

Unfälle an den 108 Tagen mit zum Teil winterlichen Fahrbahnzuständen in den 4 Winterperioden:

Anzahl Unfälle total: 12
 Pro Tag: 0,11 Unfälle
 Glätteunfälle: 3 oder 0,028 Glätteunfälle pro Tag
 Übrige Unfälle: 9 oder 0,083 übrige Unfälle pro Tag

Unfälle an den übrigen 616 Tagen in den 4 Winterperioden:

Anzahl Unfälle total: 67
 Pro Tag: 0,11 Unfälle

Aus dieser Zusammenstellung folgt:

- An jedem Wintertag mit normalem, nichtwinterlichem Fahrbahnzustand (d.h. trocken oder nass) ereignen sich auf der Rorschacherstrasse 0,11 Unfälle.
- An jedem Wintertag mit zum Teil winterlichen Fahrbahnzuständen ereignen sich 0,028 Glätteunfälle und 0,11 übrige Unfälle. Die Glätteunfälle ereignen sich vor dem Einsatz des Winterdienstes, und die übrigen nach dem Einsatz, d.h. auf nasser oder trockener Fahrbahn.

Für die relativ kleine Anzahl der Glätteunfälle gibt es vermutlich die folgenden Gründe:

- Die Winterdiensteinsätze erfolgten im Allgemeinen sehr rasch, die gefährlichen Fahrbahnzustände wurden schnell beseitigt.
- Die Fahrzeugfahrer haben ihre Geschwindigkeiten auf schneebedeckter Fahrbahn deutlich reduziert. Dadurch ergab sich ein vergleichsweise tiefer Risikofaktor für diese Strecke.

- Die Winterdiensteinsätze an den winterlichen Tagen erfolgten oft mehrmals täglich (manchmal bis zu vier Mal)

Durch den Winterdienst wurden also auch auf der Rorschacherstrasse Glätteunfälle verhindert. Die übrigen Unfälle sind vom Winterdienst kaum betroffen; sie ereignen sich unabhängig von den Witterungsverhältnissen. Wie viele Glätteunfälle durch den Winterdienst an winterlichen Tagen verhindert werden, ist auch in diesem Fall relativ schwierig zu beantworten. Wir schätzen jedoch, dass es ohne Winterdiensteinsätze mindestens fünfmal so viele Glätteunfälle gegeben hätte.

Dies würde bedeuten, dass an einem Tag mit Winterdiensteinsatz auf der Rorschacherstrasse 0,14 Glätteunfälle verhindert werden können.

10 Zeit- und Fahrzeugbetriebskosten

10.1 Zeitkosten

Auf winterlichen Fahrbahnen wird im Vergleich zur trockenen Fahrbahn mit geringeren Geschwindigkeiten gefahren. Die Fahrzeugfahrer müssen Zeitverluste in Kauf nehmen.

Aus der Zeitwertforschung ist bekannt, dass ein Individuum eine positive Zahlungsbereitschaft für Zeitersparnisse in einer Tätigkeit hat, die ihm keine Freude bereitet, wie etwa der tägliche Pendlerverkehr¹³.

Werden durch den Winterdiensteinsatz die Reisegeschwindigkeiten erhöht, so wird das von den meisten Fahrern als Nutzen empfunden, da sie die eingesparte Zeit in einer nützlicheren Aktivität wie zum Beispiel in einer Freizeitaktivität einsetzen können.

Im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse werden solche Zeitgewinne bzw. -verluste mit einem so genannten Zeitwert- oder Zeitkostenansatz in monetäre Einheiten umgerechnet.

Für die Schweiz sind solche Zeitkostenansätze erst kürzlich im Rahmen einer SVI-Studie abgeleitet worden (König, K.W. Axhausen und Abay, 2004). Die Herleitung der Zeitwertansätze basierte auf umfangreichen „stated preference“-Befragungen bezüglich Routenwahl und Verkehrsmittelwahl. Als Resultat wurde für PW-Fahrten (alle Zwecke) ein Zeitwertansatz von 18,2 Franken/Stunde ermittelt.

Durch den Winterdiensteinsatz nehmen im Allgemeinen die Geschwindigkeiten wieder zu, aber sie erreichen meistens nicht das Niveau der Geschwindigkeiten bei trockener Fahrbahn (siehe auch Kapitel 6). In den deutschen Untersuchungen von Durth et al. (1989) und von Bark et.al. (1995) wurde jeweils dieser Zeitgewinn (d.h. Fahrzeit glatt minus Fahrzeit salznass) als Nutzelement bewertet.

Im Gegensatz zu diesem Bewertungsansatz gehen wir jedoch aufgrund der Überlegungen in Kapitel 4.1 davon aus, dass die Wirkungen im Vergleich zum Referenzfall zu ermitteln sind. Der Referenzfall ist dabei die Situation ohne Winterdiensteinsatz. Damit können die folgenden Fragen formuliert werden:

- Mit welchen totalen Zeitkosten müsste an einem winterlichen Tag mit Schneefall gerechnet werden, wenn der Winterdienst ausbliebe?
- Mit welchen totalen Zeitkosten müsste gerechnet werden, wenn der Winterdienst durchgeführt wird?

Die monetär bewertete Differenz zwischen diesen zwei Werten ergibt den volkswirtschaftlichen Nettonutzen der Massnahme „Winterdiensteinsatz“ in Bezug auf die Reisezeiteinsparungen.

Für die Berechnungen werden die effektiven Daten verwendet, die an den Tagen mit Beobachtungen und Winterdiensteinsätzen erfasst bzw. gemessen wurden:

- Anzahl Fahrzeuge im 15 Minuten-Intervall je Fahrstreifen

¹³Falls Fahren im Strassenverkehr als reine Freizeitbetätigung empfunden wird, hat er kein Interesse an Fahrzeiterparnissen.

- Mittlere Geschwindigkeiten im 15 Minuten-Intervall je Fahrstreifen
- Anzahl Winterdiensteinsätze an diesem Tag, sowie die Zeitpunkte der Einsätze

Im Weiteren wird davon ausgegangen, dass ein Fahrzeug auf einer bestimmten Streckenlänge vom Winterdienst profitiert. Auf der Autobahn beträgt diese Streckenlänge 20 km, in St. Gallen an der Rorschacherstrasse 4 km und in Zürich an der Rosengartenstrasse 1 km.

Mit diesen Informationen kann die totale Anzahl Stunden je Tag berechnet werden, die die Fahrer an einem solchen Tag mit Winterdienst insgesamt für ihre Fahrten aufwenden müssen.

Analog muss auch die totale Anzahl Stunden je Tag berechnet werden für den Fall, dass der Winterdienst ausbleiben würde. Dabei wurde methodisch wie folgt vorgegangen:

Der Tag wurde in N Zeitintervalle eingeteilt. N ist gleich Anzahl Winterdiensteinsätze + 1. Gibt es nur einen Winterdiensteinsatz, dann ist N gleich zwei.

Für das Zeitintervall vor dem ersten Winterdiensteinsatz, d.h. Zeitintervall Nr. 1, wurden die effektiven mittleren Geschwindigkeiten je Fahrstreifen übernommen. Zudem wurde je Fahrstreifen die niedrigste Geschwindigkeit in diesem Zeitintervall ermittelt. Für das Zeitintervall Nr. 2, das bis zum Zeitpunkt des zweiten Winterdiensteinsatzes oder Falls kein weiterer Einsatz mehr folgt bis 24 Uhr dauert, wurde die vorher festgestellte niedrigste Geschwindigkeit angenommen. Diese Annahme basiert auf der Überlegung, dass ohne Winterdienst das Geschwindigkeitsniveau sich nicht erhöhen würde. Für die übrigen Zeitintervalle, falls weitere Einsätze folgen, wurde analog vorgegangen.

Ein solches Vorgehen ist allerdings nur dann zulässig, wenn die niedrigeren Geschwindigkeiten allein auf die Witterung und nicht auf zu hohe Verkehrsbelastungen zurückzuführen sind. Die erhobenen Daten zeigten jedoch, dass es normalerweise bei keinem der sechs Messorte zu verkehrsbelastungsabhängigen Staus kommt, dass also auch in den Spitzenstunden auf trockener Fahrbahn mit normalen Geschwindigkeiten gefahren wird. Zum Vergleich wurde auch noch die totale Anzahl der Fahrstunden berechnet, falls an einem solchen Tag mit Geschwindigkeiten, die für trockene Tage üblich sind, gefahren werden könnte.

Zur Illustration des Vorgehens sind in der nachfolgenden Tabelle die Resultate für den winterlichen 30. Januar 2003 an der A3 bei Wädenswil als Beispiel zusammengefasst¹⁴:

Tabelle 10-1 Fahrzeiten und Zeitgewinne für den 30. Januar 2003 für die A3 bei Wädenswil

Fahrstreifen	Anzahl Fahrzeuge	Summe Fahrzeiten "trocken"	Summe Fahrzeiten mit Winterdienst	Summe Fahrzeiten ohne Winterdienst	Zeitgewinn wegen Winterdienst
1	11'680	2'170	3'296	4'562	1'266
2	8'295	1'370	2'183	3'177	994
3	8'230	1'368	2'563	3'500	937
4	11'968	2'211	3'330	4'672	1'342
Summe	40'173	7'118	11'371	15'910	4'539

¹⁴ An diesem Tag wurden auf diesem Abschnitt drei Einsätze getätigt.

Die Zahlen in obiger Tabelle zeigen, dass durch den Winterdienst die Geschwindigkeiten zwar steigen, aber dass das Geschwindigkeitsniveau auf trockener Fahrbahn nicht erreicht wird. Ohne Winterdiensteinsatz hätten die Fahrer an diesem aber mehr als doppelt so viel Zeit im Verkehr verbringen müssen. Der gesamte Zeitgewinn an diesem Tag, der den Winterdiensteinsätzen zu verdanken ist, beträgt 4'539 Stunden.

Da nicht jeder winterliche Tag gleich streng ist, wurden diese Berechnungen für alle Tage, für welche Beobachtungen vorliegen, durchgeführt und die entsprechenden Stunden aufsummiert. Daraus konnte der „mittlere“ Zeitgewinn für einen „mittleren“ Wintertag mit Winterdiensteinsatz ermittelt werden.

Für die übrigen Beobachtungs- und Messorte wurden die Berechnungen analog durchgeführt. Die Resultate für die einzelnen Strecken sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 10-2 Fahrzeiten und Zeitgewinne für einen „mittleren“ winterlichen Tag mit Winterdiensteinsatz

Beobachtungsort	Summe Fahrzeiten "trocken"	Summe Fahrzeiten mit Winterdienst	Summe Fahrzeiten ohne Winterdienst	Zeitgewinn wegen Winterdienst
Wädenswil	7'323	8'889	12'231	3'342
Hunzensschwil	7'871	8'966	12'314	3'348
Mattstetten ¹⁵	9'835	11'178	17'541	6'363
Rorschacherstr.	534	566	680	114
Rosengartenstr.	1'481	1'543	2'090	547

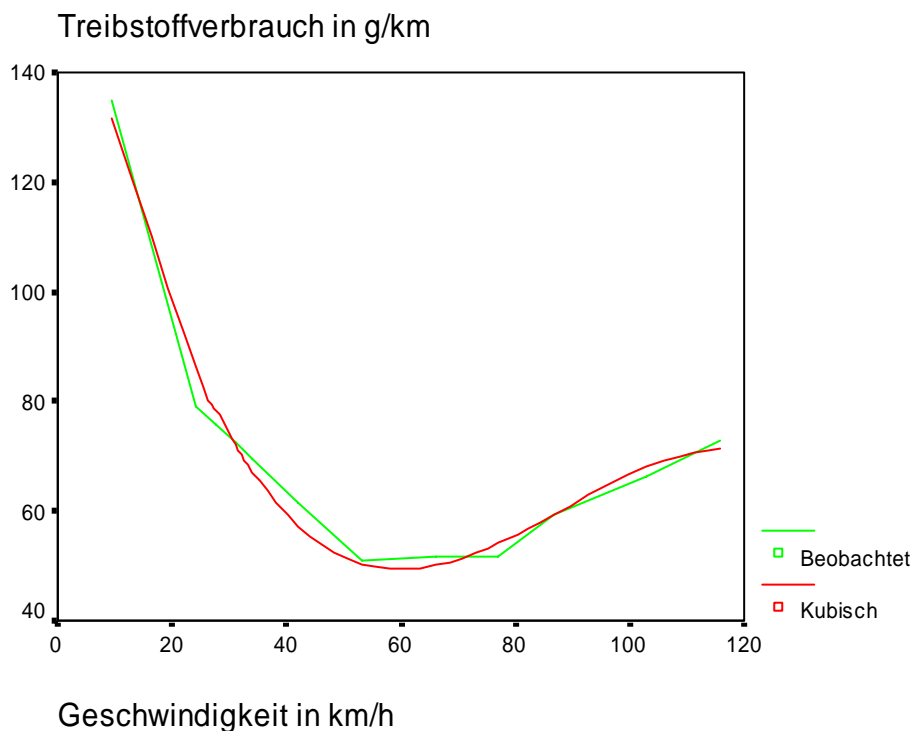
10.2 Fahrzeugbetriebskosten

Relevant für die vorliegende Untersuchung ist bei den Fahrzeugbetriebskosten nur der Treibstoffverbrauch. Die übrigen Kostenfaktoren (Reifenverschleiss, Ölverbrauch, Abschreibung etc.) sind unabhängig von der Witterung, weshalb sie nicht ins Gewicht fallen.

Der Treibstoffverbrauch pro Kilometer ist von der Geschwindigkeit abhängig. Dabei ist der Verbrauch bei tiefen Geschwindigkeiten (< 30km/h) grösser als bei höheren Geschwindigkeiten (>120 km/h). Die für diese Untersuchung verwendete kubische Verbrauchsfunktion wurde mit Hilfe einer speziellen Software (SPSS) aufgrund der Verbrauchswerte bestimmt, die der BUWAL-Emissionsfaktoren-Datenbank entnommen wurden. Die Funktion ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Die Verbrauchswerte sind in g/km angegeben.

¹⁵ Resultate nicht abgesichert, da zu wenig Winterdiensteinsätze

Abbildung 10-1 Treibstoffverbrauch in Abhängigkeit der Geschwindigkeit



Die Berechnung des gesamten Treibstoffverbrauchs mit und ohne Winterdiensteinsatz erfolgte auf die gleiche Weise, wie die Ermittlung der entsprechenden Zeitgewinne. Dabei wurde nicht zwischen PW und LW unterschieden, da der Schwerverkehr durch seinen vergleichsweise geringen Anteil nur einen kleinen Einfluss auf den Gesamtverbrauch hat.

Nicht berücksichtigt wurde bei den Berechnungen ferner die Tatsache, dass auf schneebedeckter oder matschiger Fahrbahn der Rollwiderstand und damit der spezifische Treibstoffverbrauch grösser ist als auf trockener oder nasser Fahrbahn, da in diesem Zusammenhang keine gesicherten Erkenntnisse vorlagen.

Auf Autobahnen geht wegen der geringeren mittleren Geschwindigkeiten auf winterlichen Fahrbahnen der Treibstoffverbrauch merklich zurück. Da durch den Winterdiensteinsatz die Geschwindigkeiten wieder steigen und der spezifische Treibstoffverbrauch deshalb höher ist, entsteht ein negativer Spareffekt oder ein negativer volkswirtschaftlicher Nutzen.

Auch auf den zwei städtischen Strassen sind die mittleren Geschwindigkeiten auf winterlichen Fahrbahnen niedriger als auf trockener Fahrbahn. Da jedoch hier die linke Seite der U-förmigen Verbrauchsfunktion relevant ist, führt dies zu einem grösseren Treibstoffverbrauch. Durch den Winterdiensteinsatz wird deshalb ein positiver Spareffekt ausgelöst.

Die Resultate der Berechnungen sind nachfolgend zusammengefasst.

Tabelle 10-3 Treibstoffverbrauch [Liter] an einem „mittleren“ winterlichen Tag mit und ohne Winterdiensteseinsatz

Beobachtungsort	Treibstoffverbrauch "trocken"	Treibstoffverbrauch mit Winterdienst	Treibstoffverbrauch ohne Winterdienst	Treibstoffersparnis wegen Winterdienst
Wädenswil	78'080	73'577	66'255	-7'322
Hunzensschwil	8'454	80'212	71'372	-8'840
Mattstetten ¹⁶	105'888	100'667	83'037	-17'630
Rorschacherstr.	2'078	2'131	2'293	162
Rosengartenstr.	4'646	4'718	5'410	692

Diese Resultate wurden aufgrund der Annahme ermittelt, dass für winterliche Strassenzustände die gleiche Verbrauchsfunktion gilt wie für die normale trockene Fahrbahn. Es wurde jedoch darauf hingewiesen, dass auf schneebedeckter oder matschiger Fahrbahn der Rollwiderstand und damit der spezifische Treibstoffverbrauch grösser ist als auf trockener Fahrbahn. Der Mehrverbrauch hat jedoch noch einen weiteren Grund: Da die Griffbarkeit der Strassenoberfläche auf winterlichen Strassen stark vermindert ist, erhöht sich der Schlupf beim angetriebenen Rad. Dies hat zur Folge, dass sich die Räder auf glatten Strassen öfter drehen müssen als auf trockener Fahrbahn.

Erwähnt wurde auch, dass in diesem Zusammenhang keine gesicherten Erkenntnisse vorliegen.

Das Problem ist jedoch eher darin zu sehen, dass die Schätzungen der Winterdienstpraktiker ziemlich auseinander gehen (Sagasser, 1982). So rechnen Brenner und Moshmann (1976) in den USA mit einem Verbrauchsanstieg von 16,7 bis 54%, Zulauf (1973) in der Schweiz mit 20 bis 25% und Dultinger (1976) in Österreich mit 20 bis 50%.

Wird von diesen Schätzungen für den Mehrverbrauch der kleinste Wert genommen (16,7%), dann sehen die Resultate anders aus. Diese modifizierten Werte sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt.

¹⁶ Resultate nicht abgesichert, da zu wenig Winterdiensteseinsätze

Tabelle 10-4 Treibstoffverbrauch [Liter] an einem „mittleren“ winterlichen Tag mit und ohne Winterdiensteseinsatz (modifizierte Zahlen aufgrund erhöhtem Treibstoffverbrauch auf winterlichen Strassen)

Beobachtungsort	Treibstoffverbrauch "trocken"	Treibstoffverbrauch mit Winterdienst	Treibstoffverbrauch ohne Winterdienst	Treibstoffersparnis wegen Winterdienst
Wädenswil	78'080	73'577	77'320	3'743
Hunzensschwil	8'454	80'212	83'291	3'079
Mattstetten ¹⁷	105'888	100'667	96'904	-3'763
Rorschacherstr.	2'078	2'131	2'676	545
Rosengartenstr.	4'646	4'718	6'313	1'595

Durch den Winterdienst wird demnach auf allen Strecken, mit Ausnahme der A1 bei Mattstetten, Treibstoff eingespart, wobei der Wert für Mattstetten nicht abgesichert ist.

¹⁷ Resultate nicht abgesichert, da zu wenig Winterdiensteseinsätze

11 Weitere Nutzen des Winterdienstes

Der Winterdienst bringt noch weitere Nutzen, die jedoch schwierig zu quantifizieren sind. Es handelt sich dabei um die vielen Notdienste, deren Funktionstüchtigkeit in erster Linie von einer hohen Mobilität abhängt. Erwähnt werden sollen in diesem Zusammenhang die Notarzt- und Unfallrettungswagen, Polizei und Feuerwehr. Diese können ihren Aufgaben nur nachkommen, wenn die Strassen befahrbar sind. Aber nicht nur die Erhaltung der Funktionstüchtigkeit dieser Notdienste sind für die Gesellschaft wichtig; eine Reihe anderer Einsatzfahrzeuge bringen ebenfalls hohen wirtschaftlichen Gewinn, wenn sie ihren Dienst erfüllen können. Erwähnt seien hier etwa die Müllabfuhr und die Strassendienstfahrzeuge des TCS.

Besonders erwähnt werden muss in diesem Zusammenhang der Nutzen des Winterdienstes für den öffentlichen Verkehr, insbesondere in den Städten.

Last but not least sei hier noch auf den gesteigerten Fahrtenkomfort verwiesen, der durch den Winterdienstesinsatz ermöglicht wird. Schnee und Eis auf der Strasse beanspruchen die Aufmerksamkeit der Fahrer enorm; ihre Nervenanspannung ist sehr gross. Schwarze Fahrbahnen durch den Winterdienst tragen erheblich zu einem gesteigerten Wohlbefinden beim Autofahren bei.

12 Externe Kosten

12.1 Einleitung

Als externe Kosten werden diejenigen sozialen Kosten bezeichnet, die nicht vom Verursacher, sondern von anderen getragen werden. Im Zusammenhang mit dem Verkehr stehen im Allgemeinen die folgenden externen Kostenarten im Vordergrund:

- die Unfallfolgekosten
- die sozialen Kosten der Luftverschmutzung
- die sozialen Kosten des Verkehrslärms
- die sozialen Kosten des Verkehrsstaus
- Gewässerverschmutzung
- Auswirkungen auf Pflanzen und Tiere
- Korrosionsschäden an Bauwerken und Fahrzeugen
- Beeinträchtigung der Landschaft
- Auswirkungen auf die Landwirtschaft
- Beeinträchtigung von Erholungsgebieten
- Beeinträchtigung oder Zerstörung von Stadtbildern
- Trennwirkungen
- die sozialen Kosten des Energie- und Treibstoffverbrauchs
- Klimaerwärmung

Dabei stellen die Unfallfolgekosten einen Spezialfall dar, da das Unfallrisiko streng genommen nur für die Unbeteiligten (etwa spielende Kinder) als extern nach der obigen Definition bezeichnet werden kann. Die direkt beteiligten Verkehrsteilnehmer nehmen dieses Risiko mehr oder weniger freiwillig in Kauf. Aber ein Teil der Unfallfolgekosten ist in dem Sinne extern, dass dieser von der Allgemeinheit (von den Steuerzahlern) getragen wird.

Ein weiterer Spezialfall sind die Staukosten, indem jedes zusätzliche Fahrzeug in einer Stauungszone nicht nur seine eigenen Betriebs- und Zeitkosten sondern auch einen Anstieg der entsprechenden Kosten bei allen anderen Fahrzeugen bewirkt.

Grundsätzlich muss jeder externe Effekt, der für die soziale Wohlfahrt relevant ist, bewertet werden. Nicht alle der oben angeführten Effekte sind jedoch im Zusammenhang mit dem Winterdienst relevant. Von den Winterdiensteinsätzen werden die Lärmkosten und die letzten sieben Kostenarten in der oben aufgeführten Liste (Beeinträchtigung der Landschaft bis Klimaerwärmung) kaum tangiert, weshalb diese von vornherein weggelassen werden können. Auch die Kosten der Verkehrsstaus können aus der Betrachtung weggelassen werden, da diese Kosten in den Zeitkosten berücksichtigt werden.

Das Hauptproblem bezüglich der externen Effekte besteht darin, dass nicht für alle diese Auswirkungen geeignete Monetarisierungsansätze existieren. Die Bewertung ist in der Regel sehr schwierig, weil für diese Effekte keine isolierten Marktwerte existieren.

Immerhin ist diesbezüglich gerade in der Schweiz schon sehr viel geleistet worden, so dass für die wichtigsten externen Effekte durchaus brauchbare Monetarisierungsansätze vorhanden sind. Eini-germassen gesicherte Ansätze existieren namentlich für¹⁸:

- die Unfallfolgekosten
- die sozialen Kosten der Luftverschmutzung

Für die übrigen externen Kostenarten, die im Zusammenhang mit dem Winterdienst relevant sind, gibt es jedoch nur qualitative Bewertungsansätze. Auf diese wird in eigenen Abschnitten eingegan-gen.

12.2 Unfallfolgekosten

Die Ermittlung der verkehrsbedingten Unfallkosten beruht auf einem Schadenskostenansatz (Eco-plan, 1998). Berücksichtigt wurden im Falle von Verletzten die medizinischen Heilungskosten, die Wiedereingliederungskosten, die Neu- und Umbesetzungskosten, die Produktionsausfälle, die im-materiellen Kosten, Administrativkosten, Polizei- und Justizkosten und die reinen Sachschäden.

Die für das Jahr 1993 abgeleiteten Kostensätze bei Kenntnis der Unfallzahlen und der Verletzten im Strassen-Personenverkehr sind (Werte gerundet):

- Sachschäden (inkl. Polizei- und Justizkosten) pro Fall: 7'000 Franken
- Personenschäden pro verletzte Person: 20'000 Franken

Die Anpassung der Kostensätze für das Jahr 2004 erfolgt mit Hilfe des Konsumentenpreisindexes. Bezogen auf das Jahr 2003 beträgt dieser im Jahre 2004 rund 109 Indexpunkte.

12.3 Soziale Kosten der Luftverschmutzung

Die verkehrsbedingte Luftverschmutzung wirkt sich in zweierlei Hinsicht negativ aus:

- Schädigung der menschlichen Gesundheit
- Materialschäden

Die Zunahme der Luftverschmutzung führt zu zusätzlichen Krankheitsfällen und vorzeitigen Todes-fällen. Die damit verursachten Kosten wie medizinische Behandlungskosten, Produktionsausfall, Leid bei den erkrankten Personen sowie ihren Angehörigen werden als Gesundheitskosten durch die verkehrsbedingte Luftverschmutzung bezeichnet.

Die von der Luftverschmutzung verursachten Materialschäden sind Gebäudeschäden, Schäden an Kunstdenkmälern und Schäden an Infrastrukturbauten.

Für beide Schadensarten wurden in der Schweiz Monetarisierungsätze abgeleitet¹⁹. Die Schätzun-gen zu den Materialschäden durch die Luftverschmutzung beschränkten sich jedoch auf die Gebäu-deschäden; Schäden bei Infrastrukturanlagen wurden nicht berücksichtigt. Aus diesem Grund muss für die Quantifizierung dieser Schäden auf andere Schätzungen abgestellt werden.

¹⁸ Quelle: ECOPLAN. Externalitäten im Verkehr – methodische Grundlagen. GVF-Auftrag Nr. 281 a. Bern, 1998

¹⁹ Ecoplan: Externalitäten im Verkehr – methodische Grundlagen, 1998, GVF-Auftrag Nr. 281a

12.3.1 Gesundheitskosten

Als Leitschadstoff für die Erfassung des gesundheitlichen Risikos wird NO_x genommen.

Der von Ecoplan für das Jahr 1993 angegebene Kostensatz für die Gesundheitskosten im motorisierten Personenverkehr beträgt 15'445 Franken pro (zusätzliche) Tonne NO_x -Emissionen.

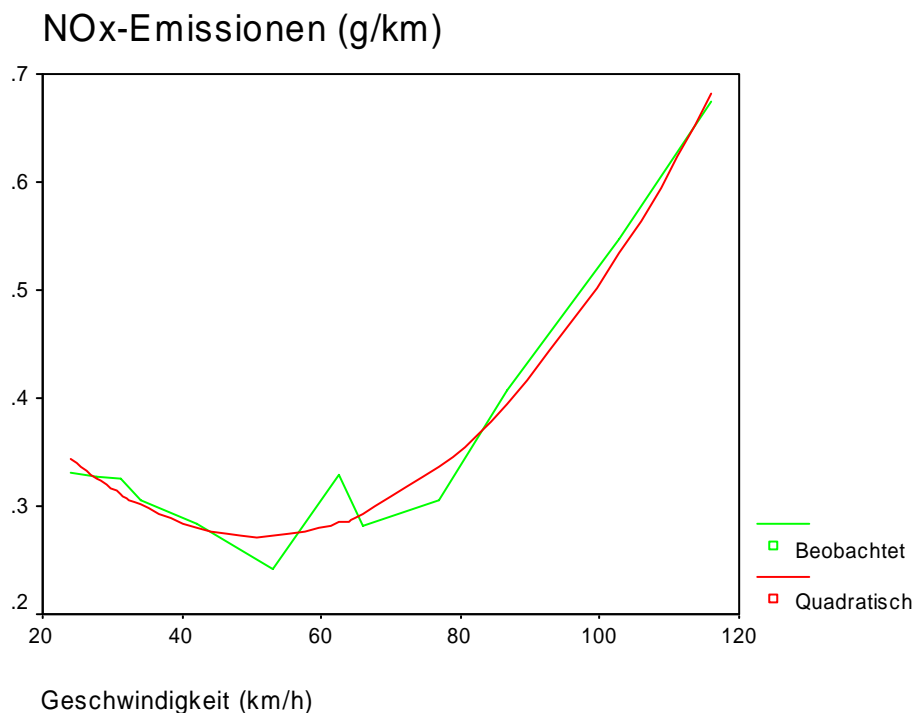
Die Anpassung der Kostensätze für das Jahr 2004 erfolgt mit Hilfe des Konsumentenpreisindexes. Bezogen auf das Jahr 2003 beträgt dieser im Jahre 2004 rund 109 Indexpunkte.

Die Berechnung des gesamten NO_x -Ausstosses mit und ohne Winterdiensteinsatz erfolgte auf die gleiche Weise, wie die Ermittlung der entsprechenden Zeitgewinne und des Treibstoffverbrauchs. Auch in diesem Zusammenhang wurde nicht zwischen PW und LW unterschieden.

Auch der NO_x -Ausstoss pro Kilometer ist von der Geschwindigkeit abhängig. Dabei ist der Ausstoss bei tiefen Geschwindigkeiten grundsätzlich kleiner als bei höheren Geschwindigkeiten (> 80 km/h). Die für diese Untersuchung verwendete quadratische Funktion wurde mit Hilfe von Emissionswerten ermittelt, die der BUWAL-Emissionsfaktoren-Datenbank entnommen wurden.

Die Funktion ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Der NO_x -Ausstoss ist in g/km angegeben.

Abbildung 12-1 NO_x -Emissionen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit



Die Resultate der Berechnungen sind nachfolgend zusammengefasst.

Tabelle 12-1 NO_x-Ausstoss [kg] an einem „mittleren“ winterlichen Tag mit und ohne Winterdiensteinsatz

Beobachtungsort	NO _x -Ausstoss "trocken"	NO _x -Ausstoss mit Winterdienst	NO _x -Ausstoss ohne Winter- dienst	NO _x -Minderung wegen Winter- dienst
Wädenswil	542	451	339	-112
Hunzensschwil	603	510	373	-137
Mattstetten ²⁰	761	612	385	-227
MuttENZ ¹⁶	828	715	576	-139
Rorschacherstr.	9	9	9	0
Rosengartenstr.	17	17	18	1

Auf Autobahnen geht wegen der geringeren mittleren Geschwindigkeiten auf winterlichen Fahrbahnen der NO_x-Ausstoss merklich zurück. Da durch den Winterdiensteinsatz die Geschwindigkeiten wieder steigen, entsteht ein negativer Spareffekt oder ein negativer volkswirtschaftlicher Nutzen.

Auf den zwei städtischen Strassen sind die Auswirkungen des Winterdiensteinsatzes auf den NO_x-Ausstoss marginal und können deshalb vernachlässigt werden.

12.3.2 Korrosionsschäden an Bauwerken und Fahrzeugen

Gut abgedichtete Betonteile werden, selbst wenn sie alt sind, nur geringfügig durch Salzwasser beschädigt. Die Schäden sind meistens auf undichte Isolationen bei alten Bauwerken zurückzuführen. Diese Schäden entstehen durch die Chlorid-Kontamination, die sowohl den Beton als auch den Stahl angreifen (Stahlkorrosion). Um solche Schäden zu vermeiden, werden bei modernen Bauwerken dem Beton so genannte Luftporenbildner beigemischt. Durch diese künstlichen Zwischenräume im Beton wird verhindert, dass es durch das Gefrieren der eingedrungenen Wassermoleküle zu einer Sprengung der Oberfläche kommt. Baufachleute sind sich einig, dass ein Beton guter Qualität, mit einem geeigneten Luftporenbildner versehen, tausalzbeständig ist.

Brauchbare Schätzungen über die salzbedingten Brückenkorrosionsschäden liegen nicht vor, sie können jedoch erheblich sein (Sagasser, 1982).

Schlimmer als die chemische Wirkung ist jedoch nach Sagasser die physikalische Wirkung des Salzwassers auf Betonoberflächen. Diese physikalischen Wechselwirkungen beruhen darauf, dass beim salzbedingten Schmelzvorgang erhebliche Wärmemengen verbraucht werden, die zu einer plötzlichen Abkühlung der Betonoberflächen führen. Dies bewirkt Spannungen mit tiefer gelegenen Schichten was mit der Zeit zu einer Verringerung der Betonfestigkeit führt.

Die meisten Fahrbahnen in der Schweiz sind asphaltiert. Deutsche und Schweizer Untersuchungen (BfV, 1968) ergaben, dass von den Tausalzen normalerweise kein schädigender Einfluss auf das bituminöse Mischgut ausgeübt wird. An rissigen Fahrbahnen können jedoch durch das Salz mittelbare Schäden verursacht werden. Diese entstehen dadurch, dass das Salzwasser von den Autoreifen in die Poren des Belags gepumpt wird, so dass lockere Körner aus dem Belag herausgerissen werden. Einmal vorhandene Löcher vergrössern sich schnell (Dultinger, 1976). Untersuchungen über den Umfang dieser Schäden liegen jedoch nicht vor.

²⁰ Resultate nicht abgesichert, da zu wenig Winterdiensteinsätze

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 anderen Korrosionsfaktoren (Luftfeuchtigkeit, Luftverschmutzung) über das ganze Jahr wirken (OECD, 1990). In Anlehnung an amerikanische Untersuchungen wurden entsprechende Schätzungen von Sagasser (1982) für Deutschland und von Leuch (1973) für die Schweiz gemacht. Diese Schätzungen sind jedoch für heutige Verhältnisse nicht mehr repräsentativ, da die Salzkorrosion bei modernen Fahrzeugen infolge der eingeführten Korrosionsschutzmassnahmen praktisch kein Problem mehr darstellt (Ruess, 1998).

12.4 Umweltauswirkungen der Salzstreuung

12.4.1 Einflüsse der Salzstreuung auf den Boden und auf die Vegetation

Salz wird durch die Schneeräumung, durch Verwehung und durch abfliessendes Schmelzwasser in den Boden neben der Fahrbahn eingebracht. Im Allgemeinen ist die Salzansammlung auf die obersten Bodenschichten beschränkt. Zu Beginn des Herbstes liegt der Salzgehalt normalerweise wieder auf dem ursprünglichen Wert (Ruess, 1998). Das in den Boden gelangte Salz schädigt die Vegetation entlang der Fahrbahnen. Durch das Anbringen von salzresistenten Pflanzen sind diese Schäden rückläufig. Schlimmer ist die Situation in den Städten. Hier leiden die Pflanzen durch die Bodenversalzung. Obwohl die Stadtbäume auch wegen der Luftverschmutzung leiden müssen, wirken sich die Streusalze vermutlich noch schädlicher aus. Deutsche Untersuchungen ergaben, dass etwa 10% der städtischen Bäume geschädigt sind und mit der Zeit absterben werden und dass 90% dieser Schäden auf das Konto der Auftausalze gehen. Nach Sagasser (1982) verursachen die Streusalze in diesem Bereich die grössten Schäden.

12.4.2 Einflüsse der Salzstreuung auf Gewässer und Tiere

Die von den Auftausalzen ausgehenden Belastungen stellen vor allem bei kleinen Fliessgewässern in forstlich und landwirtschaftlich genutzten Gebieten, deren Einflussgebiete von stark belasteten Strassen durchquert werden, den Hauptteil der Gesamtbelastung dar. In grösseren Flüssen fällt der Einfluss der Auftausalze hingegen kaum ins Gewicht (Ruess, 1998). Untersuchungen von Bäckmann (1994) in Schweden zeigten, dass das Risiko einer Belastung des Grundwassers durch Salz gering ist.

Verschiedene Studien stimmen nach Ruess (1998) überein, dass eine Schädigung der Wassertiere infolge der zusätzlichen Salzbelastung durch die im Winterdienst ausgebrachten Tausalze mit grösster Wahrscheinlichkeit selbst für empfindliche Arten ausgeschlossen werden kann. Die Beeinflussung der Trinkwasservorräte durch Tausalz ist ebenfalls unwahrscheinlich (OECD, 1990).

Weitere negative Effekte können vereinzelt in unserer Tierwelt auftreten. So können Hunde und Katzen Schmerzen an ihren Pfoten erleiden, wenn sie durch salzbelastete Strassen laufen. Vereinzelt wurde beobachtet, dass Rehwild durch das Salz auf die Fahrbahn gelockt wird, was zu einer zusätzlichen Unfallgefahr für Mensch und Tier führen kann.

13 Kosten des Winterdienstes

13.1 Einleitung

Die Winterdienstkosten setzen sich aus Personal-, Streustoff- (Salz) und Gerätekosten zusammen. Dabei sind insbesondere die Kosten für die Streustoffe stark von der Witterung abhängig. Einige Werkhöfe in der Schweiz setzen bei Überlastung auch private Unternehmen für den Winterdienst ein. Eine detaillierte Erfassung der einzelnen Positionen und ihrer Abhängigkeiten (z. B. vom Witterungsverlauf oder der Art und Umfang der Bereitschaftsdienste und der Dienste von Dritten), die einen genauen Vergleich ermöglichen würden, wäre mit unverhältnismässig hohem Aufwand verbunden. Deshalb werden die Kosten auf summarische Art geschätzt.

13.2 Winterdienstkosten Werkhof Wädenswil

Von diesem Werkhof aus wird die Strecke Zürich (Stadtgrenze) – Reichenburg – Schmerikon winterdienstlich betreut. Dies entspricht einer Streckendistanz von 70,4 km je Richtung, also 140,8 km für beide Richtungen zusammen. Insgesamt stehen 21 Personen und 13 Winterdienstfahrzeuge für den Winterdiensteinsatz zur Verfügung. Je Volleinsatz braucht es 13 Personen – 5 eigene und 8 fremde. Die nachfolgende Tabelle gibt Auskunft über die Anzahl winterlichen Tage, über die Anzahl der Einsätze und über die Kosten in den letzten vier Winterperioden.

Tabelle 13-1 Winterdienstkosten im Werkhof Wädenswil (Franken)

	2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004	Im Mittel
Salzverbrauch	105'200	191'760	216'400	249'200	190'640
Personalkosten	213'539	189'716	206216	240'970	212'610
Fahrzeugkosten	157'524	99'152	149116	275'078	170'218
Fremdkosten	224'337	175'856	259265	330'560	247'505
Total	700'600	656'484	830'997	1'095'808	820'972
Anz. Einsätze	47	79	75	112	78
Kosten pro Einsatz	14'906	8'310	11'080	9'784	10'492

Von den insgesamt 313 Einsätzen waren 262 Einsätze, bei denen nur gesalzen wurde und 51 Einsätze, bei denen geräumt und gesalzen wurde. Pro winterlichen Tag erfolgten im Mittel 1,54 Einsätze.

Bei einem Salzpreis von 180 Franken/Tonne werden im Durchschnitt 1'061 Tonnen Salz je Winterdienstperiode verbraucht (7,5 Tonnen pro km).

Im Durchschnitt der letzten vier Winter kostete also ein Einsatz 10'492 Franken oder 74 Franken pro km. Die durchschnittlichen Kosten des Winterdienstes je km in einer Winterperiode belaufen sich demnach auf rund 5'800 Franken²¹.

13.3 Winterdienstkosten im Werkhof Lenzhard (Hunzenschwil)

Von diesem Werkhof wird die A1 im Kanton Aargau winterdienstlich betreut. Je Richtung sind es 47 km, also 94 km für beide Richtungen zusammen. Insgesamt stehen 28 Personen (14 Personen für den Frühdienst, 14 Personen für den Spätdienst) und 11 Fahrzeuge für den Winterdiensteinsatz zur Verfügung. Die nachfolgende Tabelle gibt Auskunft über die Anzahl winterlichen Tage, über die Anzahl der Einsätze und über die Kosten in den letzten vier Winterperioden.

Tabelle 13-2 Winterdienstkosten im Werkhof Lenzhard (Schätzwerte)

	2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004	Im Mittel
Salzverbrauch	77'832	137'790	143'460	227'160	146'561
Personalkosten	88'110	102'373	144'155	189'834	131'118
Fahrzeugkosten	277'445	164'654	333'936	115'090	222'781
Sonstige Kosten	22'462	17'877	15'746	16'402	18'122
Total	465'849	422'694	637'297	548'486	518'582
Anz. Einsätze	37	29	26	43	34
Kosten pro Einsatz	12'591	14'576	24'511	12'755	15'365

Die durchschnittlichen Kosten des Winterdienstes je km in einer Winterperiode belaufen sich demnach auf rund 5'517 Franken pro km. Diese sind etwa gleich hoch wie beim Werkhof Wädenswil.

Vom Werkhof wurde jeweils nur die Anzahl der winterlichen Tage je Winterperiode angegeben, also die Anzahl Tage an denen der Winterdienst aktiv war. Die Anzahl der Einsätze wurde nicht angegeben. Um diese zu schätzen gehen wir von derselben mittleren Anzahl Einsätze pro winterlichen Tag aus wie in Wädenswil, d.h. 1,54 Einsätze pro Winterdiensttag. Bei der Anzahl Einsätze und bei den Kosten je Einsatz in obiger Tabelle handelt es sich deshalb nur um Schätzwerte. Die mittleren Kosten je Einsatz sind hier deutlich höher als im Werkhof Wädenswil, dies hat jedoch mit der Tatsache zu tun, dass es hier weniger Einsätze gab und dass eigentlich nur die Kosten für den Salzverbrauch variabel sind; die übrigen Kostenarten haben jeweils einen sehr hohen Fixkostenanteil.

Im Durchschnitt wurden je Winterperiode 814 Tonnen Salz verbraucht (8,7 Tonnen pro km). Der Verbrauch pro km ist hier etwa 16% höher als in Wädenswil. Da hier jedoch bedeutend weniger Einsätze durchgeführt wurden, ist der Salzverbrauch je km hier deutlich höher (255kg/km versus 96 kg/km). Dieser Mehrverbrauch ist auf den grossen Anteil des „Drain-Belags“ zurückzuführen.

²¹ Zum Vergleich: Nach Sagasser (1982) betragen die durchschnittlichen Winterdienstkosten je Autobahn- km im Jahre 1978 rund 4000 DM, Bark et al. (1996) gingen für das Jahr 1990/91 von 8'240 DM/km aus.

Der so genannte Drain-Belag, der in der Schweiz seit einigen Jahren vor allem aus Lärmschutzgründen auf gewissen Streckenabschnitten eingebaut wurde, bewirkt ein schnelles Versickern des Schmelzwassers, so dass auf diesen Strecken, nach Auskunft der Werkhofsleiter, bis zu dreimal so viel Salz verstreut werden muss.

13.4 Winterdienstkosten im Werkhof Bern

Vom Autobahnwerkhof Bern werden 142,5 km Autobahn winterdienstlich betreut. Insgesamt stehen 35 Personen und 14 Fahrzeuge für den Winterdiensteinsatz zur Verfügung. Die nachfolgende Tabelle gibt Auskunft über die Anzahl winterlichen Tage, über die Anzahl der Einsätze und über die Kosten in den letzten vier Winterperioden.

Tabelle 13-3 Winterdienstkosten im Autobahnwerkhof Bern

	2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004	Im Mittel
Salzverbrauch	112'680	117'180	208'800	207'180	161'460
Personalkosten	180'000	182'600	268'000	330'000	240'150
Fahrzeugkosten	83'800	84'700	168'500	175'000	128'000
Sonstige Kosten	81'400	84'700	287'475	360'000	203'394
Total	457'880	469'180	932'775	1'072'180	733'004
Anz. Einsätze	64	85	87	123	90
Kosten pro Einsatz	7'154	5'520	10'722	8'717	8'167

Von den insgesamt 359 Einsätzen waren 318 Einsätze, bei denen nur gesalzen wurde und 41 Einsätze, bei denen geräumt und gesalzen wurde. Pro winterlichen Tag erfolgten im Mittel 1,96 Einsätze.

Im Durchschnitt wurden 897 Tonnen Salz je Winterdienstperiode verbraucht (6,3 Tonnen pro km).

Im Durchschnitt der letzten vier Winter kostete ein Einsatz 8'167 Franken oder 57 Franken pro km. Die durchschnittlichen Kosten des Winterdienstes je km in einer Winterperiode belaufen sich demnach auf rund 5'160 Franken. Diese Kosten sind etwas tiefer als die von den Werkhöfen Wädenswil und Lenzhard (Hunzenschwil) ausgewiesenen. Der Grund dafür liegt darin, dass bei Winterdiensteinsätzen nicht immer die volle Strecke (142,5 km) betreut werden musste; beim Beobachtungsort Mattstetten wurden in den beiden letzten Winterperioden lediglich 4 Einsätze durchgeführt.

Der Abschnitt der A1 mit dem Beobachtungsort Mattstetten (Bern bis Kantonsgrenze Solothurn) misst etwa 40 km. In beiden Richtungen sind zusammen 80 km Autobahnen winterdienstlich zu

betreuen. Je Winterperiode entfallen auf diesen Abschnitt anteilmässig rund 56% der Gesamtwinterdienstkosten, d. h. rund 412'000 Franken²².

13.5 Winterdienstkosten im Werkhof St. Gallen

Vom Werkhof in St. Gallen werden insgesamt 123 Kilometer (Kantons-) Strassen mit 2 Fahrstreifen winterdienstlich betreut. Insgesamt stehen 20 Personen und 11 Fahrzeuge für den Winterdienstesinsatz zur Verfügung.

Für die letzten vier Winterperioden wurden uns lediglich die folgenden Angaben mitgeteilt:

Tabelle 13-4 Angaben des Werkhofes in St. Gallen (Schätzung)

	2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004
Durchschnittl. Salzverbrauch kg/km	30,1	32,0	46,5	37,4
Anzahl winterl. Tage	20	26	24	38
Anzahl Einsätze "nur Salz gestreut"	16	22	17	29
Anzahl Einsätze "geräumt und Salz gestreut"	6	20	29	36
Anz. Einsätze total	22	42	46	65

Leider wurden uns vom Werkhof keine weiteren Kostenangaben mitgeteilt.

Um doch noch eine grobe Schätzung für die durchschnittlichen Winterdienstkosten zu erhalten, gehen wir von den folgenden Annahmen aus:

- Wir betrachten nur die letzte Winterperiode
- Personalkosten pro Person sind im Mittel gleich hoch, wie bei den übrigen Werkhöfen.
- Fahrzeugkosten pro Fahrzeug sind im Mittel gleich hoch, wie in den übrigen Werkhöfen
- Die Fremdkosten werden auf 50% der Summe aus Personal- und Fahrzeugkosten geschätzt

Aufgrund dieser Annahmen kann die folgende grobe Schätzung vorgenommen werden:

²² Anteilsmässige Winterdienstkosten müssen auch für diesen Abschnitt ausgewiesen werden, obwohl hier nur wenige Einsätze durchgeführt wurden. Die Personal- und Fahrzeugkosten entstehen unabhängig davon, ob Einsätze erfolgen oder nicht.

Tabelle 13-5 Winterdienstkosten im Werkhof St. Gallen

	2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004
Salzverbrauch (in Tonnen)	81,4	165,3	263,1	299,0
Kosten Salzverbrauch	14'652	29'754	47'358	53'820
Personalkosten				184'560
Fahrzeugkosten				161'788
Fremdkosten				173'174
Total				573'342
Anz. Einsätze				65
Kosten pro Einsatz				8'820

In der letzten Winterperiode wurden 299 Tonnen Salz verbraucht (4,6 Tonnen pro km).

Ein Einsatz kostete 8'820 Franken oder 71 Franken pro km. Auf die Rorschacherstrasse entfallen demnach 4 (km) mal 71 Franken, d.h. rund 284 Franken pro Einsatz. Bei 65 Einsätzen in der letzten Winterperiode ergeben sich für die Rorschacherstrasse demnach 18'460 Franken Gesamtkosten.

13.6 Winterdienstkosten in Zürich, Bezirk M (Hardhof)

Die Stadt Zürich ist in 10 (Stadtreinigungs)Bezirke eingeteilt. Die Rosengartenstrasse gehört zu Bezirk M, der zugehörige Werkhof befindet sich im Hardhof 1. Insgesamt werden von diesem Werkhof 91 km öffentliche Strassen winterdienstlich betreut. Zur Verfügung stehen 21 Fahrzeuge und 31 Personen.

Für die letzten vier Winterdienstperioden wurden uns die folgenden Angaben mitgeteilt:

Tabelle 13-6 Angaben des Werkhofes Hardhof (Bezirk M)

	2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004
Salzverbrauch (Tonnen)		440	332	518
Anzahl winterliche Tage		15	22	19
Anzahl Einsätze "nur Salz gestreut"		15	22	19
Anzahl Einsätze "geräumt und Salz gestreut"		5	11	6
Anz. Einsätze total		20	33	25

Der durchschnittliche Salzverbrauch in den letzten drei Winterperioden betrug 430 Tonnen. Die Kosten dafür betragen 77'400 Franken. Weitere Kostenangaben wurden nicht mitgeteilt. Wenn wir zum Zwecke einer Grobabschätzung der übrigen Kosten davon ausgehen, dass diese in etwa gleich sind wie bei den übrigen Werkhöfen, dann ergeben sich für den Durchschnitt der letzten drei Winterperioden die folgenden Kostenwerte:

Tabelle 13-7 Winterdienstkosten in Zürich, Bezirk M (Hardhof)

	Im Mittel der letzten drei Winterperioden
Salzverbrauch	77'400
Personalkosten	224'000
Fahrzeugkosten	297'000
Total	598'400
Anz. Einsätze	26
Kosten pro Einsatz	23'015

Die Winterdienstkosten für den Bezirk „M“ betragen durchschnittlich rund 600'000 Franken pro Jahr²³. Ein Einsatz im Bezirk „M“ kostete demnach rund 23'000 Franken oder etwa 255 Franken pro km. Auf die Rosengartenstrasse (Länge = 1km, 4 Fahrstreifen) entfallen demnach etwa 500 Franken pro Einsatz.

²³ Ruess (1998) schätzte die Winterdienstkosten für die Stadt Zürich auf rund 6,2 Mio Franken (1996). Da die Stadt Zürich in 10 Bezirke eingeteilt ist, dürfte die Schätzung der Winterdienstkosten für den Bezirk „M“ in etwa stimmen.

14 Die volkswirtschaftliche Bewertung des Winterdienstes

14.1 Einleitung

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden die Auswirkungen des Winterdienstes in der Umgebung der Beobachtungs- und Messorte untersucht, und soweit möglich, quantifiziert. Es wurde unter Anderem festgestellt, dass die Auswirkungen zum Teil sehr unterschiedlich sind. Unterschiede gibt es nicht nur zwischen Autobahnen und städtischen Strassen sondern auch unter den einzelnen Strassentypen. Dies ist auf verschiedene klimatische Verhältnisse und andere örtliche Gegebenheiten zurückzuführen. Bei Muttenz und Mattstetten gab es zudem – aus Mangel an winterlichen Verhältnissen - zu wenig Einsätze, um gesicherte Erkenntnisse ableiten zu können.

Es wurde im Weiteren bereits früher darauf hingewiesen, dass die Quantifizierung der monetarisierbaren Auswirkungen nur überschlagsmässig erfolgen kann, da weder der Referenzzustand noch der Zustand nach dem Winterdiensteinsatz genau bekannt sind. Zudem sind wir bei der Ermittlung der Auswirkungen und bei ihrer monetären Bewertung grundsätzlich vorsichtig-konservativ vorgegangen.

Wir können deshalb – im Gegensatz zu den deutschen Untersuchungen - nicht Aussagen machen, wie etwa: Durch den Winterdiensteinsatz wird die Unfallrate um 0,2 Unfälle pro Mio Fahrzeugkilometer reduziert oder: durch den Winterdiensteinsatz wird die Fahrzeit für einen Kilometer um 20 Sekunden verkürzt.

Zu dem kommt, dass die ausgewählten Messorte nicht repräsentativ sind für die ganze Schweiz. Die Resultate für die Rorschacherstrasse in St. Gallen und für die Rosengartenstrasse in Zürich sind kaum auf andere Strassen in anderen Städten übertragbar. Deshalb ist eine Hochrechnung problematisch. Dies gilt auch für die Autobahnen, die klimatischen und die topographischen Unterschiede sind zu gross.

Aus diesen Gründen wäre es vermessen, wenn wir eine Hochrechnung der Kosten und Nutzen des Winterdienstes für die gesamte Schweiz vornehmen würden. Die Resultate wären aus diversen Gründen zu ungenau und die Gefahr wäre gross, dass aus den Resultaten falsche Schlüsse gezogen werden könnten. Zudem wären durch eine solche Hochrechnung die Unterschiede weggewischt und mögliche Diskussionen über die Gründe für die Unterschiede verunmöglicht.

Wir haben deshalb, dort wo es möglich war, für jede untersuchte Strecke eine separate volkswirtschaftliche Bewertung durchgeführt. Monetär bewertet werden die Auswirkungen auf das Unfallgeschehen, die Reisezeit- und Betriebskostensparnisse und die Auswirkungen auf die, durch die Luftverschmutzung verursachte Gesundheitskosten. Monetär nicht berücksichtigt werden können die Korrosionsschäden an Bauwerken sowie die Auswirkungen der Salzstreuung auf den Boden und die Vegetation sowie auf Gewässer und Tiere.

Nicht monetär bewertet werden müssen, da bereits in diesen Einheiten vorliegend, die direkten Kosten des Winterdienstes.

Die Bewertung erfolgte jeweils auf der Basis von mittleren Jahreskosten. Dabei wurden für die Ermittlung der direkten Kosten und der Unfallkosten die vier letzten Winterperioden, für die Ermittlung der übrigen Auswirkungen die letzten zwei Winterperioden berücksichtigt.

14.2 Volkswirtschaftliche Bewertung des Winterdienstes für die A3 zwischen Reichenburg und Zürich

Verhinderte Glätteunfälle

An einem Tag mit Winterdiensteinsatz werden auf dieser Strecke 2,3 Glätteunfälle verhindert. Der durchschnittliche Sachschaden je Glätteunfall beträgt 10'607 Franken. Das Verhältnis Anzahl Verletzte je Glätteunfall beträgt 0,13. Pro Winterperiode gibt es rund 51 Tage mit Winterdiensteinsatz. Durch diese Einsätze werden rund 117 Glätteunfälle mit einem geschätzten Gesamtsachschaden von 1,24 Mio Franken und etwa 15 Verletzte mit einem geschätzten Personenschaden von 0,33 Mio Franken²⁴ verhindert. Insgesamt werden also je Winterperiode durch den Winterdienst Unfallkosten von rund 1,57 Mio Franken eingespart.

Zeit- und Fahrzeugbetriebskosten

An einem mittleren winterlichen Tag werden auf dieser Strecke 3'342 Stunden durch den Winterdienst eingespart. Dies entspricht einem volkswirtschaftlichen Gewinn von 60'824 Franken. Je Winterperiode werden demnach Zeitgewinne im Betrag von rund 3,1 Mio Franken realisiert.

Als Folge der Winterdiensteinsätze werden auf dieser Strecke an einem winterlichen Tag 3'743 Liter Treibstoff eingespart. Bei einem mittleren Treibstoffpreis von Fr. 1,30 wird je Winterperiode Treibstoff im Werte von etwa 0,25 Mio Franken eingespart.

Gesundheitskosten

Wegen der Winterdiensteinsätze steigen die NO_x-Emissionen wieder an, so dass hier mit einem leichten negativen Spareffekt zu tun haben. Pro winterlichen Tag werden hier durch den Winterdienst 112 kg NO_x zusätzlich ausgestossen. Bei einem Kostenansatz von 16'856 Franken je Tonne NO_x²⁵ ergeben sich je Winterperiode zusätzliche Gesundheitskosten von rund 0,1 Mio Franken.

Winterdienstkosten

Die Winterdienstkosten je Einsatz belaufen sich auf rund 10'500 Franken. Bei durchschnittlich 78 Einsätzen je Winterdienstperiode ergeben sich Gesamtkosten von rund 0,82 Mio Franken.

Werden die jährlichen Nutzen und Kosten einander gegenübergestellt, dann ergibt sich für den Werkhof Wädenswil die folgende Kosten-Nutzen-Rechnung:

Tabelle 14-1 Volkswirtschaftliche Rechnung für die Strecke Reichenburg-Zürich (A3)

	Franken
Summe der direkten und indirekten Nutzen	4,82 Mio
Direkte Kosten	0,82 Mio
Differenz Nutzen-Kosten	4,00 Mio

²⁴ Gerechnet mit dem Konsumentenpreisindex angepassten Kostensatz.

²⁵ Mit dem Konsumentenpreisindex angepasster Kostensatz.

Das Nutzen-Kosten-Verhältnis beträgt 5,9. Dies bedeutet, dass die volkswirtschaftlichen Nutzen des Winterdienstes auf dieser Strecke fast 6-Mal grösser sind als die Kosten.

14.3 Volkswirtschaftliche Bewertung des Winterdienstes für die A1 zwischen Baden und Rothrist

Verhinderte Glätteunfälle

An einem Tag mit Winterdiensteinsatz wird auf dieser Strecke im Durchschnitt 1 Glätteunfall verhindert. Der durchschnittliche Sachschaden je Glätteunfall beträgt hier 8'050 Franken. Mit Verletzungen bei Glätteunfällen muss hier nicht gerechnet werden. Bei durchschnittlich 22 winterlichen Tagen pro Winterperiode werden durch diese Einsätze 22 Glätteunfälle mit einem geschätzten Gesamtsachschaden von 0,19 Mio Franken verhindert.

Zeit- und Fahrzeugbetriebskosten

An einem mittleren winterlichen Tag werden auf dieser Strecke 3'348 Stunden durch den Winterdienst eingespart. Dies entspricht einem volkswirtschaftlichen Gewinn von 60'934 Franken. Je Winterperiode werden demnach Zeitgewinne im Betrag von rund 1,34 Mio Franken realisiert.

Als Folge der Winterdiensteinsätze werden auf dieser Strecke an einem winterlichen Tag 3'079 Liter Treibstoff eingespart. Bei einem mittleren Treibstoffpreis von Fr. 1,30 wird je Winterperiode Treibstoff im Werte von etwa 0,01 Mio Franken eingespart.

Gesundheitskosten

Pro winterlichen Tag werden hier wegen der Winterdiensteinsätze 137 kg NO_x zusätzlich ausgestossen. Bei einem Kostenansatz von 16'856 Franken je Tonne NO_x²⁶ ergeben sich je Winterperiode zusätzliche Gesundheitskosten von rund 0,05 Mio Franken.

Winterdienstkosten

Die Winterdienstkosten je Einsatz belaufen sich auf rund 15'365 Franken. Bei durchschnittlich 34 Einsätzen je Winterdienstperiode ergeben sich Gesamtkosten von rund 0,52 Mio Franken.

Werden die jährlichen Nutzen und Kosten einander gegenübergestellt so ergibt sich für den Werkhof Lenzhard die folgende Kosten-Nutzen-Rechnung:

Tabelle 14-2 Volkswirtschaftliche Rechnung für die Strecke Baden-Rothrist (A1)

	Franken
Summe der direkten und indirekten Nutzen	1,49 Mio
Direkte Kosten	0,52 Mio
Differenz Nutzen-Kosten	0,97 Mio

²⁶ Mit dem Konsumentenpreisindex angepasster Kostensatz.

Das Nutzen-Kosten-Verhältnis beträgt 2,86. Dies bedeutet, dass die volkswirtschaftlichen Nutzen des Winterdienstes auf dieser Strecke fast 3-Mal grösser sind als die Kosten.

14.4 Volkswirtschaftliche Bewertung des Winterdienstes für die A1 bei Mattstetten

Die Bewertung erfolgt hier für die Strecke zwischen Kantonsgrenze Solothurn und Bern.

Verhinderte Glätteunfälle

Da für diesen Abschnitt kein Zusammenhang zwischen dem Unfallgeschehen und den Winterdiensteseinsätzen abgeleitet werden konnte, muss auf eine Bewertung verzichtet werden.

Zeit- und Fahrzeugbetriebskosten

An einem mittleren winterlichen Tag werden auf dieser Strecke 6'363 Stunden durch den Winterdienst eingespart. Dies entspricht einem volkswirtschaftlichen Gewinn von 115'807 Franken. Je Winterperiode werden demnach Zeitgewinne im Betrag von rund 0,46 Mio Franken realisiert.

Als Folge der Winterdiensteseinsätze werden auf dieser Strecke an einem winterlichen Tag 3'763 Liter Treibstoff zusätzlich verbraucht. Bei einem mittleren Treibstoffpreis von Fr. 1,30 wird durch den Winterdienst je Winterperiode zusätzlicher Treibstoff im Werte von etwa 0,02 Mio Franken verbraucht.

Gesundheitskosten

Pro winterlichen Tag werden hier wegen der Winterdiensteseinsätze 227 kg NO_x zusätzlich ausgestossen. Bei einem Kostenansatz von 16'856 Franken je Tonne NO_x²⁷ ergeben sich je Winterperiode zusätzliche Gesundheitskosten von rund 0,015 Mio Franken.

Winterdienstkosten

In einer durchschnittlichen Winterperiode belaufen sich die Kosten für den Winterdienst für diesen Abschnitt auf 412'000 Franken.

Werden die jährlichen Nutzen und Kosten einander gegenübergestellt so ergibt sich für diesen Autobahnabschnitt die folgende Kosten-Nutzen-Rechnung:

Tabelle 14-3 Volkswirtschaftliche Rechnung für den untersuchten Abschnitt bei Mattstetten

	Franken
Summe der direkten und indirekten Nutzen	0,425 Mio
Direkte Kosten	0,412 Mio
Differenz Nutzen-Kosten	0,013 Mio

²⁷ Mit dem Konsumentenpreisindex angepasster Kostensatz.

Der Nettonutzen des Winterdienstes auf diesem Abschnitt ist knapp positiv. Da hier in den zwei letzten Winterperioden nur vier Einsätze nötig waren, stehen hier relativ bescheidene Nutzen den hohen fixen Kosten des Winterdienstes gegenüber, die hier unabhängig von den Anzahl Einsätzen entstehen. Zudem muss nochmals darauf hingewiesen werden, dass die Resultate für diesen Abschnitt nicht abgesichert sind.

Bei einem strengeren Winter dürfte der Nettonutzen allerdings deutlich höher liegen und zwar in ähnlicher Grössenordnung wie beim Werkhof Lenzhard.

14.5 Volkswirtschaftliche Bewertung des Winterdienstes für die Rorschacherstrasse

Die Bewertung erfolgt hier für die ungefähr 4 km lange Strecke ab Stadtkern.

Verhinderte Glätteunfälle

An einem Tag mit Winterdiensteinsatz werden auf dieser Strecke 0,14 Glätteunfälle verhindert. Der durchschnittliche Sachschaden je Glätteunfall beträgt 13'267 Franken. Da in den vier letzten Winterperioden nur eine Person bei einem Glätteunfall verletzt wurde, gehen wir davon aus, bei Glätteunfällen auf dieser Strecke nur Sachschaden entstehen. Bei durchschnittlich 27 winterlichen Tagen pro Winterperiode werden durch diese Einsätze etwa 4 Glätteunfälle mit einem geschätzten Gesamtsachschaden von 53'000 Franken verhindert.

Zeit- und Fahrzeugbetriebskosten

An einem mittleren winterlichen Tag werden auf dieser Strecke 114 Stunden durch den Winterdienst eingespart. Dies entspricht einem volkswirtschaftlichen Gewinn von 2'075 Franken. Je Winterperiode werden demnach Zeitgewinne im Betrag von rund 56'000 Franken realisiert.

Durch die Winterdiensteinsätze werden auf dieser Strecke an einem winterlichen Tag 545 Liter Treibstoff eingespart. Bei einem mittleren Treibstoffpreis von Fr. 1,30 wird je Winterperiode Treibstoff im Werte von etwa 19'000 Franken eingespart.

Gesundheitskosten

Der NO_x-Austoss wird auf dieser Strecke durch den Winterdienst nicht verändert.

Winterdienstkosten

Die Winterdienstkosten je Einsatz belaufen sich auf dieser Strecke auf rund 284 Franken. Bei 65 Einsätzen (Winterperiode 2003/2004) ergeben sich Gesamtkosten von rund 18'400 Franken.

Werden die jährlichen Nutzen und Kosten einander gegenübergestellt so ergibt sich für diese Strecke die folgende Kosten-Nutzen-Rechnung:

Tabelle 14-4 Volkswirtschaftliche Rechnung für die Rorschacherstrasse (St. Gallen)

	Franken
Summe der direkten und indirekten Nutzen	128'000
Direkte Kosten	18'400
Differenz Nutzen-Kosten	109'600

Der Nettonutzen ist auch hier positiv und das Nutzen-Kostenverhältnis beträgt 6,9. Allerdings sind in obiger Rechnung die Unfallkostensparnisse statistisch nicht abgesichert. Die relativ bescheidenen Beträge sind auf die relativ kurze Strecke und auf die relativ bescheidenen Belastungen zurückzuführen.

Eine direkte Hochrechnung dieser Ergebnisse auf die ganze Stadt St. Gallen wäre nur möglich, wenn die Belastungen auf allen winterdienstlich bedienten Strassenabschnitten des städtischen Strassennetzes bekannt wären.

Die Rorschacherstrasse wird jedoch vom kantonalen Strassenkreisinspektorat winterdienstlich betreut, welches insgesamt für 123 Kilometer (Kantons-) Strassen mit 2 Fahrstreifen zuständig ist. Eine grobe Hochrechnung kann allenfalls für das winterdienstlich bediente kantonale Netz vorgenommen werden. Dabei muss jedoch von gleichen mittleren Belastungen für alle kantonalen Strasse ausgegangen werden. Eine solche Grobschätzung ergibt direkte Nutzen von 3,9 Mio Franken. Diesen stehen Aufwendungen von rund 573'000 Franken gegenüber.

14.6 Volkswirtschaftliche Bewertung des Winterdienstes für die Rosengartenstrasse

Die Bewertung erfolgt hier für die ungefähr 1 km lange Strecke ab Stadtkern.

Verhinderte Glätteunfälle

Es konnte kein Einfluss des Winterdienstes auf die Unfallzahlen nachgewiesen werden.

Zeit- und Fahrzeugbetriebskosten

An einem mittleren winterlichen Tag werden auf dieser Strecke 547 Stunden durch den Winterdienst eingespart. Dies entspricht einem volkswirtschaftlichen Gewinn von 9'955 Franken²⁸. Je Winterperiode werden demnach Zeitgewinne im Betrag von rund 189'145 Franken realisiert.

Durch die Winterdiensteinsätze werden auf dieser Strecke an einem winterlichen Tag 1'595 Liter Treibstoff eingespart. Bei einem mittleren Treibstoffpreis von Fr. 1,30 wird je Winterperiode Treibstoff im Werte von etwa 39'400 Franken eingespart.

Gesundheitskosten

Der NOx-Ausstoss wird auf dieser Strecke durch den Winterdienst nicht verändert.

²⁸ Wegen des Winterdienstes kann jedes der etwa 55'000 Fahrzeuge, die an dieser Strasse täglich verkehren, im Durchschnitt etwa 35 Sekunden einsparen.

Winterdienstkosten

Die Winterdienstkosten je Einsatz belaufen sich auf dieser Strecke auf rund 500 Franken. Bei 19 Einsätzen (Durchschnitt Winterperioden 2001/2002 – 2003/2004) ergaben sich Gesamtkosten von rund 9'500 Franken.

Werden die jährlichen Nutzen und Kosten einander gegenübergestellt so ergibt sich für diese Strecke die folgende Kosten-Nutzen-Rechnung:

Tabelle 14-5 Volkswirtschaftliche Rechnung für die Rosengartenstrasse

	Franken
Summe der direkten und indirekten Nutzen	228'500
Direkte Kosten	9'500
Differenz Nutzen-Kosten	219'000

Der Nettonutzen ist positiv und das Nutzen-Kostenverhältnis 23. Diese Zahl ist sehr hoch, dürfte aber auf die Wichtigkeit der Rosengartenstrasse zurückzuführen sein²⁹.

Eine direkte Hochrechnung dieser Ergebnisse auf den ganzen Bezirk „M“ wäre nur möglich, wenn die Belastungen auf allen Strassenabschnitten des 91 km langen Strassennetzes in diesem Bezirk bekannt wären. Eine vorsichtige Grobschätzung lässt sich jedoch auf die folgende Art durchführen: In der Stadt Zürich werden pro Tag im Durchschnitt rund 2,6 Mio Pw-km geleistet. Geht man davon aus, dass davon auf den Bezirk „M“ 10% entfallen, so werden dort pro Tag etwa 260'000 PWkm geleistet. Dies ist etwa 4,7-mal grösser als die Verkehrsleistung auf der Rosengartenstrasse. Die volkswirtschaftliche Nutzen-Kosten-Rechnung für den Bezirk „M“ ergibt dann:

Tabelle 14-6 Volkswirtschaftliche Rechnung für den Bezirk „M“ (in der Stadt Zürich)

	Franken
Summe der direkten und indirekten Nutzen	1'074'000
Direkte Kosten	598'390
Differenz Nutzen-Kosten	475'610

Der Nettonutzen beträgt rund eine halbe Million Franken und das Nutzen-Kostenverhältnis rund 1,8. Dieser Wert dürfte auch für die ganze Stadt Zürich gültig sein.

²⁹ Auf dieser Strasse verkehren auch an Wintertagen über 55'000 Fahrzeuge.

15 Schlussfolgerungen

15.1 Auswirkungen des Winterdienstes

Auf winterlichen, schneebedeckten oder matschigen Strassen ereignen sich tendenziell mehr Unfälle als auf trockener oder salznasser Strasse. Zudem ist der Verkehrsfluss langsamer, die Fahrzeugfahrer brauchen länger, bis sie am Ziel sind. Sie brauchen in der Regel auch mehr Treibstoff und auch mehr Nerven. Der Winterdienst hilft, diese Nachteile zu minimieren. Im Normalfall gelingt dies auf eindruckliche Weise; der Schaden, der durch die winterliche Naturgewalt entsteht, wird begrenzt.

Der Schaden lässt sich aber nicht voll vermeiden³⁰.

Erstens braucht es Zeit, bis die Winterdienstfahrzeuge die vorgesehenen Strecken geräumt und mit Salz bestreut haben. Dichter Verkehr kann dabei zu grossen Verzögerungen führen. Diese Zeit könnte durch geeignete (und zum Teil kostspielige) Massnahmen gekürzt werden. Die befragten Werkhofleiter haben diesbezüglich die folgenden Massnahmen vorgeschlagen:

- Errichtung von Salzsilos
- Ausrüstung der Winterdienstfahrzeuge mit Blaulicht
- Zusammenarbeit mit der Polizei
- Zentrale Glätteisfrühwarnsystem mit einer genügenden Anzahl Messstellen
- Zugriff auf die vorhandenen Verkehrskameras, die aber heute nur durch die Polizei benutzt werden
- Errichtung zusätzlicher Hilfsstützpunkte

Zweitens braucht es zusätzlich Zeit, bis der Auftauprozess beendet ist. Dieser Prozess kann etwas beschleunigt werden, wenn Feuchtsalz gestreut wird. Die Dauer ist aber hauptsächlich von der Bodentemperatur abhängig. Erfahrungsgemäss kann dies bis über eine Stunde dauern.

Der heute praktizierte, auf Räumen und/oder Salzen basierte Winterdienst kann in seiner Wirkung also nicht beliebig beschleunigt werden. Aber durch einen schnelleren Einsatz kann der Nutzen beträchtlich erhöht werden, indem noch mehr Glätteunfälle vermieden werden, und die Fahrgeschwindigkeiten schneller ein höheres Niveau erreichen.

15.2 Überlegungen zur Kosten-Nutzen-Analyse des Winterdienstes

Die Schätzung der Nutzen und Kosten erfolgte für eine mittlere Winterperiode für jede beobachtete Strecke separat. Die Nutzenelemente wurden dabei immer als Nutzen des Einsatzes im Vergleich zum fiktiven Fall des Nicht-Einsatzes ermittelt. Als Differenz zwischen maximalem Schaden bei Nicht-Einsatz und durch den Winterdiensteinsatz begrenzten Schaden.

Dabei konnte gezeigt werden, dass der Nutzen des Winterdienstes immer grösser war als die Kosten, die er verursacht.

³⁰ Zumindest nicht mit der konventionellen Winterdiensttechnologie. Neue Möglichkeiten ergeben sich jedoch durch die leider sehr teure SERSO PLUS-Technologie. Bei dieser führen Erdwärmesonden im Sommer die Wärme aus dem Belag in die Erde ab, im Winter liefern die Sonden Erdwärme zurück in den Belag. Dadurch bleibt der Belag länger schnee- und eisfrei.

Bei Mattstetten war die Differenz zwischen Nutzen und Kosten allerdings recht knapp, weil es hier kaum winterliche Strassenzustände gab und dementsprechend auch wenige Einsätze benötigt wurden. Bei einem strengen, schneereichen Winter, kann der Nutzen-Überschuss jedoch beträchtlich sein.

Ist der Nettonutzen des Winterdienstes also negativ, falls der Winterdienst an einem sehr milden Winter gar nicht eingesetzt zu werden braucht? Diese Frage muss mit einem entschiedenem Nein beantwortet werden.

Erstens müssen die Kosten und Nutzen des Winterdienstes als Mittelwerte aus mehrjährigen Ereignissen berechnet werden. Im Mittel wird der Nettonutzen in der Regel immer grösser sein. Zweitens ist die Aufrechterhaltung eines funktionierenden Winterdienstes mit dem nötigen Personal und Fahrzeugmaterial am besten mit einer funktionsfähigen Feuerwehr zu vergleichen. Ohne Feuerwehr würde bei einem Hausbrand möglicherweise eine ganze Stadt abbrennen; mit einer funktionstüchtigen Feuerwehr kann der Schaden begrenzt werden. Beide Dienste machen das Leben sicherer. Die Gesellschaft braucht diese Dienste als Versicherung gegen einen grösseren Schaden. Die Kosten des Winterdienstes sind dabei die Versicherungsprämien. Es gibt also auch einen positiven Versicherungsnutzen durch das Vorhandensein eines einsatzfähigen Winterdienstes, auch dann, wenn kein Einsatz notwendig ist.

Was bringt ein beschleunigter Winterdienst?

Welcher zusätzliche Nutzen zu erwarten ist, wenn die Fahrbahnglätte noch schneller beseitigt wird als bisher, ist relativ schwer abzuschätzen.

Bark et al. (1995) haben eine diesbezügliche Schätzung für die bundesdeutschen Autobahnen vorgenommen. Eine Beschleunigung eines einzigen Winterdiensteinsatzes in einer Autobahnmeisterei (Netzlänge 50 km) um 10 Minuten führt bereits zu zusätzlichen Einsparungen (zusätzlicher Nutzen) pro Einsatz in Höhe von 2'700 DM. Bei einer Beschleunigung von 30 Minuten ergibt sich bereits eine zusätzliche Einsparung von 8'000 DM pro Einsatz. Dabei wurde von einer durchschnittlichen Verkehrsstärke von 2'500 Fz/h ausgegangen. Diese Werte mögen in der Grössenordnung für deutsche Verhältnisse richtig sein; eine Übertragung auf die Autobahnwerkhöfe in der Schweiz ist jedoch nicht unproblematisch.

Wir haben deshalb eine entsprechende Schätzung für den Abschnitt Reichenburg – Zürich (Werkhof Wädenswil) durchgeführt.

Durch einen beschleunigten Einsatz um eine halbe Stunde wird die Zeitperiode, in welcher sich die Glätteunfälle ereignen, um rund 1/3 verkürzt. Beim heutigen Winterdienst ereignen sich an einem Wintertag mit winterlichen Strassenzuständen 0,46 Glätteunfälle. Bei einem beschleunigten Winterdienst würden sich demnach nur 0,31 Glätteunfälle ereignen. Ohne Winterdiensteinsatz würden sich auf dieser Strecke 2,76 Glätteunfälle ereignen. Der heutige Winterdienst verhindert 2,3 Glätteunfälle, ein um 30 Minuten schnellerer Winterdienst 2,5 Glätteunfälle. Die Unfallkosten würden sich also um rund 9% verringern.

Ein beschleunigter Einsatz um eine halbe Stunde bewirkt im Weiteren, dass das Geschwindigkeitsniveau schneller ansteigt. Die Durchschnittsgeschwindigkeit auf winterlichen Fahrbahnen betrug auf dieser Strecke 68 km/h, auf salznasser Fahrbahn 93km/h. Unter der Annahme, dass – Dank dem schnelleren Einsatz – die tiefere Geschwindigkeit zeitlich um 1/3 verkürzt werden kann, beträgt der zusätzliche Zeitgewinn ebenfalls rund 9%.

Der durchschnittliche Nutzen eines normalen Winterdiensteinsatzes beträgt auf dieser Strecke rund 60'000 Franken³¹. Ein um 30 Minuten beschleunigter Winterdienst würde also den Nutzen je Einsatz um rund 5'400 Franken erhöhen³². Pro durchschnittliche Winterperiode würde sich der Nutzen um rund 420'000 Franken erhöhen.

Die Kenntnis des zusätzlichen Nutzens des beschleunigten Winterdienstes kann dazu dienen, kostenrelevante Massnahmen oder Investitionen zu prüfen, die zur Beschleunigung des Winterdienstes führen könnten.

³¹ Berücksichtigt wurden nur Unfallkostensparnisse und Zeitgewinne.

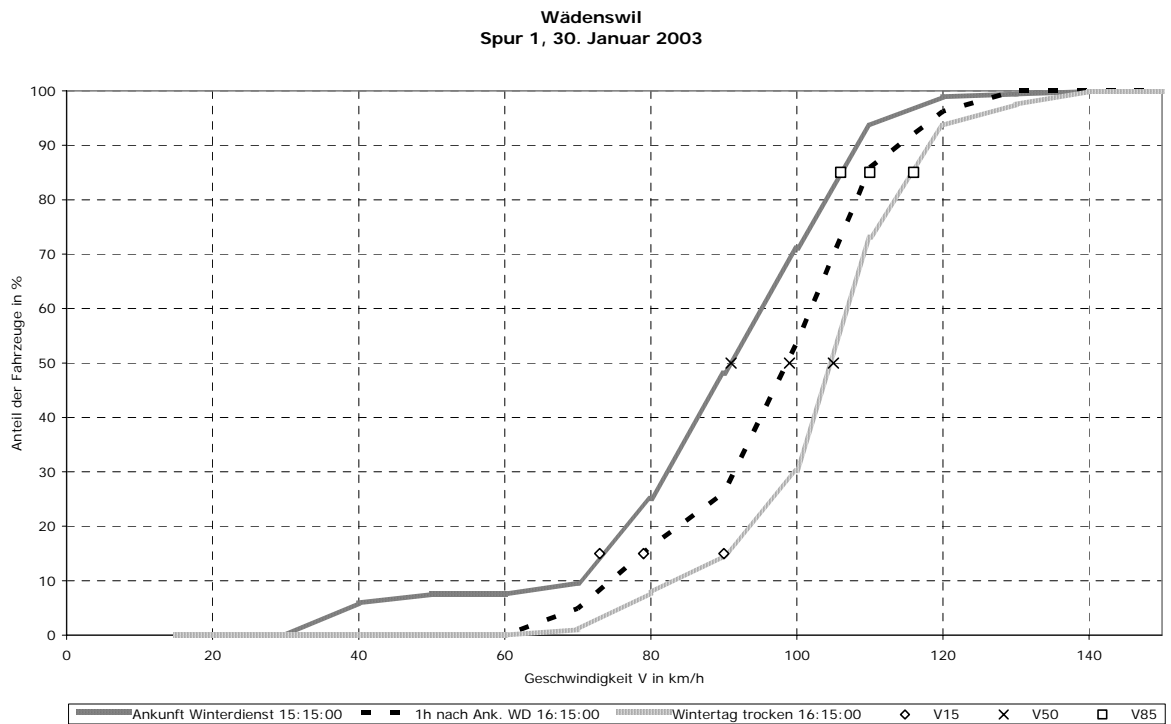
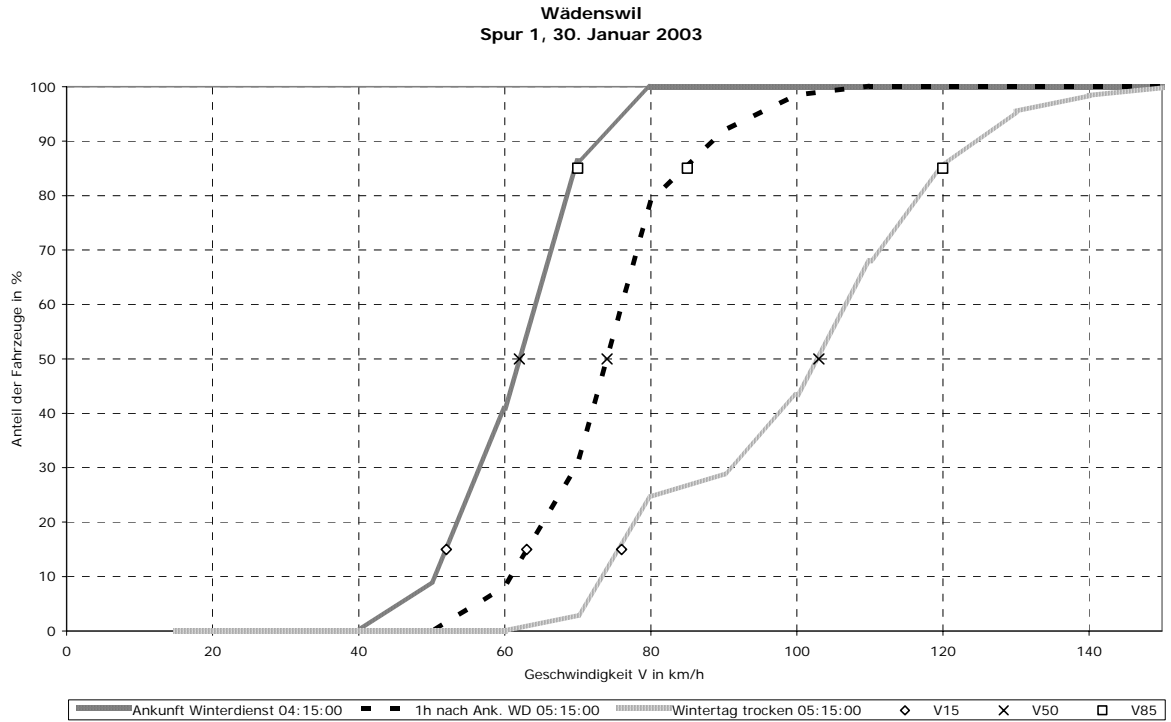
³² Dieser zusätzlicher Nutzen liegt in der gleichen Grössenordnung wie die Schätzung in der deutschen Studie von Bark et al. (1955)

Literaturverzeichnis

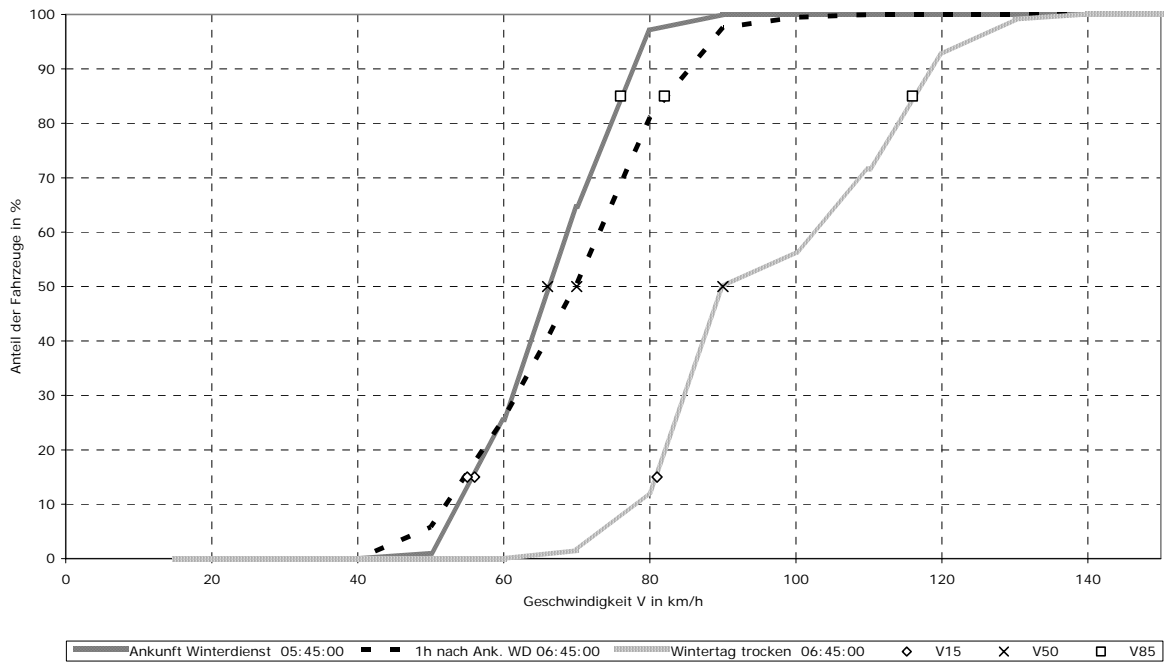
- Abay G. (1984) Kosten-Nutzen-Analyse für Verkehrsinvestitionen, Dissertation, Universität Zürich.
- Abay G, und K.W. Axhausen (2001) Zeitkostensätze im Personenverkehr: Vorstudie. Forschungsauftrag SVI 42/00, UVEK, Bern.
- Bäckmann L. (1994) Environmental Effects of Chemical De-icing, IXTG PIARC, International Winter Road Congress, Seefeld
- Bark A., Levin Ch., Volker M. (1996) Wirksamkeit des Strassenwinterdienstes auf die Verkehrssicherheit und die Wirtschaftlichkeit des Verkehrsablaufes auf Bundesautobahnen, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik. Heft 719.
- Brenner R., Moshman J. (1976) Benefits and Costs in the Use of Salt to Deice Highways, The Institute of Safety Analysis Washington (D.C.).
- Brod. H.-G. (1993) Langzeitwirkung von Streusalz auf die Umwelt. Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen – Verkehrstechnik. Heft V 2. Bergisch-Gladbach.
- Brod. H.G. / Preusse. H. U. Einfluss von Auftausalzen auf Boden, Wasser und Vegetation. Rasen-Turf-Gazon. 2/75. S.47
- BfV. (1977) Auswirkungen der Streuung von Tausalzen auf die Verkehrssicherheit von Landstrassen. FA 3.048 G 75 H
- BfV. (1968) Laboruntersuchungen über den Einfluss von Auftausalzen auf die einzelnen Komponenten des bitumiösen Mischgutes.
- Dietrich K. (1998) Strassenprojektierung, IVT, ETH Zürich
- Dultinger J. (1976) Strassenwinterdienst. Rum, S. 13.
- Durth W., Hanke H., Levin Ch. (1989) Wirksamkeit des Strassenwinterdienstes auf die Verkehrssicherheit und die Wirtschaftlichkeit des Verkehrsablaufes. Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik. Heft 550.
- Durth W., Hanke H., Levin Ch., (1989) Vergleichsuntersuchungen zum Weissen Netz mit eingeschränktem Winterdienst. Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik. Heft 550.
- Hanbali, R. M. (1994) The Economic Imoact of Winter Road Maintenance on Road Users, IXTH PIARC International Winter Road Congress, Seefeld.
- Leuch P. (1973) Die Winterkorrosion an Motorfahrzeugen, 17. Vortragstagung vom 1.10.1973 in Bern Hrsg: ACS, S. 92
-

- OECD (1990) Reduzierter Einsatz von Auftaumitteln im Winterdienst. Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 583, Bundesministerium für Verkehr, Abt. Strassenbau, Bonn-Bad Godesberg
- König A., Axhausen K.W., Abay G. (2004) Zeitkostenansätze im Personenverkehr, Forschungsauftrag SVI 2001/534, UVEK Bern.
- Pichler, W. (1987) Gedanken zu einer gesamtwirtschaftlichen Beurteilung des Winterdienstes, Strassen- und Tiefbau 41, 12.
- Ruess B. (1998) Salz- oder Splittstreuung im Winterdienst, Optimierung der Kosten-/Nutzenverhältnisse unter Berücksichtigung von umwelt- und sicherheitsrelevanten Faktoren. Raum – Umwelt – Sicherheit RUS AG. Forschungsauftrag 4/95 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS).
- Sagasser, P. (1982) Nutzen-Kosten-Analyse einer Salzstreuung im Winter, Strassen- und Tiefbau, Hefte 11 und 12.
- Wehner B. (1960) Griffigkeitsmessungen auf winterglatten Fahrbahnoberflächen, Forschungsarbeiten aus dem Strassenwesen, Heft 40, Bad Godesberg.
- Zulauf R. (1973) Vor und Nachteile der Schwarzräumung, 17. Vortragstagung vom 1. 10.1973 in Bern, ACS.
-

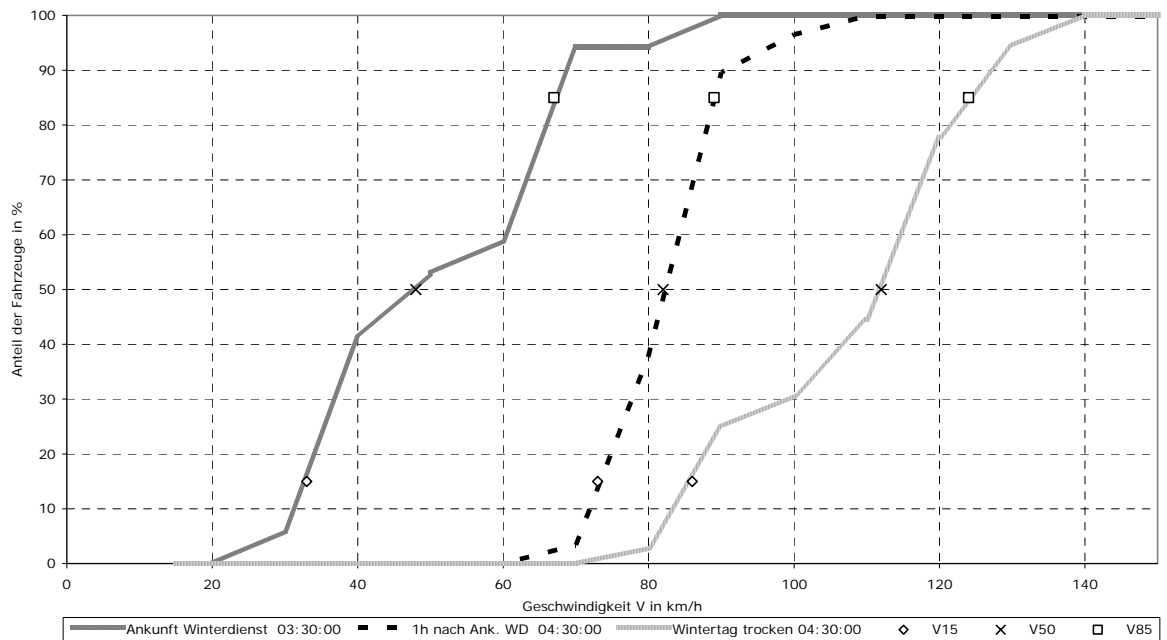
Anhang 1 Geschwindigkeitsverteilungen vor und nach Winterdiensteinsätzen

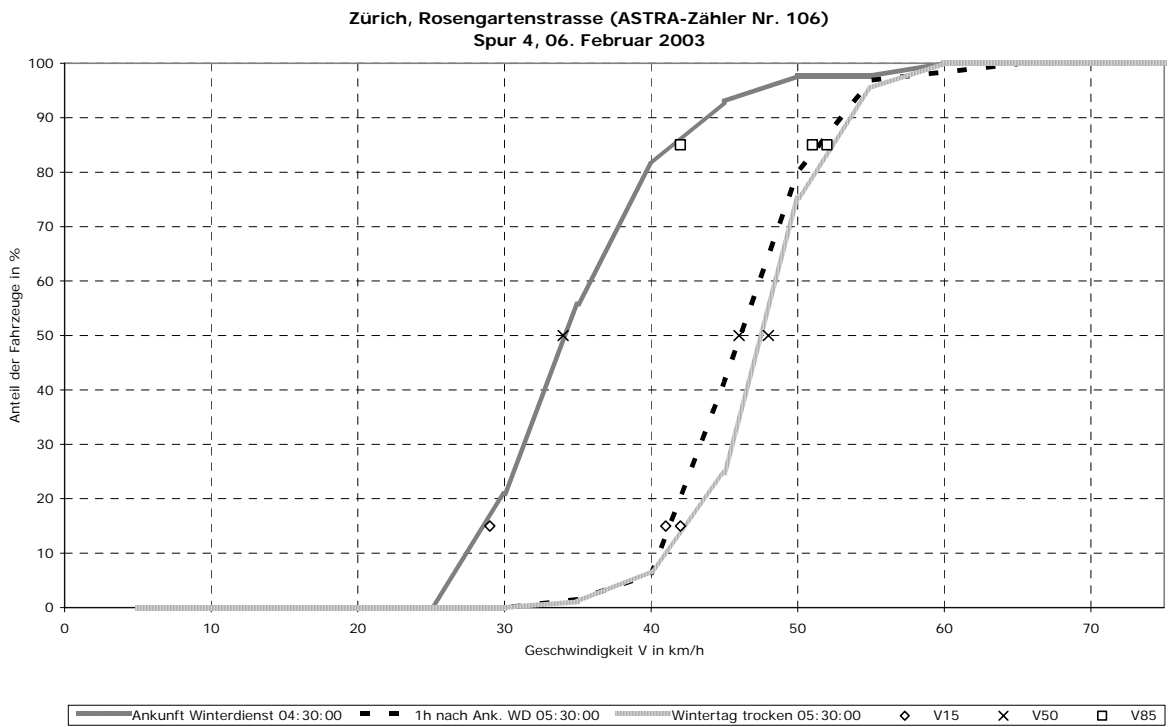
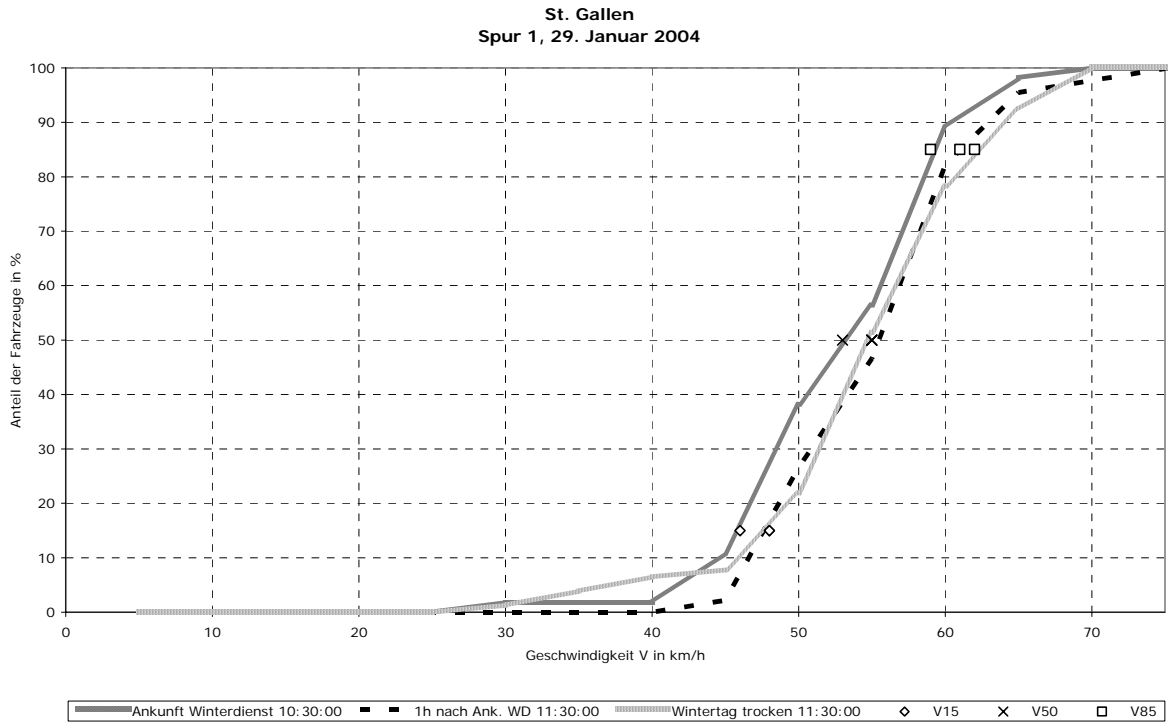


Hunzenschwil (ASTRA-Zähler Nr. 72)
Spur 4, 20. Januar 2004



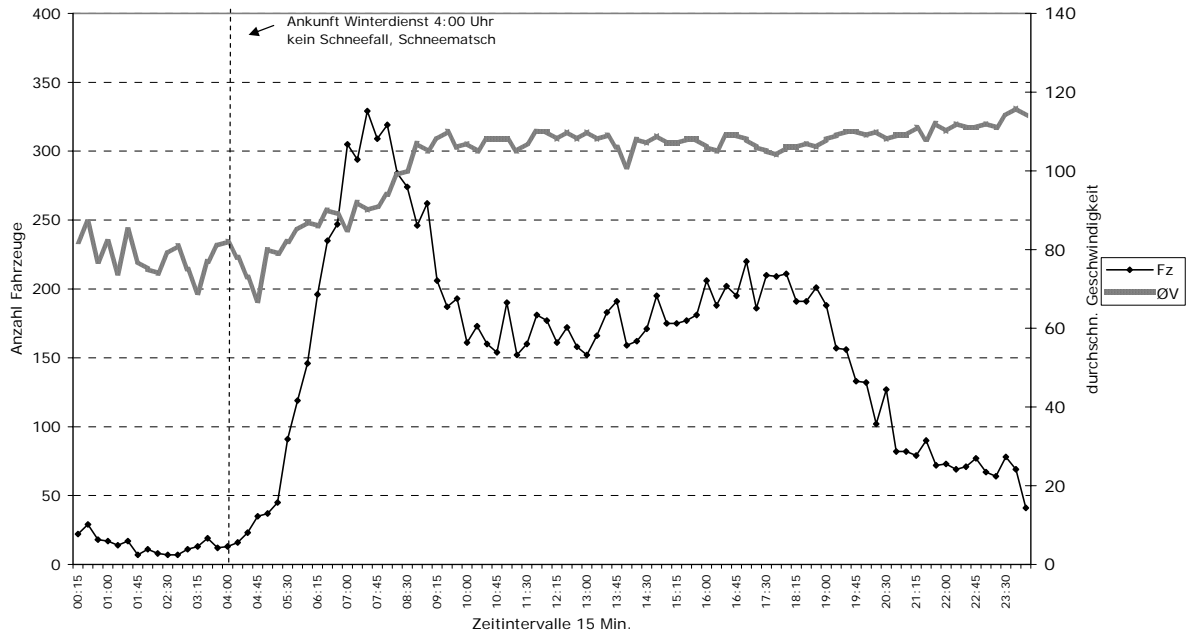
Mattstetten (ASTRA-Zähler Nr. 23)
Spur 4, 27. Januar 2004



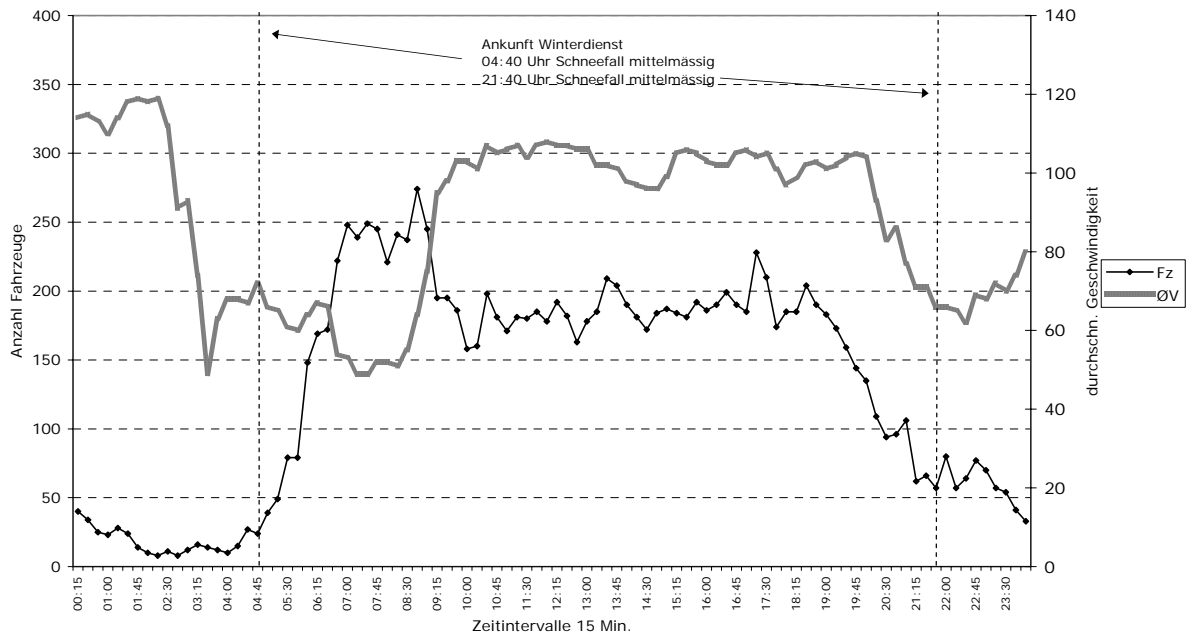


Anhang 2 Ganglinien und Geschwindigkeiten

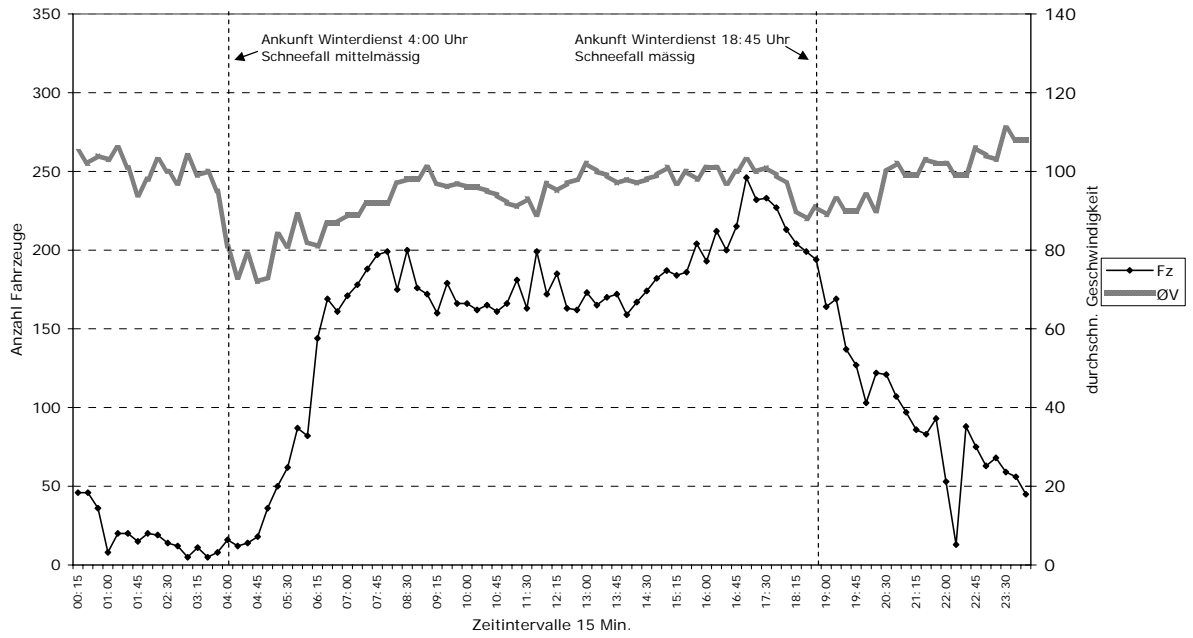
Wädenswil Richtung Zürich
Spur 1, 14. Januar 2003



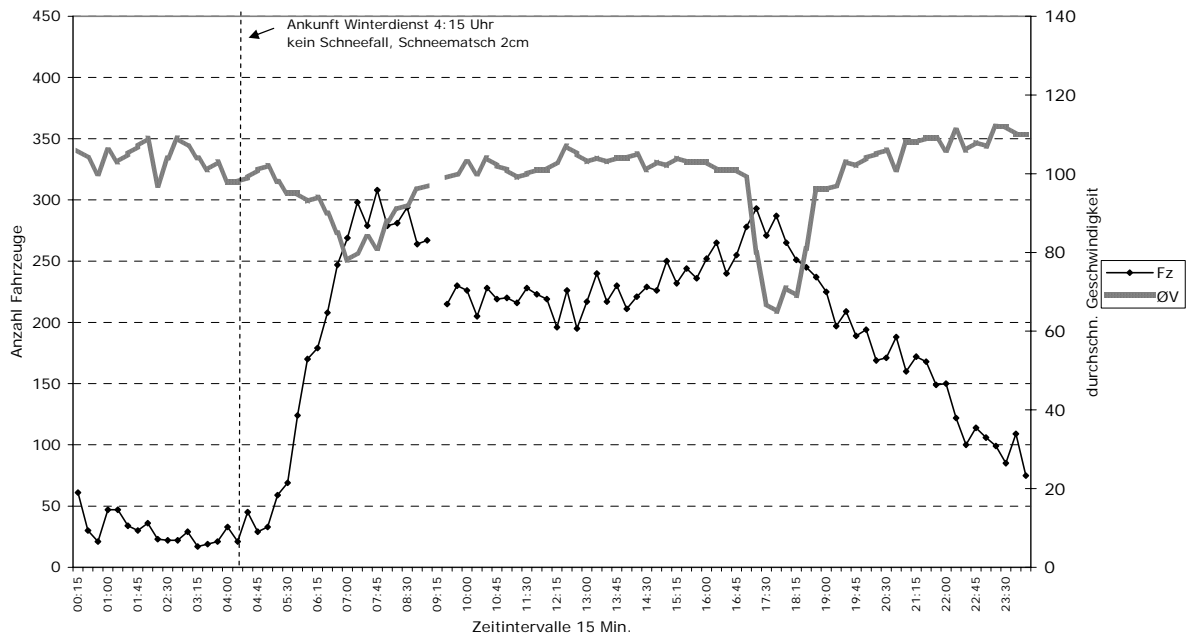
Wädenswil Richtung Zürich
Spur 1, 29. Januar 2003



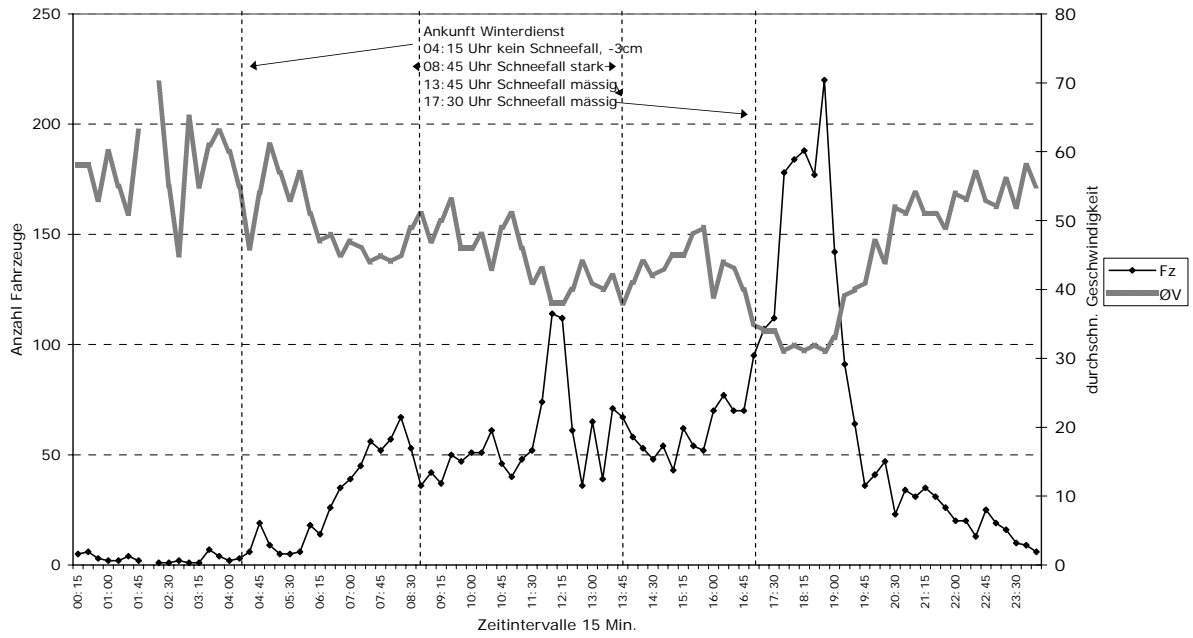
Hunzenschwil (ASTRA-Nr. 72):
Spur 4, 5. Februar 2003



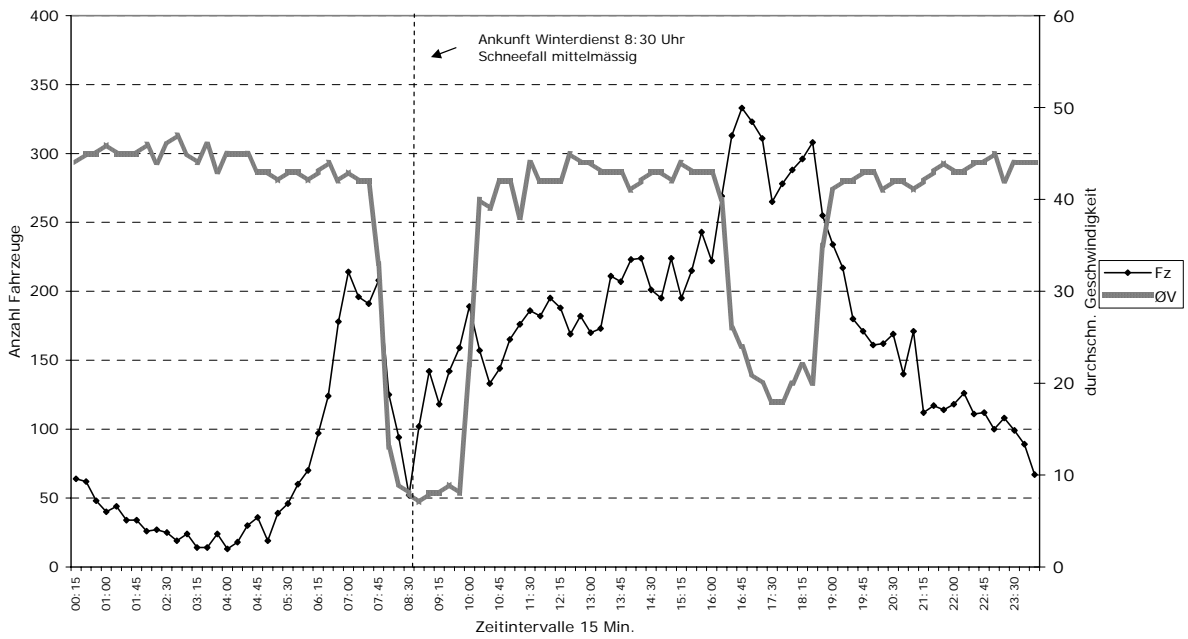
Mattstetten (ASTRA-Nr. 23):
Spur 4, 30. Januar 2003



St.Gallen Richtung St. Gallen-Rorschach
Spur 1, 4. Februar 2003



Zürich, Rosengartenstrasse (ASTRA-Nr. 106):
Spur 1, 30. Januar 2003



Anhang 3 Formular für die Beobachter

Messort:		
Name Beobachter(in):		
Angaben zur Situation bei <u>Durchfahrt des Winterdienstfahrzeuges (WD):</u>		
Uhrzeit: :	Temperatur: °C. (1 Meter über Boden) °C. (am Boden)
Art des Winterdienstes: <input type="checkbox"/> Trockensalz <input type="checkbox"/> Feucht-Salzstreuung <input type="checkbox"/> Schneeräumung		
Niederschlag: - Schneeregen: <input type="checkbox"/> mässig <input type="checkbox"/> mittelmässig <input type="checkbox"/> sehr stark <small>(bitte nur 1 Kreuz)</small> - Schneefall: <input type="checkbox"/> mässig <input type="checkbox"/> mittelmässig <input type="checkbox"/> sehr stark - Graupelregen: <input type="checkbox"/> mässig <input type="checkbox"/> mittelmässig <input type="checkbox"/> sehr stark - Eisregen: <input type="checkbox"/> mässig <input type="checkbox"/> mittelmässig <input type="checkbox"/> sehr stark <input type="checkbox"/> kein Niederschlag		
Sichtverhältnisse: - Strassenbeleuchtung: <input type="checkbox"/> eingeschalten <small>(bitte jeweils nur 1 Kreuz)</small> <input type="checkbox"/> nicht eingeschalten/nicht vorhanden - Helligkeit: <input type="checkbox"/> dunkel <input type="checkbox"/> Dämmerung <input type="checkbox"/> hell - Nebel: <input type="checkbox"/> klar/kein Nebel <input type="checkbox"/> leichter Nebel <input type="checkbox"/> starker Nebel - Sichtweite (ungefähr in Metern):		
Zustand der Fahrbahn: - Glätte: <input type="checkbox"/> Schneeglätte <input type="checkbox"/> Eisglätte <input type="checkbox"/> Reifglätte - Schnee: <input type="checkbox"/> locker <input type="checkbox"/> festgefahren <input type="checkbox"/> Schneematsch <input type="checkbox"/> Spurbildung Dicke der Schneedecke: cm - normal: <input type="checkbox"/> (Salz-)nass <input type="checkbox"/> trocken bisherige Behandlung: <input type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> Salz <input type="checkbox"/> Splitt <input type="checkbox"/> geräumt/mit Schnee <input type="checkbox"/> geräumt/aper		
Fahrverhalten: - Überholen: <input type="checkbox"/> kein Überholen <input type="checkbox"/> vorsichtig/langsam <input type="checkbox"/> zügig - Fahrzeugabstand: <input type="checkbox"/> >20 m <input type="checkbox"/> >10 m <input type="checkbox"/> <10 m - Antrieb: <input type="checkbox"/> normales Fahren <input type="checkbox"/> Rutschen <input type="checkbox"/> Spulen		
Besondere Ereignisse oder Verhältnisse: <small>(z.B. Staus, Unfälle, zähflüssiger Verkehr, Bildung von Fahrzeugkolonnen, evtl. mit Begründung)</small>		Uhrzeit:

Messort:

Name Beobachter(in):

☞ **Angaben zur Situation**

30 Minuten nach Durchfahrt des Winterdienstfahrzeuges (WD):

Uhrzeit: : **Temperatur:** °C. (1 Meter über Boden) °C. (am Boden)

Niederschlag:

- Schneeregen:	<input type="radio"/> mässig	<input type="radio"/> mittelmässig	<input type="radio"/> sehr stark	
(bitte nur 1 Kreuz)	- Schneefall:	<input type="radio"/> mässig	<input type="radio"/> mittelmässig	<input type="radio"/> sehr stark
	- Graupelregen:	<input type="radio"/> mässig	<input type="radio"/> mittelmässig	<input type="radio"/> sehr stark
	- Eisregen:	<input type="radio"/> mässig	<input type="radio"/> mittelmässig	<input type="radio"/> sehr stark
	<input type="radio"/> kein Niederschlag			

Sichtverhältnisse:

(bitte jeweils nur 1 Kreuz)	- Strassenbeleuchtung:	<input type="radio"/> eingeschalten	<input type="radio"/> nicht eingeschalten/nicht vorhanden					
	- Helligkeit:	<input type="radio"/> dunkel	<input type="radio"/> Dämmerung	<input type="radio"/> hell	- Nebel:	<input type="radio"/> klar/kein Nebel	<input type="radio"/> leichter Nebel	<input type="radio"/> starker Nebel
	- Sichtweite (ungefähr in Metern):						

Zustand der Fahrbahn:

- Glätte:	<input type="radio"/> Schneeglätte	<input type="radio"/> Eisglätte	<input type="radio"/> Reifglätte		
- Schnee:	<input type="radio"/> locker	<input type="radio"/> festgefahren	<input type="radio"/> Schneematsch	<input type="radio"/> Spurbildung	
	Dicke der Schneedecke: cm				
- normal:	<input type="radio"/> (Salz-)nass	<input type="radio"/> trocken			
bisherige Behandlung:	<input type="radio"/> keine	<input type="radio"/> Salz	<input type="radio"/> Splitt	<input type="radio"/> geräumt/mit Schnee	<input type="radio"/> geräumt/aper

Fahrverhalten:

- Überholen:	<input type="radio"/> kein Überholen	<input type="radio"/> vorsichtig/langsam	<input type="radio"/> zügig
- Fahrzeugabstand:	<input type="radio"/> >20 m	<input type="radio"/> >10 m	<input type="radio"/> <10 m
- Antrieb:	<input type="radio"/> normales Fahren	<input type="radio"/> Rutschen	<input type="radio"/> Spulen

Besondere Ereignisse oder Verhältnisse: Uhrzeit:
(z.B. Staus, Unfälle, zähflüssiger Verkehr, Bildung von Fahrzeugkolonnen, evtl. mit Begründung)

Anhang 4 Beispiel für Unfalldaten

Datum	Zeit	Anz. Obj	Anz. Pers	Ver- letzte	Tote	Sach- schaden	Unfall- Typ	Fahrbahn trocken:0 nass: 1 glatt: 2 verschneit: 3 matschig: 4	Nieder- schlag kein: 0 regen: 1 schnee: 2	Unfall- Ursache
20001103	1130	1	1	0	0	47500	13	1	1	159
20001103	2330	1	1	0	0	2850	13	1	1	174
20001104	900	1	1	0	0	4500	13	0	0	110
20001106	2210	1	1	0	0	6000	11	1	0	159
20001106	530	1	1	0	0	7880	13	0	0	113
20001107	1550	1	1	0	0	10500	13	0	0	419
20001109	910	2	2	0	0	1400	51	0	0	133
20001110	1640	1	1	0	0	4000	13	1	0	412
20001112	820	1	2	0	0	10000	13	0	0	113
20001113	1920	2	2	1	0	16000	42	1	0	413
20001116	855	1	1	0	0	8300	12	0	0	412
20001116	1028	4	5	2	0	56000	42	0	0	465
20001116	1425	1	1	0	0	28940	11	0	0	150
20001117	1855	4	5	0	0	11500	41	1	1	465
20001118	400	3	4	0	0	26200	13	1	0	414
20001124	1650	3	4	1	0	16000	42	1	1	411
20001124	1730	4	9	1	0	7000	41	1	1	465
20001124	1310	1	2	0	0	300	11	1	1	150
20001124	1725	2	3	0	0	18000	41	1	0	465
20001124	1650	2	2	0	0	5000	42	1	1	411
20001126	800	1	1	0	0	1440	13	0	0	410
20001126	220	1	1	0	0	5000	83	0	0	0
20001202	610	1	1	0	0	5000	13	0	0	113
20001204	1355	1	1	0	0	14560	13	0	0	110
20001206	1130	2	3	0	0	1500	42	0	0	465
20001208	1300	1	1	0	0	30700	13	0	0	113
20001214	1825	4	4	1	0	11500	41	1	1	465
20001215	1745	2	2	0	0	6000	34	1	1	443
20001216	1010	2	3	2	0	55000	39	1	1	449
20001217	1055	3	7	4	0	45000	34	1	0	443
20001218	225	1	2	0	0	6200	11	0	0	113
20001219	610	2	2	0	0	18500	51	0	0	429
20001222	550	1	1	1	0	45000	13	1	0	113

Rapp Trans AG

Dr Georg Abay